

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
LETÍCIA SALVI KOHN

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE AGREGADOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO
SOB O CULTIVO DE LINHO E SEU DESENVOLVIMENTO RADICULAR**

Curitibanos

2017

LETÍCIA SALVI KOHN

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE AGREGADOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO
SOB O CULTIVO DE LINHO E SEU DESENVOLVIMENTO RADICULAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Rurais, do Campus de Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Agronomia.
Orientadora: Prof^a.Dr^a.Leosane Cristina Bosco.

Curitibanos

2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Kohn, Leticia Salvi
ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE AGREGADOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO
SOB O CULTIVO DE LINHO E SEU DESENVOLVIMENTO RADICULAR /
Leticia Salvi Kohn ; orientador, Leosane Cristina Bosco,
2017.
35 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2017.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. agregação do solo. 3. estudo de raízes.
4. *Linum usitatissimum* L.. I. Bosco, Leosane Cristina. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Agronomia. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia
Rodovia Ulysses Gaboardi Km3
CP: 101 CEP: 89520-000 - Curitibanos - SC
TELEFONE (048) 3721-2178 E-mail: agronomia.cbs@contato.ufsc.br.

LETÍCIA SALVI KOHN

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE AGREGADOS DE UM CAMBISSOLO HÚMICO SOB CULTIVO DE LINHO E SEU DESENVOLVIMENTO RADICULAR

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Colegiado do Curso de Agronomia, do Campus Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador(a): Leosane Cristina Bosco

Data da defesa: 09 de junho de 2017

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Orientador: Leosane Cristina Bosco
Titulação: Doutora
Área de concentração em Agrometeorologia
Universidade Federal de Santa Catarina

leosane cristina bosco

Membro Titular: Carla Eloize Carducci
Titulação: Doutora
Área de concentração em Recursos Ambientais e Uso das Terras
Universidade Federal Grande Dourados

Carla Eloize Carducci

Membro Titular: Samara Martins Barbosa
Titulação: Mestre
Área de concentração em Recursos Ambientais e Uso das Terras
Universidade Federal de Lavras

Samara Martins Barbosa

Local: Universidade Federal de Santa Catarina
Campus de Curitibanos
Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por saber que está sempre comigo.

Aos meus pais, Eimar J. Kohn e Salete L. Salvi, pelo estímulo e incentivo durante esta jornada, e também pelo exemplo de caráter e honestidade.

À Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Curitibanos pela oportunidade da realização do curso e contribuição para minha formação profissional.

À Prof^a. Dr^a. Carla Eloize Carducci por todos os ensinamentos repassados, confiança e paciência nos momentos em que minhas limitações sobrepuseram meus conhecimentos.

À Prof^a. Dr^a. Leosane Cristina Bosco pela parceria durante os anos de projeto e por todo o apoio prestado.

A todos os professores da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Curitibanos que participaram de minha formação.

Ao meu querido amigo e companheiro, Wagner T. Haubert, pela paciência e conselhos durante esta jornada.

Aos queridos colegas de laboratório, Jânio S. Barbosa, Valderi N. da Silva Júnior, Gustavo H. Mozzer e Jonathan S. Fucks, por todo o auxílio, brincadeiras e descontração nas horas de trabalho.

Aos amigos Pedro A. N. Benevenuto e Samara M. Barbosa (UFLA) pelos bons e agradabilíssimos momentos compartilhados.

A querida amiga Érika A. da Silva (UFLA/UFSC) pelos conselhos e ombro amigo mesmo estando distante.

A todos os amigos que encontrei em Curitibanos que fizeram parte da minha história, pela companhia e por ajudarem a formar uma segunda família aqui.

Meus sinceros agradecimentos.

Análise morfométrica de agregados de um Cambissolo Húmico sob cultivo de linho e seu desenvolvimento radicular

Letícia Salvi Kohn

Resumo

As plantas podem modificar o ambiente do solo melhorando sua estrutura e aumentando a estabilidade de agregados através de suas raízes. Elas, por sua vez, também sofrem influências através da compactação e teor de umidade do solo, que pode reduzir ou impedir o desenvolvimento radicular. Por estar relacionada com a disponibilidade de ar e água, ao suprimento de nutrientes, a resistência mecânica à penetração e ao desenvolvimento do sistema radicular, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes, e em decorrência disto, um bom estado de agregação do solo é fundamental para garantir alta produtividade agrícola. Este trabalho teve por objetivo avaliar a morfometria de agregados de um Cambissolo Húmico Háptico sob a cultura do linho e seu desenvolvimento radicular. Foram utilizadas as cultivares de linho marrom Aguará INTA e Caburé INTA, e a variedade dourada, em duas épocas de semeadura. Foram coletadas amostras deformadas de solo para análise química de fertilidade, granulométrica e conteúdo de carbono orgânico do solo a fim de caracterizar o mesmo. Também foram coletadas amostras preservadas para análise de densidade e distribuição de poros. No estágio de florescimento da planta, foi realizada a análise de raízes pelo método do perfil cultural através de imagens digitais 2D que foram processadas pelo programa Safira. No estágio de colheita da planta, coletaram-se blocos de solo, os quais foram passados por um conjunto de peneiras de 1 – 4,76 mm e 4,76 – 9,52 mm para avaliação do manejo via imagem 2D, distribuindo-se os agregados em scanner de mesa, e a imagem obtida foi processada pelo programa Quantporo. O solo apresentou altos valores de densidade, porém, grande espaço poroso bem distribuído para o bom desenvolvimento de raízes e armazenamento de água. Os agregados apresentaram-se semelhantes à forma geométrica de um quadrado, havendo estrias promovidas pela alta concentração de raízes encontradas. Os valores de carbono orgânico encontrados também foram elevados, sendo parte devido à manutenção do material orgânico via raízes e a característica intrínseca do solo em questão, o que auxiliou na formação e estabilização de agregados, e conseqüentemente, boa estruturação do solo. As raízes das cultivares Aguará e Caburé atingiram facilmente 30 cm de profundidade, possuindo boa ramificação vertical. A variedade dourada foi a que mais explorou o solo verticalmente, porém com maior concentração de raízes nos primeiros 10 cm, ocupando também maior área em relação os demais genótipos e se desenvolvendo melhor na primeira época de semeadura.

