

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL**

**CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO
APÓS A APLICAÇÃO DE ESTERCO BOVINO**

Ludmila Magalhães
Engenheira Agrícola

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL**

**CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO
APÓS A APLICAÇÃO DE ESTERCO BOVINO**

Ludmila Magalhães

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)**

2017

M188c Magalhães, Ludmila
Carbano orgânico e atributos físicos do solo após a aplicação de esterco bovino / Ludmila Magalhães. -- Jaboticabal, 2017
ix, 23 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientadora: Carolina Fernandes
Banca examinadora: José Eduardo Corá, Adolfo Valente Marcelo
Bibliografia

1. Adubação orgânica. 2. Agregação do solo. 3. Manejo do solo. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.862

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO APÓS A
APLICAÇÃO DE ESTERCO BOVINO

AUTORA: LUDMILA MAGALHÃES

ORIENTADORA: CAROLINA FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dra. CAROLINA FERNANDES
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO
Ciência em Solo - Laboratório de Análises e Consultoria Agrícola LTDA / São José do Rio Preto, SP

Jaboticabal, 17 de fevereiro de 2017.

AGRADECIMENTOS

À Deus por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir em frente.

Aos meus pais, Alda e Alaerson, e a toda à minha família, pelo apoio e incentivo.

Ao Michael, meu namorado, pelo apoio, amor e carinho em todos os momentos.

Aos meus amigos de Patos de Minas e Lavras: Alessandra, Betânia, Gabriel, Evelize, Gabriela, Luís e Paulo, que apesar da distância estão sempre presentes.

Ao grupo de Pesquisa em Física do Solo, GPFÍS: Amanda, Camila, Carlos, Daniel, Deise, Luma, Maria Eduarda, Mariele, Matheus e Nilvan, pela amizade e aprendizado que tive com vocês.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), em especial, à minha orientadora, professora Carolina Fernandes, por me receber tão bem, pela amizade, incentivo, paciência e aprendizado durante esse período.

Ao Marcelo Scatolin e aos funcionários da Fazenda da UNESP/FCAV pelo auxílio durante as coletas de amostras de solo, em especial ao senhor Antônio.

Ao Marcelo Barbosa pela amizade e auxílio durante as coletas de amostras de solo do experimento.

Ao professor José Carlos Barbosa e ao Walter Maldonado Júnior pelo auxílio durante as análises estatísticas.

Ao professor Edson Coutinho por conceder a área para realização do projeto da dissertação e pelas contribuições durante o exame geral de qualificação.

Ao professor José Eduardo Corá pelas contribuições durante o exame geral de qualificação como também durante a defesa da dissertação e pela convivência no laboratório.

Ao professor Adolfo Valente pelas contribuições durante a defesa da dissertação.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos: Claudia pelo aprendizado que me foi passado e amizade, ao Gibson e ao Mauro pela convivência nesse período.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Ludmila Magalhães – Nascida no dia 16 de agosto de 1991, em Patos de Minas, MG. cursou o ensino médio no Colégio Nossa Senhora das Graças, nesta mesma cidade, no período de 2006 a 2008. Em agosto de 2010, ingressou no curso de graduação em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal de Lavras, MG. Foi bolsista de iniciação científica pelo programa PIBIC/CNPq de janeiro de 2012 a julho de 2014. Foi membro da Empresa Júnior de Engenharia Agrícola, desta mesma Universidade, no período de novembro de 2012 a novembro de 2013. Em julho de 2015 concluiu o curso de graduação em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Lavras, MG. Em agosto de 2015 iniciou o curso de mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, SP, e obteve-se o título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo) em fevereiro de 2017.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
5. CONCLUSÕES.....	19
6. REFERÊNCIAS	20

CARBONO ORGÂNICO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO APÓS A APLICAÇÃO DE ESTERCO BOVINO

RESUMO – O esterco bovino contém elevados teores de matéria orgânica, que pode elevar os teores de carbono orgânico no solo e proporcionar melhorias nos atributos físicos do solo. Isso ocorre devido o carbono orgânico ser um agente cimentante das partículas minerais do solo. Objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito da adubação orgânica (esterco bovino) nos atributos do solo: carbono orgânico, carbono orgânico particulado, carbono orgânico associado aos minerais, distribuição de agregados do solo por classes de tamanho, índice de estabilidade de agregados do solo, condutividade hidráulica do solo saturado, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo à penetração e densidade do solo. O experimento foi realizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, em um Latossolo Vermelho eutrófico, de textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, constando de cinco doses de esterco bovino (0, 15, 30, 45 e 60 Mg ha⁻¹) com quatro repetições. Foram coletadas amostras de solo indeformadas, na camada de 0-0,10 m, para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (PT), resistência do solo à penetração (RP) e densidade do solo (Ds). Na mesma camada, foram coletadas amostras de solo deformadas para a determinação da distribuição de agregados do solo por classes de tamanho, índice de estabilidade de agregados do solo (IEA), carbono orgânico (CO), e fracionamento físico do carbono orgânico, em que foi determinado o carbono orgânico particulado (COP). O carbono orgânico associado aos minerais (COAM) foi obtido por diferença entre o CO e o COP. Foi realizada a análise de variância para a regressão polinomial, para os atributos do solo avaliados em função das doses de esterco bovino, utilizando o teste F com nível de significância de 5% de probabilidade. Os valores de CO, COP, IEA, PT, Ma, RP, Ds e K_0 foram influenciados pelo esterco bovino, aplicado ao solo. Os valores de COAM e Mi não foram influenciados pelo esterco bovino aplicado ao solo. A aplicação de esterco bovino proporcionou no Latossolo Vermelho eutrófico, o aumento do carbono orgânico, do carbono orgânico particulado, da porosidade total, da macroporosidade e do índice de estabilidade de agregados do solo em água, e a redução da densidade do solo e da resistência do solo à penetração. Já o carbono orgânico associado aos minerais e a microporosidade não foram influenciados.

Palavras-chave: adubação orgânica, agregação do solo, manejo do solo

ORGANIC CARBON AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL AFTER CATTLE MANURE APPLICATION

ABSTRACT – Cattle manure contains high levels of organic matter, which can increase the organic carbon content in the soil and provide improvements in the physical attributes of this. This occurs because the organic carbon it is a cementing agent for the soil mineral particles. From this, the objective of this paper was to evaluate the effect of organic fertilization (cattle manure) on the soil attributes: organic carbon, particulate organic carbon, organic carbon associated to minerals, soil aggregates distribution by sizes classes, soil aggregates stability index, saturated soil hydraulic conductivity, macroporosity, microporosity, total porosity, soil resistance to penetration, and soil bulk density. The experiment was carried out at the Teaching, Research and Extension Farm of UNESP, Jaboticabal Campus, in a clayey Oxisol. The experimental design was a randomized complete block, consisting of five rates of cattle manure (0, 15, 30, 45 e 60 Mg ha⁻¹), with four replications. Undisturbed soil cores were collected at the 0-0.10 m deep layer to determine the hydraulic conductivity of saturated soil (K_0), macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (PT), soil resistance to penetration (RP) and soil bulk density (Ds). At the same layer, deformed soil cores were collected to determine the soil aggregates distribution by sizes classes, aggregate stability index of soil (IEA), organic carbon (CO), and physical fractionation of organic carbon, in which was determined the particulate organic carbon (COP). The organic carbon associated to minerals (COAM) was obtained by difference between CO and COP. An Analysis of Variance was performed to polynomial regression, to the evaluated soil attributes in function of cattle manure rates, using the F test with 5% probability. The values of CO, COP, IEA, PT, Ma, RP, Ds and K_0 were influenced by the cattle manure applied to the soil. The values of COAM e Mi were not influenced by the cattle manure applied to the soil. The cattle manure addition provided on the Oxisol the increase of organic carbon, particulate organic carbon, total porosity, macroporosity and soil aggregates stability in water index, and the decrease of soil bulk density and soil resistance to penetration. The organic carbon associated to minerals and microporosity were not influenced.

Keywords: organic fertilization, soil aggregation, soil management

1. INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos orgânicos no meio agrícola é uma alternativa vantajosa, por favorecer nutrientes às plantas, e por conter matéria orgânica em sua composição, o que proporciona o aumento dos teores de carbono orgânico no solo. Dessa forma, o resíduo orgânico pode favorecer a melhoria dos atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo. Além de evitar que o resíduo seja depositado em lugares inadequados, e cause contaminação de solos e de cursos d'água.

Por estes resíduos apresentarem altos teores de carbono orgânico em sua composição, e o carbono orgânico ser considerado um agente cimentante das partículas minerais do solo, é possível que os atributos físicos do solo sejam melhorados com a incorporação do adubo orgânico ao solo.

O incremento de carbono orgânico ao solo pode beneficiar a formação de agregados das partículas minerais do solo. O carbono orgânico se liga às partículas minerais do solo, principalmente os minerais da fração argila, possibilitando a formação de complexos organominerais (TISDALL; OADES, 1982).

Os óxidos de ferro e alumínio presentes no solo são os responsáveis, principais, pelas ligações com o carbono orgânico no solo, formando complexos organominerais de alta energia, tendo assim a formação de agregados mais estáveis no solo (BRAIDA et al., 2011). Com a formação de agregados do solo mais estruturados e estáveis, há a formação de vazios no solo, proporcionando melhorias na porosidade do solo, que conseqüentemente reduz a densidade do solo e a resistência do solo à penetração.

Há muitos estudos com adubação orgânica visando à substituição parcial da adubação mineral (CANCELLIER et al., 2011; MARTINS et al., 2015), e geralmente é uma forma econômica para a propriedade rural, principalmente quando se utilizam os dejetos gerados em áreas de plantação ou pastejo da mesma propriedade rural. Porém, trabalhos que avaliem as mudanças proporcionadas pela adubação orgânica nos atributos físicos do solo ainda são escassos.

Há estudos que avaliam os atributos físicos do solo com aplicação de adubo orgânico, com resíduos gerados pela agroindústria e pecuária, sendo a maioria dos

trabalhos com a utilização de dejetos líquidos suínos (AGNE; KLEIN, 2014; ARRUDA et al., 2010), vinhaça (PASSARIN et al., 2007) ou lodo de cortume compostado (ARAÚJO et al., 2016). Outra forma de adubação orgânica é a com utilização de resíduos da agricultura gerados pela bovinocultura, porém ainda pouco utilizado para estudos com atributos físicos do solo.

Com isso, tem-se uma necessidade de verificar os efeitos que a adubação com esterco bovino curtido pode promover ao solo, se ele é capaz de proporcionar melhorias ao solo. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito da adubação orgânica (esterco bovino) nos atributos do solo: carbono orgânico, carbono orgânico particulado, carbono orgânico associado aos minerais, distribuição de agregados do solo por classes de tamanho, índice de estabilidade de agregados do solo, condutividade hidráulica do solo saturado, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo à penetração, densidade do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A matéria orgânica do solo apresenta potencial para ser utilizada como atributo-chave da qualidade do solo (MIELNICZUK, 1999). Solos pouco revolvidos e com resíduos vegetais sobre a superfície possuem a tendência de conter elevados teores de matéria orgânica e conseqüentemente elevados teores de carbono orgânico.

O carbono orgânico (CO) do solo é considerado como o principal agente estabilizante de agregados no solo (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCH, 1998; GANG et al., 1998). O CO influencia diretamente na formação de classes de tamanhos de agregados (CASTRO FILHO; LOGAN, 1991). Quanto mais elevados os teores de CO, o solo tende a ser mais agregado.

Shi et al. (2016), em um experimento ao longo de 28 anos em um “Eumorthic Anthrosols”, na China, observaram que ao longo dos anos, com aplicação nos primeiros anos de dejetos suínos, e posteriormente esterco bovino e de frango, houve incremento no teor de CO. O tratamento com aplicação de adubação orgânica apresentou teor de CO de aproximadamente $13,5 \text{ g kg}^{-1}$, e o tratamento controle, em que não houve nenhum tipo de adubação, apresentou teor de CO de aproximadamente $8,0 \text{ g kg}^{-1}$.

Agne e Klein (2014) não observaram o incremento de matéria orgânica, quando aplicaram doses de 0 até $240 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos suínos, em um Latossolo Vermelho (630 g kg^{-1} de argila, na camada de 0-0,30 m). Relacionaram isso ao fato do resíduo ser aplicado na forma líquida, e conseqüentemente, conter elevada quantidade de água e baixa quantidade de sólidos, apenas 1,72% em sua composição. Portanto, não observaram alteração nos valores de diâmetro médio geométrico (DMG) e do índice de estabilidade de agregados em função das doses aplicadas.

Arruda et al. (2010), também aplicando doses de dejetos líquidos suínos, em um Latossolo vermelho distroférico, com doses de 0 até $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, não observaram incremento de carbono orgânico no solo, embora os teores de matéria seca do resíduo ter sido superior ao aplicado por Agne e Klein (2014). Os teores de matéria

seca do resíduo aplicado ao solo variaram entre 40 a 60 g dm⁻³, durante as aplicações anuais, por cinco anos. Os autores observaram que a estabilidade de agregados do solo para as doses 50 e 100 m³ ha⁻¹ apresentou uma redução quando comparado com o tratamento em que não houve adubação. As doses de 50 e 100 m³ ha⁻¹ apresentaram valores de DMG de 5,7 mm e o tratamento sem adubação apresentou o valor de 6,1 mm, apesar da diferença os autores consideraram a redução sendo de pequena magnitude.