Palavras-chave: agregação do solo, estudo de raízes, *Linum usitatissimum* L.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Conteúdo de carbono orgânico total (g kg^{-1}) em duas profundidades de estudo; A) agregados de 4,76 mm – época de semeadura 1; B) agregados de 4,76 mm – época de semeadura 2; C) agregados de 9,52 mm – época de semeadura 1; D) agregados de 9,52 mm – época de semeadura 2..... 20
- Figura 2** – Estoque de carbono (mg ha^{-1}) acumulado em um Cambissolo Húmico Háplico muito argiloso sob o cultivo de linho; A) 0-0,05; B) 0,05-0,20 m. 21
- Figura 3** – Mapas de distribuição espacial do sistema radicular do linho (área – mm^2). A) Variedade dourada; B) Cultivar Aguará; C) Cultivar Caburé..... 24
- Figura 4** – Mapas de distribuição espacial do sistema radicular do linho (comprimento – mm). A) Variedade dourada; B) Cultivar Aguará; C) Cultivar Caburé..... 25
- Figura 5** – Mapas de distribuição espacial do sistema radicular do linho (volume – mm^3). A) Variedade dourada; B) Cultivar Aguará; C) Cultivar Caburé..... 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria do Cambissolo Húmico Háplico sob cultivo de linho.	14
Tabela 2 – Análises químicas do Cambissolo Húmico Háplico na camada de 0-0,20 m.	14
Tabela 3 – Valores médios dos atributos físicos: densidade do solo (Ds); microporosidade (Mi); macroporosidade (Ma); porosidade total (PT); em duas posições (linha – L e entrelinha – E), duas profundidades de estudo (0 – 0,05 m e 0,05 – 0,20 m) e duas épocas de semeadura (época 1 – E1 e época 2 – E2) para os diferentes genótipos estudados.	18
Tabela 4 – Valores referentes às variáveis geométricas dos agregados em intervalos de 4,76 – 9,52 mm e 1 – 4,76 mm.	19
Tabela 5 – Valores referentes a fatores de forma dos agregados em intervalos de 4,76 – 9,52 mm e 1 – 4,76 mm.	22
Tabela 6 – Coeficiente de correlação entre os atributos do solo: densidade do solo (Ds); microporosidade (Mi); macroporosidade (Ma); porosidade total (PT); área; perímetro (Per); aspecto (Asp); rugosidade (Rug); carbono orgânico (COS); estoque de carbono no solo (EstC).	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Croqui da área experimental com os tratamentos: linho (variedade dourada – D1; cultivar Aguará – M1; cultivar Caburé – M2) e épocas de semeadura (época 1 – abril; época 2 – maio).	14
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 MATERIAL E MÉTODOS	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4 CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O linho, pertencente à família Linaceae, é uma planta oleaginosa, podendo apresentar altura de 30 a 130 cm, talos eretos, haste alongada, folhas estreitas e lanceoladas, com coloração que alterna entre o verde e verde-claro. Da planta, sai um talo principal, o qual origina vários ramos onde nascem as folhas, os frutos em forma de cápsula e as flores de cor lilás ou branca (MARQUES, 2008). Cada cápsula é capaz de produzir de 8 a 10 sementes. Sua semente é um cereal (monocotiledônea) que possui alto teor de lipídio, caracterizada por ser achatada, oval, com extremidades pontiagudas e aproximadamente 5 mm de comprimento (MARQUES, 2008).

É originário da Ásia, e estima-se que tem sido cultivado há cerca de 4000 anos nos países mediterrâneos (ROSSETTO et al., 2012), onde ocorreu o início de sua domesticação. Essa espécie produz duas tonalidades de semente, chamadas de linhaça, sendo uma a variedade marrom-avermelhada e outra a variedade dourada. A coloração da semente é determinada pela quantidade de pigmentos em seu revestimento, e varia de acordo com fatores genéticos e condições climáticas da região de cultivo (BRAGA e MENDONÇA, 2010).

Segundo estatísticas da FAO, o linho é cultivado em cerca de 2,6 milhões de hectares em todo o mundo. O mesmo possui uma produção de 2.300.000 a 2.500.000 Mg ano⁻¹, sendo que, os principais produtores, por ordem de maior escala de produção são: Canadá, Estados Unidos, Índia e China. A cultura do linho também se destaca em países como Ucrânia, Rússia, Bélgica, França e Alemanha (LIMA, 2007).

Devido sua necessidade de baixa temperatura para a floração, o linho dourado é encontrado em regiões como a Europa, e também no Sul do Brasil (BASSEGIO et al., 2012), já o marrom é cultivado em regiões de clima mais quente e úmido. Sendo o sul do Brasil um local com alto potencial produtivo para o linho, o mesmo pode ser empregado em rotação de culturas no lugar do trigo como cultura de inverno devido seu baixo custo e alta versatilidade (MILISICH, 2017).

Segundo Conceição et al. (2005), as plantas podem modificar o ambiente do solo, melhorando sua estrutura e aumentando a estabilidade de agregados. Sabe-se que o sistema radicular das culturas, em geral, está relacionado com as características físicas do solo, genética da planta e teor de água no solo, e que as raízes possuem fundamental importância nas interações que ocorrem entre o solo, as plantas e os organismos vivos (COELHO et al., 2002). As plantas também sofrem influências através da compactação (SOUZA et al., 2006) e

teor de umidade do solo, o que pode reduzir ou impedir o desenvolvimento radicular (MAZURANA et al., 2013).

De acordo com Fracaro e Pereira (2004), o estudo do sistema radicular das espécies vegetais utilizadas na agricultura é de extrema relevância, sendo base para o entendimento científico da produção agrícola. Juntamente com as raízes, a caracterização da morfometria de agregados é necessária, tendo em vista que pode indicar a qualidade estrutural de um solo que, por consequência, interfere no desenvolvimento radicular (CREMON et al., 2011).

Para Silva e Mielniczuk (1997), as raízes exercem grande influência na formação e estabilidade dos agregados do solo. O formato dos agregados do solo pode interferir na distribuição e tamanho dos poros, e estes, afetar o desenvolvimento das raízes das culturas, alterando também a dinâmica de ar, água e nutrientes (CREMON et al., 2011; SILVA, 2014).

Dependendo da arquitetura das raízes, o sistema radicular tende a atingir camadas mais profundas no solo ou se localizar superficialmente (ABICHEQUER, 2004). É cabível ressaltar também, que entre as variedades de planta pode haver diferença em relação à capacidade de absorção de nutrientes, devido à variação na magnitude e morfologia do sistema radicular (BATISTA et al., 2016). Ressalta-se que quanto mais fina a raiz, mais água é absorvida, devido à menor espessura da parede celular e maior permeabilidade da membrana (JESUS et al., 2006).

Por estar relacionada com a disponibilidade de ar e água, ao suprimento de nutrientes, a resistência mecânica à penetração e ao desenvolvimento do sistema radicular, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes (CORRÊA, 2002), e em decorrência disto, um bom estado de agregação do solo é fundamental para garantir alta produtividade agrícola (HICKMAN et al., 2011).

De acordo com Melo et al. (2008), os agregados são unidades secundárias do solo, formadas por uma combinação de partículas minerais e substâncias orgânicas e inorgânicas, formando um complexo organo-mineral, tendo sua superfície carregada eletricamente. A formação de agregados no solo é decorrente da interação de fatores como o ambiente, sistema de manejo, características das plantas e atributos do solo, tendo como exemplo a textura, sua composição mineral, teor de nutrientes, quantidade de matéria orgânica e umidade (SINGER et al., 1992).

Para melhor estudar a forma e o tamanho dos agregados, vem sendo desenvolvidas técnicas, que possibilitam também, apresentar o grau de rugosidade da superfície e o arredondamento do agregado (OLSZEWSKI et al., 2004). Estes dois últimos aspectos citados podem ser considerados como índices da qualidade do solo, por avaliarem o sistema de

manejo emprego, além de interferirem diretamente no desenvolvimento do sistema radicular das plantas e vice-versa (CARVALHO et al., 2010).

Sendo assim, é importante a realização de estudos dos atributos físicos do solo, em especial de seu estado de agregação, para o entendimento da funcionalidade do sistema poroso e associação do mesmo com o desenvolvimento do sistema radicular, que além de ser fundamental para a absorção de água, aquisição de nutrientes e sustentação da planta, é imprescindível na formação e estabilização de agregados (SALTON et al., 2008).

De acordo com Kaestner et al. (2006), o desenvolvimento radicular depende da estrutura do solo, e a estrutura do solo, por sua vez, também é reflexo do crescimento das raízes pelo perfil do mesmo. Separar os efeitos da estruturação do solo sobre as raízes e vice-versa é uma atividade que envolve um grande conjunto de fatores relacionados entre si. Sendo assim, o conhecimento das interações solo-raiz nas culturas vem sendo cada vez mais explorado, buscando-se conhecer a distribuição do sistema radicular das culturas, e suas prováveis alterações na estrutura do solo (CARDUCCI, 2014).

Com base no exposto acima, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento radicular de três genótipos de linho e sua relação com a agregação do solo, caracterizando a morfologia radicular e a morfometria dos agregados, em duas épocas distintas de semeadura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano de 2016, em uma área experimental de 150 m² pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina, localizada no município de Curitibanos, Mesorregião Serrana do estado de Santa Catarina, com latitude 27°16'58" e longitude 50°35'04".