Passarin et al. (2007) avaliaram a agregação de um Latossolo Vermelho distroférico típico de textura muito argilosa, com a aplicação de doses de vinhaça variando de 0 a 600 m³ ha⁻¹, por dois anos consecutivos, e observaram que não houve aumento para os valores de diâmetro médio ponderado (DMP). Atribuíram, este resultado, à quantidade do material orgânico presente na vinhaça que não foi suficiente para que houvesse interações necessárias para melhorar a agregação do solo, e a qualidade da vinhaça, que constitui-se de um material bastante biodegradável.

Araújo et al. (2016) observaram, em um Neossolo Flúvico, o incremento dos teores de carbono orgânico total no solo, com a aplicação doses, de até 20 Mg ha⁻¹, de lodo de cortume compostado. O lodo de cortume compostado aplicado ao solo apresentou teor de carbono orgânico de 201,2 g kg⁻¹. Os autores observaram que o índice de estabilidade de agregados aumentou linearmente com o aumento das doses aplicadas ao solo.

Celik et al. (2010) observaram, em um experimento em um “Typic Xerofluvents”, que a aplicação de esterco ao solo, com teor de matéria orgânica de 423 g kg⁻¹, aumentou o valor de DMP quando comparado com o tratamento controle do solo. O valor de DMP, para o tratamento com aplicação de esterco, foi de aproximadamente, 0,48 mm, e o tratamento controle foi de, aproximadamente, 0,28 mm.

O carbono orgânico pode ser dividido em duas frações: o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (COAM) (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992).

O COP é a fração do carbono orgânico associada às partículas do solo maior que 53µm, e deriva de partículas de resíduos de plantas, ou resíduos aplicados no

solo. O COP está relacionado à proteção física desempenhada pelos agregados do solo (GOLCHIN et al., 1994). O COAM é a fração do carbono orgânico associada às partículas do solo menores que $53\mu\text{m}$, que interage com a superfície das partículas minerais, formando complexos organominerais, e fica protegido pelo mecanismo de proteção coloidal (CHRISTENSEN, 1996).

O incremento de CO ao solo proporciona maior agregação e estabilidade dos agregados do solo. A aplicação de adubo orgânico aos solos agrícolas contribui para o rearranjo das partículas minerais, proporcionando melhorias na qualidade de agregados do solo (RIBON et al., 2014). Quando os agregados do solo se rearranjam criam-se vazios no perfil do solo e conseqüentemente contribui para a elevação da porosidade do solo (SHI et al., 2016; ISLABÃO et al., 2016) e da condutividade hidráulica do solo saturado (MELLEK et al., 2010), e a redução da densidade do solo (ARAÚJO et al., 2016) e da resistência do solo à penetração (CELIK et al., 2010).

Araújo et al. (2016) observaram em um Neossolo Flúvico que a densidade do solo (D_s) diminuiu linearmente com o aumento de doses de lodo de cortume compostado, aplicadas anualmente durante seis anos. A D_s teve uma redução de 15% entre a dose 0 e 20 Mg ha^{-1} , os autores relacionaram isso ao aumento do teor de CO ao solo proporcionado pelo lodo de cortume compostado aplicado ao solo.

Islabão et al. (2016), em um Argissolo Vermelho Amarelo, com aplicação de doses de cinzas de casca de arroz, incorporadas na camada de 0-0,10 m, observaram que as doses, aplicadas no solo, influenciaram a D_s , PT e Ma, na camada de 0-0,10, e a M_i não foi influenciada para nenhuma das camadas. Para a camada de 0-0,10 m, a Ma e a PT cresceram linearmente com o aumento das doses e a D_s decresceu.

Shi et al. (2016) em um experimento ao longo de 28 anos com adubação orgânica (AO), mineral (AM) e adubação orgânica junto com a mineral (AOM), em um "Eumorthic Anthrosols", na China encontraram diferença para a D_s e a PT entre o tratamento controle, que foi sem aplicação de adubo, e o AO e AOM. Para o tratamento controle encontrou-se D_s de $1,25\text{ g cm}^{-3}$, para a AO encontrou-se $1,13\text{ g cm}^{-3}$ e para a AOM encontrou-se $1,12\text{ g cm}^{-3}$. O tratamento controle apresentou uma PT de 53%, a AO apresentou um PT de 57% e a AOM apresentou uma PT de 58%,

na camada de 0-0,05 m, demonstrando que o incremento de matéria orgânica ao solo durante estes anos promoveram melhorias nos atributos físicos do solo.

Celik et al. (2010) em seu experimento em um "Typic Xerofluvents" também observaram a redução dos valores da RP mediante aplicação de esterco. Para o tratamento controle encontraram o valor de RP de 1,51 MPa, e para o tratamento com esterco animal encontrou-se 1,17 MPa.

Mellek et al. (2010) observaram em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico adubado com doses de esterco líquido bovino por dois anos consecutivos, o aumento da K_0 entre as doses 0 e $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, de aproximadamente cinco vezes para a camada de 0-0,05 m e três vezes para a camada de 0,05-0,10 m. O esterco líquido bovino aplicado no solo apresentava 359 g kg^{-1} de carbono orgânico. Houve também a redução da D_s , e aumento da M_a e do DMP, relacionou-se isso a diferença dos teores de CO que o esterco proporcionou ao solo, entre a dose $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e as demais doses.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, localizado próximo às coordenadas geográficas 21° 14' 05" de latitude sul e 48° 17' 09" de longitude oeste, com altitude média de 615 metros. O clima da região é caracterizado como tropical com inverno seco (Aw), de acordo com Köppen, com temperatura do mês mais quente superior a 22°C e a temperatura do mês mais frio superior a 18°C. A precipitação média anual é de 1425 mm, com concentração das chuvas no período de outubro a março.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (SANTOS et al., 2013), de textura argilosa (538 g kg⁻¹ de argila, 265 g kg⁻¹ de silte e 197 g kg⁻¹ de areia, na camada de 0-0,10 m). O material de origem da área é formado por basalto do Grupo São Bento, Formação Serra Geral, com elevados teores de óxidos de ferro na fração argila do solo (CUNHA et al., 2005).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram utilizadas cinco doses de esterco bovino: 0, 15, 30, 45 e 60 Mg ha⁻¹, em base seca, totalizando 20 parcelas. A parcela experimental apresentou 5,4 m de largura e 9,0 m de comprimento. A amostragem de solo foi realizada na camada de 0-0,10 m.

A área de estudo recebeu adubação com esterco bovino nos anos de 2011, 2012 e 2015, com as mesmas doses nas respectivas parcelas. Em 2011 e 2012, além da adubação com esterco bovino, foi realizada adubação mineral. Em 2013 e 2014, foi realizada apenas adubação mineral, e em 2015, foi realizada apenas a adubação com esterco bovino. A área foi cultivada com milho durante o verão e permaneceu em pousio durante o inverno, desde 2011.

O esterco bovino aplicado no solo, na área de estudo, nestes três anos foi de mesma origem e possuía o teor de carbono orgânico de 16%. O esterco foi aplicado ao solo com uma umidade de aproximadamente 17%.

O teor de carbono orgânico do solo, antes da instalação do experimento com adubação com esterco bovino, era de 12,0 g dm⁻³ (SILVA, 2013).

O preparo do solo da área foi realizado no dia 12/11/2015, utilizando uma gradagem. A aplicação do esterco bovino foi realizada cinco dias após o preparo do solo. Cada parcela recebeu sua respectiva dose, sendo o esterco aplicado em área total, e incorporado com grade aradora até, aproximadamente, 0,10 m de profundidade.

As amostras deformadas e indeformadas foram coletadas nas camadas de 0-0,10 m, 136 dias após a aplicação do esterco bovino no solo.

Para a coleta das amostras de solo indeformadas utilizou-se o auxílio de um amostrador tipo Uhland, e cilindros com dimensões de 0,05 x 0,05 m. Foram coletadas amostras em três pontos de cada parcela. Nestas amostras, foi determinada a condutividade hidráulica do solo saturado, pelo método do permeâmetro de carga constante (KLUTE; DIRKSEN, 1986), mantendo-se uma lâmina de água de 0,03 m; macroporosidade; microporosidade; porosidade total; densidade do solo (CLAESSEN, 1997); e resistência do solo à penetração (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998), padronizando a umidade das amostras na tensão de 10 kPa.

Para a coleta das amostras de solo deformadas, utilizou-se o auxílio de um enxadão. Foram coletadas amostras em três pontos da parcela, para formar uma amostra composta. Nestas amostras, foi determinada a distribuição de agregados do solo por classes de tamanho, sendo utilizado agregados com diâmetros entre 6,3 e 4,0 mm; o índice de estabilidade de agregados do solo em água, sendo utilizado agregados com diâmetros entre 2,0 e 1,0 mm (NIMMO; PERKINS, 2002); o carbono orgânico (YEOMANS; BREMNER, 1988); e o fracionamento físico do carbono orgânico (SIX et al., 1998) em que foi determinado o carbono orgânico particulado. O carbono orgânico associado aos minerais foi obtido por diferença entre o carbono orgânico e o carbono orgânico particulado.

Foi realizada a análise de variância para a regressão polinomial, para os atributos do solo avaliados em função das doses de esterco bovino, utilizando o teste F com nível de significância de 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa AgroEstat para realizar as análises estatísticas (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de carbono orgânico (CO) foram influenciados pelas doses de esterco bovino, aplicadas ao solo (Figura 1).

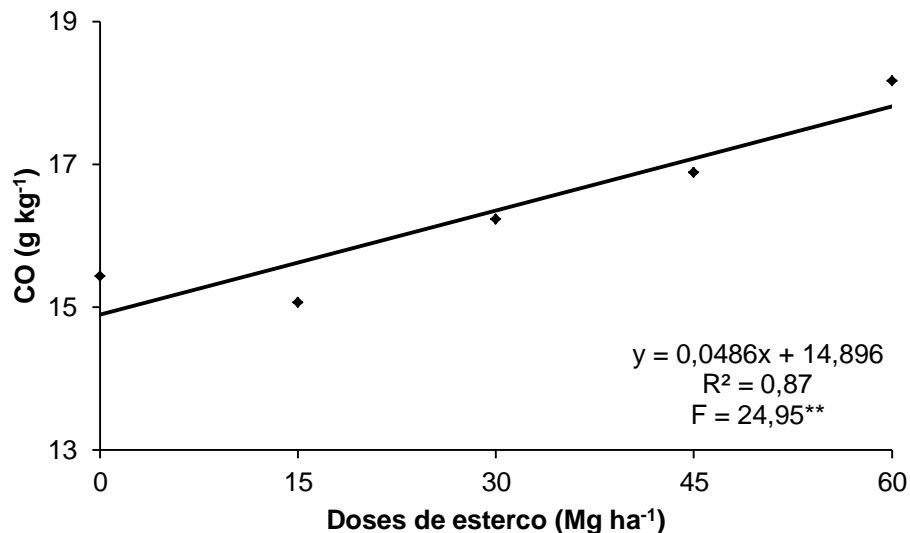


Figura 1. Carbono orgânico (CO) de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

O solo da área estudada possui elevado teor de argila, e por ser derivado do basalto, contém elevadas quantidades de óxidos de ferro nessa fração do solo. O CO forma ligações com estes minerais, formando complexos organominerais de alta energia, aumentando a resistência à oxidação do CO (CUNHA et al., 2005).

Silva (2013) também observou o incremento de CO no solo, quando se aplicou doses de esterco bovino ao solo. Assim como Shi et al. (2016) em um experimento ao longo de 28 anos em um “Eumorthic Anthrosols”, na China, que observaram o incremento de CO no solo comparando o tratamento com aplicação de adubação orgânica e o tratamento controle.

Os valores de carbono orgânico particulado (COP) cresceram linearmente com o aumento das doses de esterco (Figura 2). Esta fração do CO do solo é proveniente de resíduos, no caso deste trabalho, do resíduo de esterco bovino. O

COP desempenha função de proteção física dos agregados do solo (GOLCHIN et al., 1994).

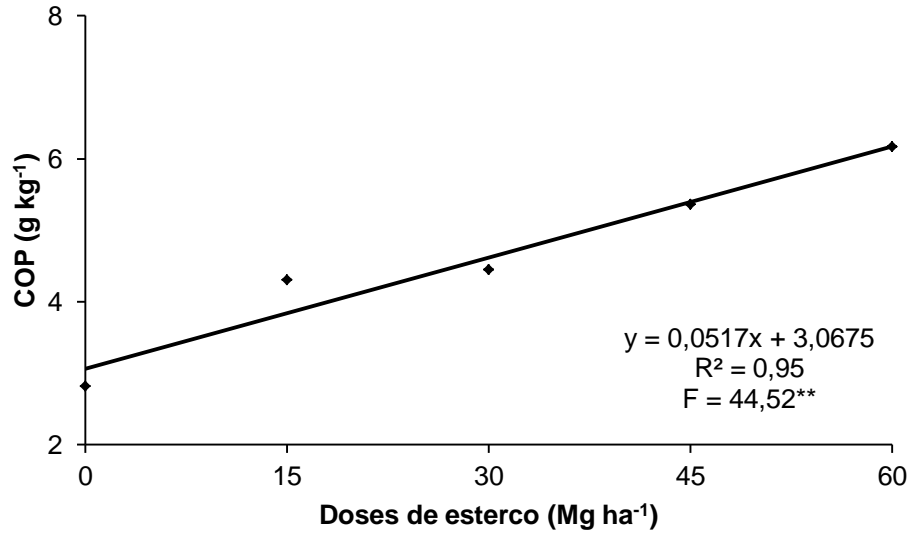


Figura 2. Carbono orgânico particulado (COP) de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