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb – subtropical úmido com verões amenos (ALVARES et al., 2013), com precipitação média anual de aproximadamente 1480 mm, temperatura máxima média anual de 22°C e mínima média de 12,4°C (EMBRAPA, 2011).

Os materiais vegetais utilizados foram três genótipos de linho: a variedade dourada, proveniente da Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) e as cultivares de coloração marrom Aguará INTA e Caburé INTA, ambas provenientes da Argentina através do Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária.

No ano de 2014, foi realizada uma aração da área utilizando um arado reversível com 3 discos de 28", a uma profundidade de trabalho de 0,40 m, tendo por finalidade a desestruturação e desagregação do solo, que foi cultivado nos anos de 2014 e 2015 com linho no período do inverno e tomate tutorado no verão.

Para avaliar a adaptabilidade do linho, sua semeadura foi realizada em duas épocas distintas no ano de 2016, utilizando-se um delineamento experimental de 2x3: duas épocas de semeadura (abril e maio), combinadas com os três genótipos de linho. Cada unidade experimental foi composta por quatro linhas com espaçamento de 0,05 m entre plantas e 0,34 m entrelinhas, contendo cinco repetições e distribuídas em blocos ao acaso. A semeadura foi realizada em meados de abril e maio, manualmente e em sistema de cultivo mínimo, de acordo com o croqui do Quadro 1.

Quadro 1 – Croqui da área experimental com os tratamentos: linho (variedade dourada – D1; cultivar Aguará – M1; cultivar Caburé – M2) e épocas de semeadura (época 1 – abril; época 2 – maio).

M2	M1	M1	D1	M2	ÉPOCA 2
D1	M2	D1	M2	M1	
M1	D1	M2	M1	D1	
M1	M2	D1	M1	M2	ÉPOCA 1
M2	D1	M1	M2	D1	
D1	M1	M2	D1	M1	

O solo sob o cultivo dos três genótipos de linho foi classificado como Cambissolo Húmico Háplico conforme Embrapa (2013), originado do basalto com textura muito argilosa. Foram coletadas aleatoriamente na área, amostras deformadas de solo nas profundidades de 0-0,05 m e 0,05-0,20 m para determinação da granulometria pelo método da pipeta descrito pela metodologia da Embrapa (2011) (Tabela 1).

Tabela 1 – Granulometria do Cambissolo Húmico Háplico sob o cultivo de linho.

	Argila	Areia	Silte
Profundidades	g kg ⁻¹		
0-0,05 m	507,67	78,50	413,84
0,05-0,20 m	519,16	73,39	407,45

Para a caracterização da fertilidade do solo foram realizadas análises químicas na camada de 0-0,20 m de profundidades (Tabela 2).

Tabela 2 – Análises químicas do Cambissolo Húmico Háplico na camada de 0-0,20 m.

pH (H2O)	SB	t	T	Al	H+Al	Ca	Mg	V	m	K	P	P-Rem
				cmc dm ³		%			mg dm ³		mg L	
5,9	11,05	11,15	16,82	0,10	5,77	6,76	3,95	65,73	0,90	134,53	6,04	13,30

SB: soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC a pH 7; V: saturação por bases; m: saturação por Al³⁺; P-Rem: fósforo remanescente.

Também foram coletadas amostras com estrutura preservada para análise da densidade do solo e distribuição de poros (EMBRAPA, 2011), sendo escolhidas três plantas aleatoriamente em cada época e de cada genótipo onde foi realizada amostragem na linha e entrelinha de cultivo, em profundidades de 0-0,05 m e 0,05-0,20 m.

No estágio de florescimento, para cada época de semeadura, foram escolhidas três plantas de cada genótipo aleatoriamente para realizar o estudo de raízes através do método da trincheira pelo estudo do perfil cultural (BRASIL et al., 2007), onde, para cada planta selecionada, foi aberta uma trincheira longitudinal à linha de cultivo.

O solo ao longo do perfil foi escarificado (aproximadamente 3 cm) com o auxílio de uma lâmina cortante, até a profundidade onde haviam raízes para que as mesmas fossem expostas. Essas raízes expostas receberam uma fina camada de tinta amarela para elevar seu contraste de cor entre elas e o solo (cor bruno). Sequencialmente, foi colocado sobre a trincheira com as raízes expostas um gride contendo quadrículas de 0,05 m x 0,05 m.

Após a colocação do gride, foram adquiridas imagens digitais 2D da parede da trincheira com as raízes expostas por meio de uma câmera digital com resolução espacial de 16 megapixels. Essas imagens foram corrigidas e alinhadas com o uso do software Photoshop CS5 12.0.4, e em seguida as mesmas foram processadas no programa Safira, desenvolvido pela Embrapa Instrumentação (EMBRAPA, 2008), sendo que as raízes foram analisadas pelos parâmetros de comprimento (mm), área (mm²) e volume (mm³).