Os valores de carbono orgânico associado aos minerais (COAM) não foram influenciados pelas doses crescentes de esterco bovino, aplicadas ao solo (Figura 3). Isso pode ter ocorrido devido ao curto período de tempo de condução do experimento, já que o COAM possui uma ciclagem mais lenta, e demora para que ocorra modificações no solo (BAYER et al., 2004).

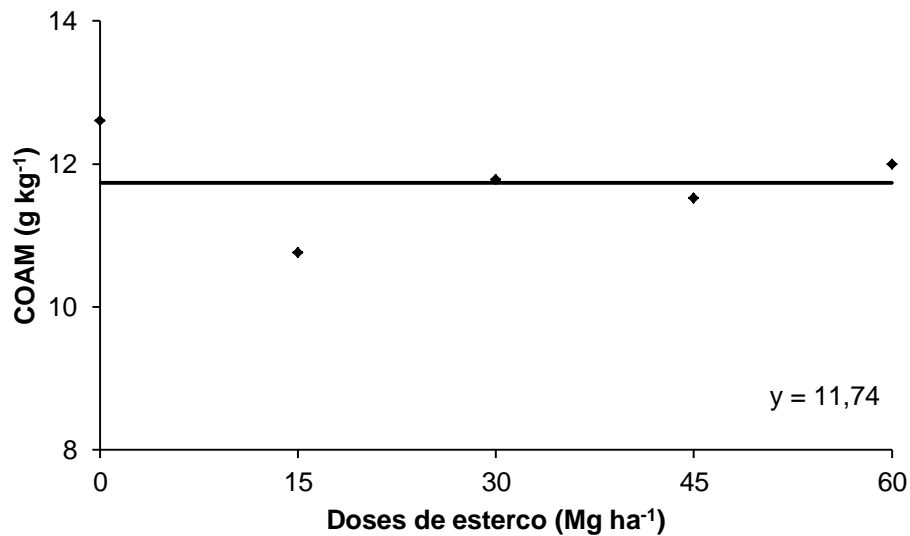


Figura 3. Carbono orgânico associado aos minerais (COAM) de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

Observa-se, na figura 4, o gráfico da distribuição de agregados do solo por classes. As maiores concentrações de agregados estáveis em água foram encontradas para a classe de agregados de diâmetro entre 6,3-4,0 mm, para todas as doses de esterco aplicadas ao solo.

A dose de 0 Mg ha⁻¹ foi a que apresentou menor concentração dentro da primeira classe de agregados avaliada (6,3-4,0 mm). Esse mesmo comportamento foi observado por Islabão et al. (2016) quando se aplicou doses de cinza de cascas de arroz ao solo. Já para as outras classes de agregados, as concentrações foram maiores para a dose de 0 Mg ha⁻¹. Demonstrando que a aplicação de esterco bovino apresentou uma agregação das partículas minerais do solo, numericamente diferente entre a dose 0 Mg ha⁻¹ e as demais doses.

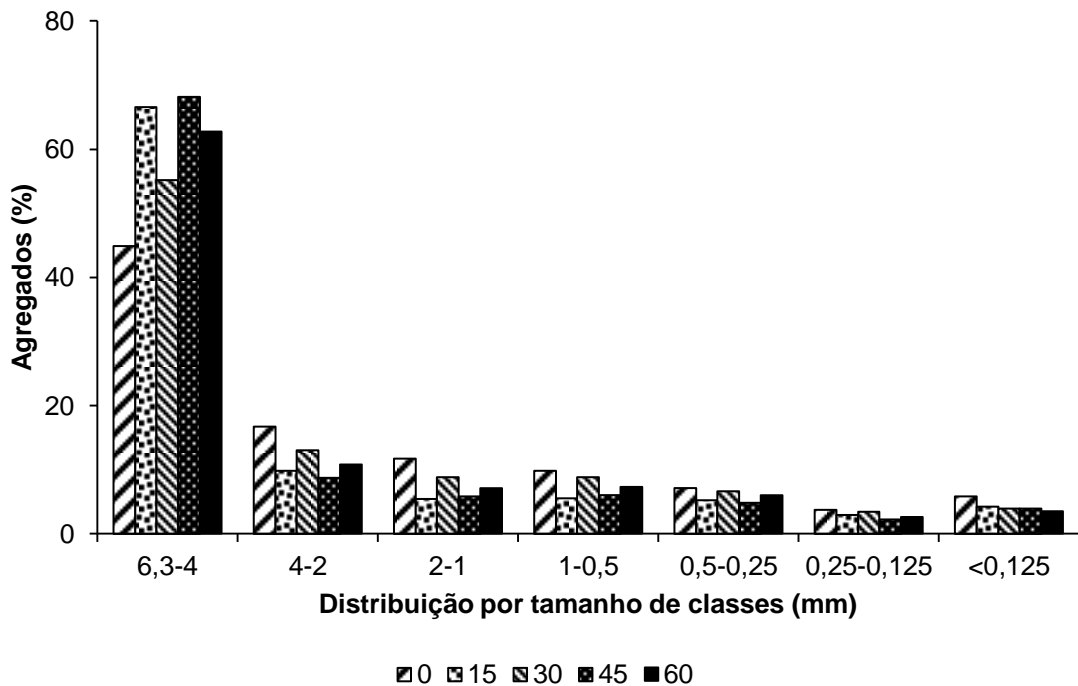


Figura 4. Distribuição de agregados do solo em água por classes de tamanho, sob diferentes doses de esterco bovino, de um Latossolo Vermelho eutroférrico, na camada de 0-0,10 m.

Os valores do índice de estabilidade de agregados do solo em água (IEA) cresceram linearmente com o aumento das doses crescentes de esterco bovino, aplicadas ao solo (Figura 5). O mesmo ocorreu no trabalho de Araújo et al. (2016) que observaram, com a aplicação de lodo de cortume compostado, o aumento do IEA do solo. Já Agne e Klein (2014) com aplicação de dejetos líquido suíno e Passarin et al. (2007) com aplicação de vinhaça ao solo, não observaram diferenças entre os valores de IEA e relacionaram isso aos baixos teores de matéria seca presente no dejetos líquido suíno e a baixa qualidade da matéria orgânica presente na vinhaça, por a matéria orgânica presente na vinhaça ser bastante biodegradável.

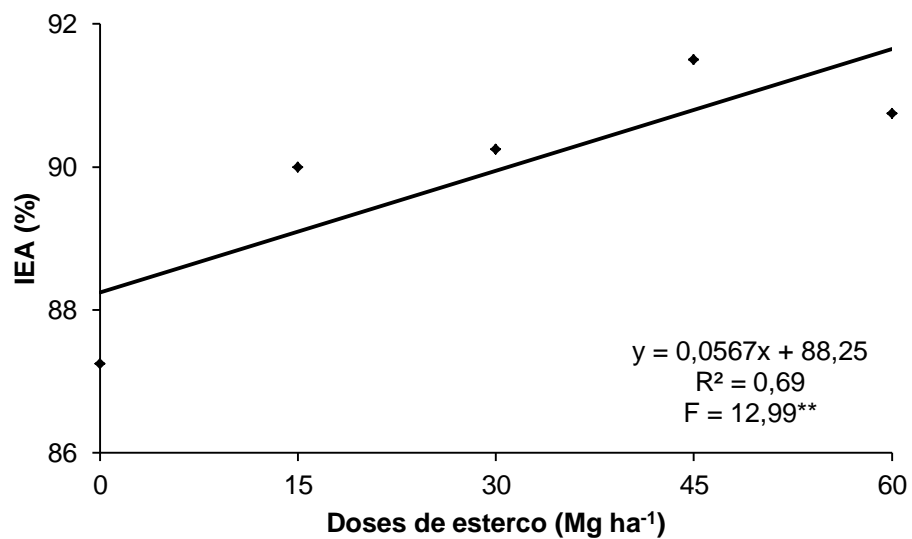


Figura 5. Índice de estabilidade de agregados do solo (IEA) de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

O solo estudado apresentou agregação e estabilidade dos agregados. Quando os agregados do solo se rearranjam, formam-se vazios, o que proporciona a porosidade ao solo. Observa-se, na figura 6, que os valores de porosidade total (PT) foram influenciados pelas doses crescentes de esterco bovino, aplicadas ao solo, e cresceram linearmente com o aumento das doses de esterco aplicadas ao solo.

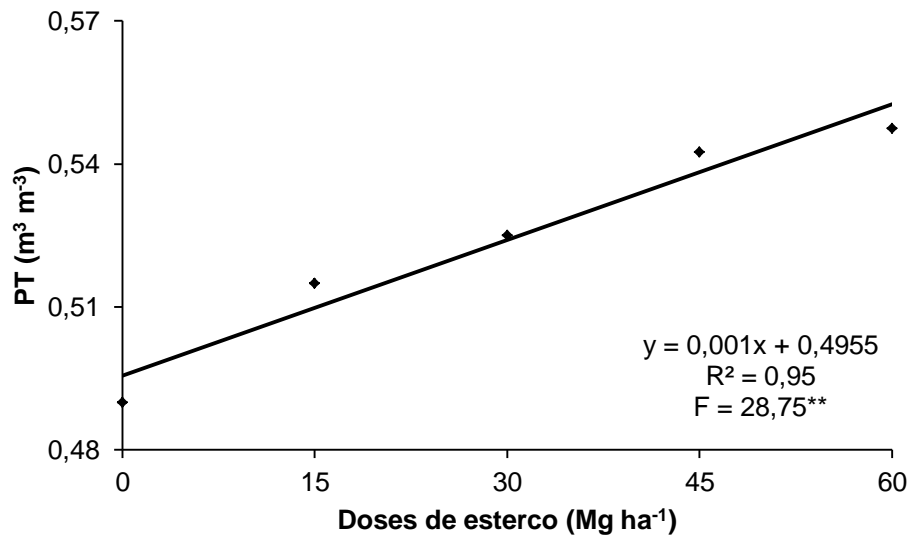


Figura 6. Porosidade total (PT) de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

A agregação das partículas minerais do solo proporcionou aumento da PT e também houve aumento da macroporosidade (Ma). Os valores da Ma cresceram linearmente com o aumento das doses de esterco bovino, aplicadas ao solo (Figura 7).

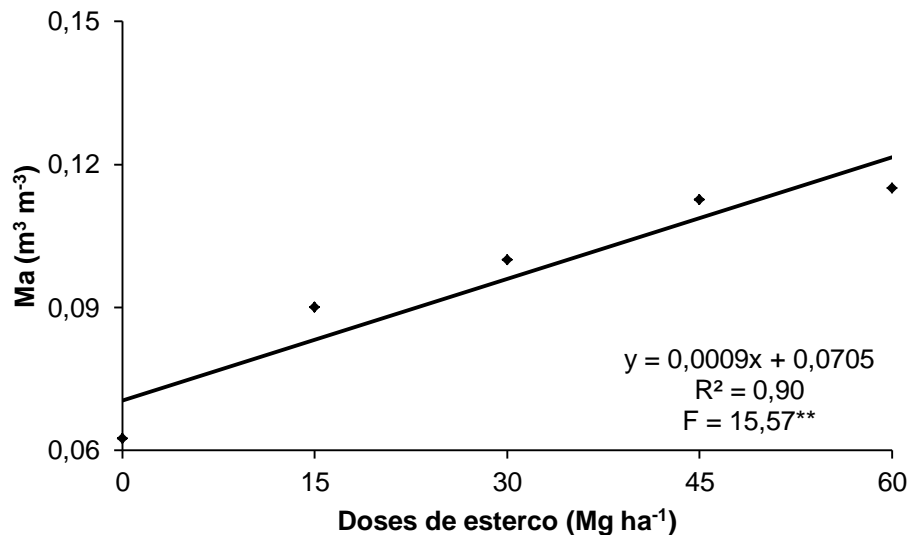


Figura 7. Macroporosidade de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

Embora a agregação do solo tenha aumentado com a aplicação de doses crescentes de esterco bovino ao solo, os valores da microporosidade (Mi) não foram influenciados (Figura 8). O aumento da PT ocorreu devido apenas aos valores de Ma.