Chegando ao estágio de colheita da planta, também para cada época de semeadura, foram escolhidas aleatoriamente três plantas de cada genótipo onde foram abertas trincheiras e coletados blocos de solo na linha e entrelinha de cultivo, nas profundidades de 0-0,05 m e 0,05 – 0,20 m. Os blocos coletados possuíam dimensões de 0,15 x 0,15 x 0,10 m, e após sua coleta, passaram por um conjunto de peneiras com dimensão de malha de 9,52-4,76 mm (peneira de 9 mm) e 4,76-1 mm (peneira de 4 mm), sendo que este conjunto foi submetido a leves movimentos em quantidades pré-estabelecidas (movimentos manuais de vai e vem na vertical, repetidos por dez vezes) (CREMON et al., 2011). Após passarem pelas peneiras, os agregados foram acondicionados em potes de plástico com proteção de espuma e transportados sem perturbações até o laboratório, onde os potes ficaram abertos para as amostras serem secas ao ar antes de serem utilizadas para análise.

Para cada amostra analisada, foram obtidas imagens digitais sendo colocados 60 agregados, escolhidos ao acaso, sobre um scanner de mesa (HP Scanjet G2410), com capacidade de resolução ótica de 1200 dpi. Para os agregados de 9 mm, utilizou-se a resolução de 300 dpi, e para os agregados de 4 mm, foi utilizado 600 dpi. As imagens

adquiridas foram processadas no programa Quantporo, que analisa diferentes objetos tomando medidas características morfológicas de objetos em geral, a exemplo de dados geométricos como a área de superfície do objeto e o perímetro, e os fatores de forma como o aspecto e rugosidade de superfície.

Após a utilização dos agregados para análise de imagem, os mesmos foram utilizados para determinar o carbono orgânico nas frações dos agregados, adaptando-se a metodologia semelhante à utilizada por Castro Filho et al. (1998, 2002) e Madari et al. (2005). Os agregados foram triturados e passados em peneira com malha de 80 mesh para determinação de carbono orgânico através da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (EMBRAPA, 2011). Após a obtenção do valor de carbono orgânico do solo (COS), foi calculado o estoque de carbono pela seguinte fórmula:

$$\text{EstC} = \frac{\text{COS} \times \text{Ds} \times e}{10}$$

Onde: EstC = estoque de C total (mg ha^{-1}); COS = teor de C total g kg^{-1} ; Ds = densidade do solo (g cm^{-3}); e = espessura da camada de solo (cm).

No presente trabalho, foram avaliados os parâmetros de área do agregado (cm^2), indicada pelo número de pixel do polígono que indica o estado de agregação do solo; perímetro (cm), referente ao comprimento da projeção do limite exterior do agregado; aspecto, que possui resultados variando de 0 até 1, sendo que quanto mais próximo de 1 o valor, maior é seu grau de arredondamento, e está relacionado com o efeito dos sistemas de cultivo sobre a morfologia destes; rugosidade, que apresenta as estrias do agregado, onde os valores também variam de 0 a 1, e quanto maior este valor, mais liso é o agregado, ou seja, menos estrias ele possui.

Os dados morfológicos de agregados e dos atributos físicos do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando pertinente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) através do programa Sisvar (FERREIRA, 1998). As correlações de Pearson foram realizadas através do uso do programa Sigmaplot (2008). Com a finalidade de descrever a variabilidade observada e indicar a imprecisão associada à estimativa dos dados referentes ao conteúdo de carbono orgânico do solo, foi utilizada a média e o erro padrão da média para confecção dos gráficos.

De posse dos resultados obtidos em cada unidade de amostragem do gride das raízes (0,30 m x 0,30 m subdivididos em quadrículas de 0,05 x 0,05 m, totalizando até 36 pontos) foram estimados valores para os locais não amostrados com condições de não tendenciosidade e variância mínima. Para a krigagem utilizou-se o centroide de cada unidade amostral do gride

para geração dos mapas de superfície com auxílio do pacote geoR (RIBEIRO JÚNIOR e DIGGLE, 2001), a fim de buscar melhor visualização da distribuição das variáveis radiculares no perfil do solo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentados os dados das propriedades físicas avaliadas no Cambissolo sob cultivo do linho, onde pode ser observada diferenças significativas somente para densidade e porosidade total na primeira época de semeadura na camada 0,05-0,20 m de profundidade. Vale lembrar que se trata de um solo cuja pedogênese apresenta processos de adensamento natural (EMBRAPA, 2013), bem como, a área em estudo vem sendo cultivada com linho desde 2014, onde para a primeira semeadura foi realizada aração em área total com quatro passadas do maquinário, o que pode estar refletindo nos altos valores de densidade do solo, porém sem prejuízos ao desenvolvimento da planta devido à grande quantidade de macroporos, provavelmente devido à maior contribuição de bioporos formados pelo sistema radicular.

Tabela 3 – Valores médios dos atributos físicos: densidade do solo (Ds); microporosidade (Mi); macroporosidade (Ma); porosidade total (PT) em duas posições (linha - L e entrelinha - E), duas profundidades de estudo (0 – 0,05 m e 0,05 – 0,20 m) e duas épocas de semeadura (época 1 – E1 e época 2 – E2) para os diferentes genótipos (Gen.: D1 – dourada; M1 – Aguará; M2 – Caburé).