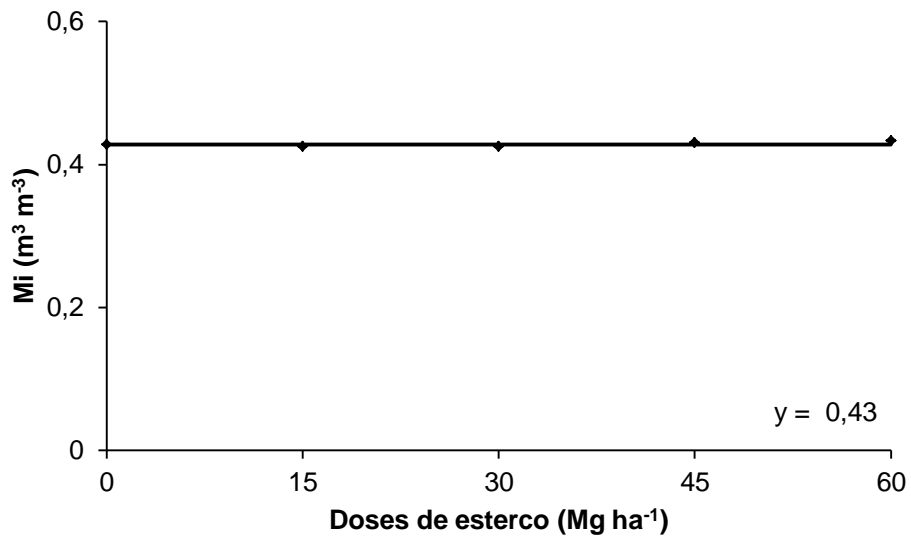


Figura 8. Microporosidade (Mi) de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

O aumento dos valores da PT, proporcionado pelo aumento dos valores da Ma, promoveu a redução da densidade do solo (Ds). Os valores da Ds decresceram linearmente com o aumento das doses de esterco bovino aplicadas ao solo (Figura 9).

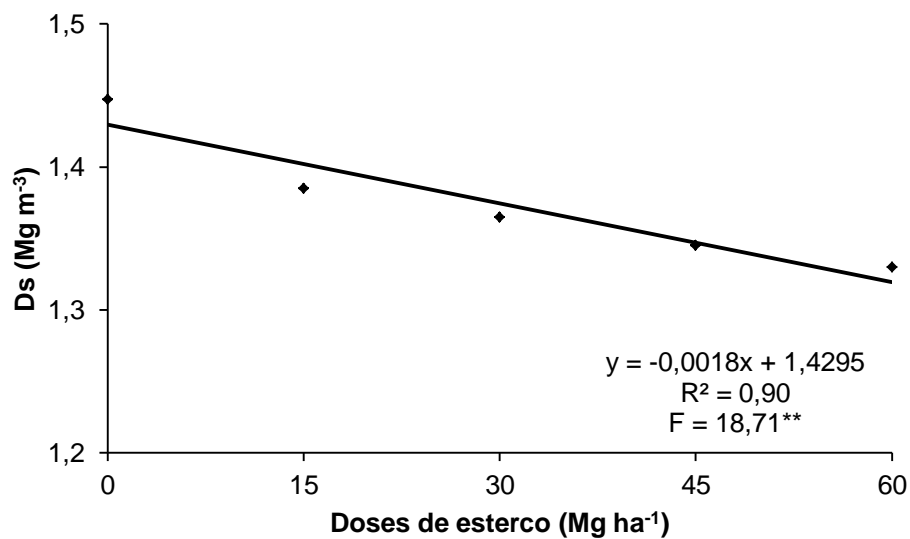


Figura 9. Densidade do solo (Ds) de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

O mesmo comportamento observado neste trabalho para PT, Ma, Mi e Ds foi observado por Islabão et al. (2016) quando avaliaram a aplicação de doses de cinzas de cascas de arroz. Araújo et al. (2016) observaram a diminuição da Ds com o aumento das doses de lodo de cortume aplicadas ao solo. Relacionaram essa diminuição ao aumento do teor de CO no solo, proporcionado pelo lodo de cortume. Shi et al. (2016) observaram o aumento da PT e redução da Ds para os tratamentos que apresentaram adubação com esterco animal quando comparado com o tratamento que não houve aplicação de adubo.

A redução dos valores de Ds proporcionou a redução dos valores da resistência do solo à penetração (RP). Observa-se que os valores da RP decresceram linearmente com o aumento das doses de esterco aplicadas ao solo (Figura 10).

Celik et al. (2010) observaram a redução dos valores para a RP mediante a aplicação de esterco ao solo quando comparado com o tratamento controle. O aumento do carbono orgânico, proporcionado pelo adubo orgânico aplicado ao solo, aumentou a agregação e reduziu a densidade do solo e com isso ocorreu a redução dos valores de RP.

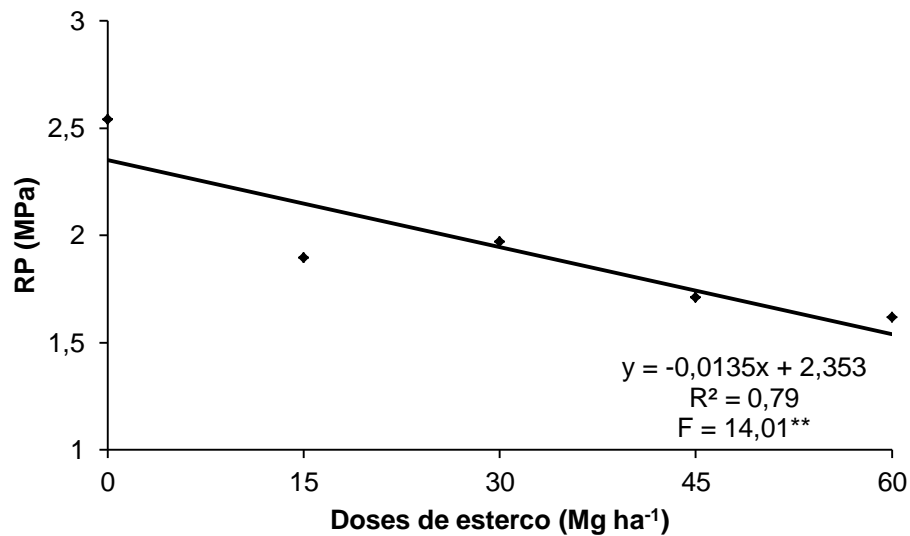


Figura 10. Resistência do solo à penetração (RP) de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

Quando o solo apresenta maior quantidade de vazios, reduz-se a força que o sistema radicular tem que exercer no solo para se desenvolver, podendo o sistema radicular se desenvolver mais. Freddi et al. (2007) observaram que os efeitos da compactação do solo afetaram a quantidade de macroporos presentes no solo, e o sistema radicular, que apresentou maior densidade na camada de 0-0,10 m a partir da RP de 2,43 MPa em relação a camada 0,10-0,20 m. Observaram ainda que houve a redução da produtividade de grãos de milho a partir do valor de RP de 1,65 MPa.

Os valores de K_0 foram influenciados pelas doses crescentes de esterco bovino, aplicadas ao solo (Figura 11).