Gen.	Posição	Ds*	Mi ^{ns}	Ma ^{ns}	PT*	Gen.	Posição	Ds*	Mi ^{ns}	Ma ^{ns}	PT*		
		g cm ³cm ³	cm ³			g cm ³cm ³	cm ³		
0-0,05 m						0,05-0,20 m							
E1	D1	L	1,65a	0,41	0,10	0,52	E1	D1	L	1,52a	0,39	0,39	0,53a
		E	1,53a	0,35	0,26	0,61			E	1,58a	0,43	0,15	0,58a
	M1	L	1,69a	0,39	0,10	0,50		M1	L	1,73b	0,40	0,12	0,48a
		E	1,65a	0,39	0,12	0,52			E	1,63a	0,29	0,24	0,53a
	M2	L	1,53a	0,33	0,31	0,65		M2	L	1,68a	0,40	0,14	0,54a
		E	1,60a	0,31	0,24	0,55			E	1,66a	0,36	0,13	0,50a
E2	D1	L	1,57a	0,33	0,23	0,56a	E2	D1	L	1,72b	0,37	0,16	0,78b
		E	1,52a	0,33	0,24	0,58a			E	1,64a	0,38	0,16	0,54a
	M1	L	1,56a	0,31	0,30	0,62a		M1	L	1,62a	0,32	0,20	0,53a
		E	1,62a	0,30	0,24	0,54a			E	1,61a	0,39	0,18	0,58a
	M2	L	1,62a	0,30	0,28	0,59a		M2	L	1,57a	0,32	0,27	0,59a
		E	1,64a	0,29	0,24	0,54a			E	1,67a	0,36	0,17	0,54a

^{ns}: não significativo, *: significativo a P<0,05.

Nesse sentido, faz-se necessário o estudo mais detalhado das propriedades físicas do solo, com vista à identificação de alterações estruturais em escalas menores, como a avaliação dos agregados. No Cambissolo sob o cultivo de linho, os agregados avaliados tiveram área de superfície de $\approx 0,12 \text{ cm}^2$ para aqueles retidos na peneira de 4,76 mm, não diferindo significativamente entre os genótipos e épocas de semeadura, como apresentado na Tabela 4. Os agregados retidos em peneira com malha de 9,52 mm também não diferiram entre si entre os parâmetros geométricos avaliados, entretanto pode-se observar que são agregados que apresentam mais de 1,4 cm de tamanho.

Tabela 4 – Valores referentes às variáveis geométricas dos agregados em intervalos de 4,76 – 9,52 mm e 1 – 4,76mm.

	Área (cm ²) ^{ns}					
	4 mm			9 mm		
	Dourada	Aguara	Caburé	Dourada	Aguara	Caburé
Época 1	0,12a	0,12a	0,12 ^a	0,27a	0,28a	0,27a
Época 2	0,12a	0,12a	0,12 ^a	0,27a	0,27a	0,28a
	Perímetro (cm) ^{ns}					
	4 mm			9 mm		
	Dourada	Aguara	Caburé	Dourada	Aguara	Caburé
Época 1	1,45a	1,44a	1,46 ^a	2,10a	2,17a	2,10a
Época 2	1,45a	1,45a	1,44 ^a	2,11a	2,15a	2,12a

^{ns}: não significativo; ^{*}: significativo a $P < 0,05$.

A presença de agregados de maior dimensão resulta em um solo com melhor porosidade, o que propicia às raízes um bom desenvolvimento (CREMON, 2007). Em sistemas convencionais de cultivo, através da realização de aração e gradagem, há impactos no conteúdo de matéria orgânica do solo, o que resulta em alteração na temperatura, umidade e aeração, rompendo os agregados (BAYER e MIELNICKZUK, 1999). Tendo em vista o uso de sistema de cultivo mínimo para o linho, e do alto valor de carbono orgânico encontrado nesses agregados do solo (Figura 1), conclui-se que o atributo contribuiu para o aumento da área dos agregados e favoreceu a estrutura do solo, que apresentou boa aeração, corroborando aos valores de macroporos encontrados ($\approx 0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

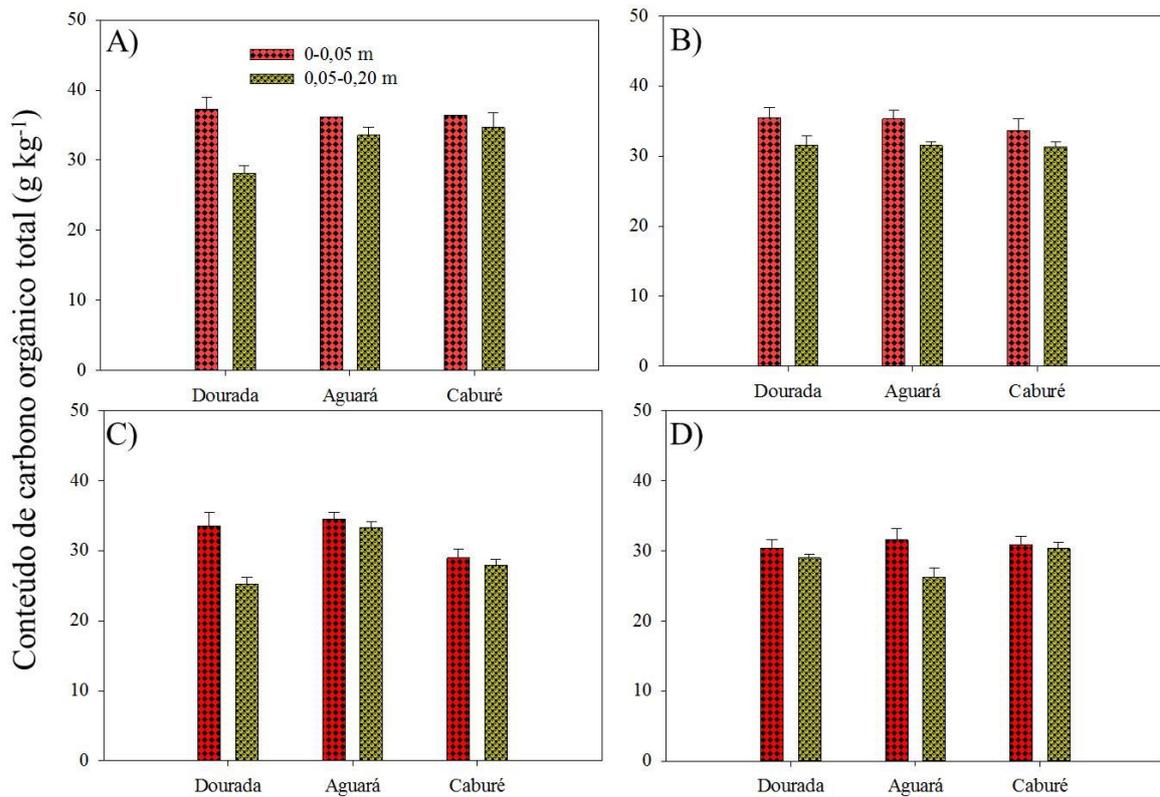


Figura 1 – Conteúdo de carbono orgânico total (g kg^{-1}) em duas profundidades de estudo; A) Agregados de 4,76 mm – época de semeadura 1; B) Agregados de 4,76 mm – época de semeadura 2; C) Agregados de 9,52 mm – época de semeadura 1; D) Agregados de 9,52 mm – época de semeadura 2.

Neste sentido, elevados teores de matéria orgânica no solo associados aos mecanismos de emaranhamento das raízes, proporcionam uma melhor estabilização e dimensão dos agregados (CAMPOS et al., 1995). O manejo realizado no solo juntamente com espécies que contribuam para a conservação do mesmo, tanto física quanto quimicamente, podem minimizar possíveis degradações e também auxiliar no processo de estoque de carbono orgânico do solo, que consequentemente reduz a emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera (SILVA et al., 2013). Na Figura 2, estão apresentados os valores referentes ao estoque de carbono dos agregados do solo. Em relação ao sequestro de carbono, o sistema de manejo conservacionista que vem sendo utilizado na área (cultivo mínimo), contribuiu para a manutenção do estoque de carbono do solo, diminuindo a velocidade de emissões de carbono do solo, como verificado também por Silva et al. (2013), ao avaliarem um sistema conservacionista de manejo do solo para a cultura cafeeira.