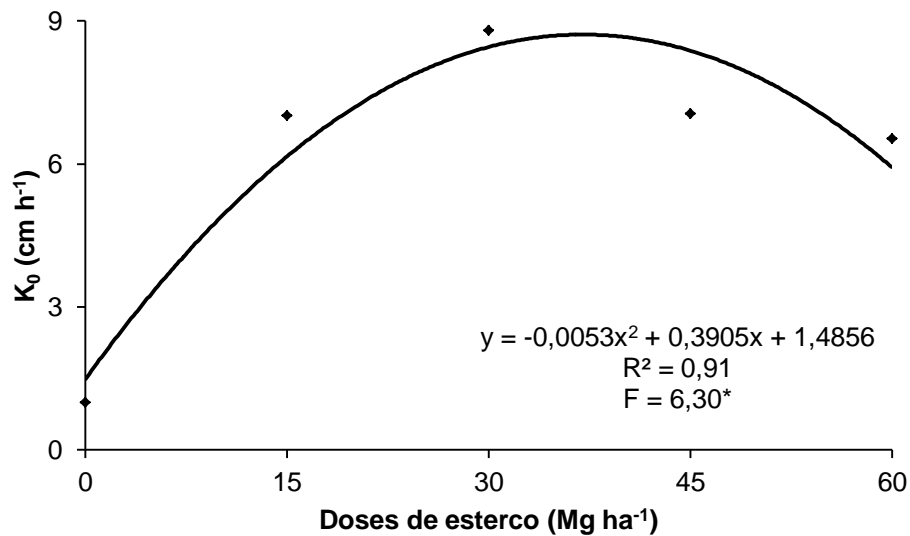


Figura 11. Condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob diferentes doses de esterco bovino, na camada de 0-0,10 m.

Mellek et al. (2010) também observaram em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico adubado com doses de esterco líquido bovino, por dois anos consecutivos, o aumento da K_0 , encontraram um aumento de quase cinco vezes, já neste trabalho o aumento foi de quase nove vezes em comparação entre as doses 0 Mg ha⁻¹ e a dose de 30 Mg ha⁻¹, que foi a que apresentou maior valor para K_0 . Já Shi et al. (2016) não observaram diferença, ao longo de 28 anos de aplicação de esterco animal, nos valores de K_0 , embora tenha observado aumento de CO e PT no solo. Os autores relacionaram isso ao fato da K_0 possuir uma alta variabilidade, e o fluxo de água pode ter sido percorrido por caminhos preferenciais, assim não ocorreram melhorias em função da adubação, o que também pode ter ocorrido neste trabalho, já que os valores da K_0 não apresentaram o mesmo comportamento que apresentou para a Ma , que é a variável que se relaciona com a K_0 , por ser os Ma considerados os responsáveis pela condução de água no solo.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de esterco bovino proporcionou no Latossolo Vermelho eutroférico, o aumento do carbono orgânico, do carbono orgânico particulado, da porosidade total, da macroporosidade e do índice de estabilidade de agregados do solo em água, e a redução da densidade do solo e da resistência do solo à penetração. Já o carbono orgânico associado aos minerais e a microporosidade não foram influenciados.

6. REFERÊNCIAS

AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 720–726, 2014.

ARAÚJO, A. S. F.; LIMA, L. M.; MELO, W. J.; SANTOS, V. M.; ARAÚJO, F. F. Soil properties and cowpea yield after six years of consecutive amendment of composted tannery sludge. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 3, p. 407-413, 2016.

ARRUDA, C. A. O.; ALVES, M. V.; MAFRA, A. L.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 804-809, 2010.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação agrônômica e AgroEstat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo - Volume VII**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. P. 221-278.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; ADORIAN, G. C.; RODRIGUES, H. V. M.; MELO, A. V.; PIRES, L. P. M.; CANCELLIER, E. L. Adubação orgânica na linha de semeadura no desenvolvimento e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 527-540, 2011. doi: 10.5433/1679-0359.2011v32n2p527.

CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, n. 5, p. 1407-1413, 1991. doi:10.2136/sssaj1991.03615995005500050034x.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCH, A. L. Estabilidade dos 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**, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CELIK, I.; GUNAL, H.; BUDAK, M.; AKPINAR, C. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 160, n. 2, p. 236-243, 2010. doi:10.1016/j.geoderma.2010.09.028.

CLAESSEN, M. E. C. org. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 97-165.

CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 81-90, 2005.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 627-636, 2007.

GANG, L.; SAKAGAMI, K.; TANAKA, H.; HAMADA, R. Role of soil organic matter in stabilization of waterstable aggregates in soils under different types of land use. **Soil Science and Plant Nutrition**, Singapore, v. 44, n. 2, p. 147-155, 1998.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 32, n. 5, p. 1043-1068, 1994.

ISLABÃO, G. O.; LIMA, C. L. R.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; TEIXEIRA, J. B. S. Hydro-physical properties of a typic hapludult under the effect of rice husk ash. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, e0150161, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcS20150161>>.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis. part 1. physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 687–734.

MARTINS, J. D. L.; MOURA, M. F.; OLIVEIRA, J. P. F.; OLIVEIRA, M.; GALINDO, C. A. F. Esterco bovino, biofertilizante, inoculante e combinações no desempenho produtivo do feijão comum. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 4, p. 369-376, 2015. doi:10.18227/1982-8470ragro.v9i4.2583.

MELLEK, J. E.; DIECKOW, J.; SILVA, V. L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SOUZA, J. L. M. Dairy liquid manure and no-tillage: physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam v. 110, p. 69-76, 2010. doi: 10.1016/j.still.2010.06.005.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. 8 p.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis. Part 4 – physical analysis**. 3. ed. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 317-328.

PASSARIN, A. L.; RODRIGUEIRO, E. L.; ROBAINA, C. R. P.; MEDINA, C. C. Caracterização de agregados em Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 3, n. 6, p. 1255-1260, 2007.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FERNANDES, K. L.; HERMÓGENES, V. T. L. Alterações na estabilidade de agregados de Latossolo e Argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1065-1071, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. V. L.; FRANCISCO, J.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SHI, Y.; ZHAO, X.; GAO, X.; ZHANG, S.; WU, P. The effects of long-term fertilizer applications on soil organic carbon and hydraulic properties of a loess soil in China. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 27, n. 1, p. 60-67, 2016. doi: 10.1002/ldr.2391.

SILVA, M. S. **Créditos de nitrogênio, alterações nos atributos químicos do solo e nos componentes de produção da cultura do milho em função da aplicação de esterco bovino**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agonomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2013.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 5, p. 1367-1377, 1998. doi: 10.2136/sssaj1998.03615995006200050032x

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.