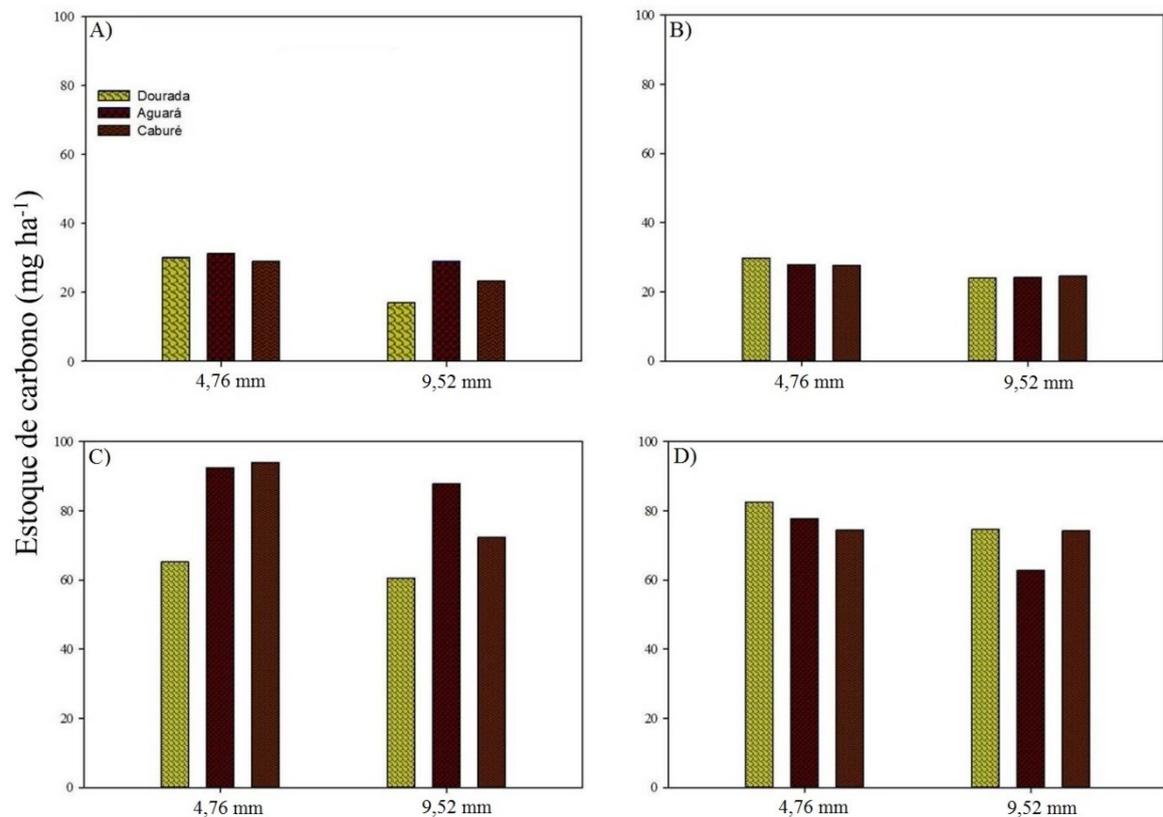


Figura 2 – Estoque de carbono (mg ha^{-1}) acumulado em um Cambissolo Húmico Háplico muito argiloso sob o cultivo de linho; A) Época de semeadura 1 (0-0,05 m); B) Época de semeadura 2 (0-0,05 m); C) Época de semeadura 1 (0,05-0,20 m); D) Época de semeadura 2 (0,05-0,20 m).

Os elevados valores de estoque de carbono encontrados pode ser devido à característica pedogênica do Cambissolo Húmico ($> 80 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria orgânica) em estudo, porém a manutenção e contribuição desses valores podem também estar relacionado ao aporte do carbono orgânico proveniente das raízes do linho e que estão armazenados nos agregados que apresentam grandes dimensões (Tabela 4). É interessante observar, que para a profundidade em estudo de 0,05-0,20 m, o linho dourado apresentou maior estoque de carbono em seus agregados na segunda época de cultivo.

O parâmetro de aspecto dos agregados, expressa o grau de arredondamento dos mesmos, sendo que não houve diferença significativa desses valores entre os genótipos que foram cultivadas (Tabela 5). Quando uma forma geométrica é perfeitamente redonda, seu valor de aspecto atinge o valor máximo de 1,00. Os agregados encontrados no presente estudo apresentaram-se semelhantes a um cubo, com valores em torno de 0,84, ressaltando que índices que variam de 0,83 a 0,90 são agregados de forma quadrada tendendo ao

arredondamento ou com vértices arredondados (VERCELLI, 2005 apud CREMON et al., 2011). De acordo com Olszewski et al. (2004), maiores valores de arredondamento geralmente são encontrados em agregados provenientes de sistemas de manejo intensivo, como é o caso do plantio convencional, pois o mesmo acarreta em perdas de rugosidade de superfície.

Tabela 5 – Valores referentes a fatores de forma dos agregados nos intervalos de 4,76 – 9,52 mm e 1 – 4,76 mm.

Aspecto^{ns}						
	4,76 mm			9,52 mm		
	Dourada	Aguará	Caburé	Dourada	Aguará	Caburé
Época 1	0,84	0,84	0,83	0,84	0,84	0,83
Época 2	0,83	0,84	0,83	0,82	0,82	0,83
Rugosidade^{ns}						
	4,76 mm			9,52 mm		
	Dourada	Aguará	Caburé	Dourada	Aguará	Caburé
Época 1	0,73	0,72	0,72	0,69	0,69	0,70
Época 2	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,69

^{ns}: não significativo; *: significativo a $P < 0,05$.

Quanto mais próximo for o valor de rugosidade a 0,90, indica que mais arredondado é o agregado (CREMON et al., 2011). Os agregados apresentaram valores variando de 0,69 a 0,73, o que significa a presença de estrias (rugosidade), podendo estas estarem relacionadas ao sistema de manejo conservacionista adotado, sem utilização de equipamentos que revolvam ou modifiquem a estrutura do solo associado ainda com a ação apenas das raízes ali presentes.

Sendo assim, conhecer a distribuição do sistema radicular é fundamental devido ao papel que as raízes desempenham na formação e estabilização dos agregados do solo (CARDUCCI, 2014). Ao final do ciclo, o sistema radicular do linho atingiu 30 cm de profundidade, o que representa uma melhor distribuição vertical das raízes do que em outros anos de estudo, onde atingiu o máximo de 20 cm de profundidade (KOHN et al., 2016) devido à ocorrência do fenômeno climático El Niño, que causou aumento no volume de precipitação e por consequência, as raízes não necessitaram se desenvolver em profundidade pois ocorreu grande oferta de água logo nas camadas mais superficiais do solo. Este resultado confirma a influência do ambiente e das condições climáticas às quais o linho esteve inserido em seu cultivo.

No presente estudo pode-se considerar que houve um bom desempenho do crescimento radicular do linho, uma vez que o mesmo apresentou maior concentração nos primeiros centímetros, diminuindo gradualmente em profundidade, porém com muitas ramificações por todo o perfil do solo até os 30 cm avaliados, como pode ser observado nos mapas de superfície apresentados a seguir para cada época de cultura e genótipo (Figuras 3, 4 e 5).

Notou-se que a variedade de linho dourado não explorou muito o solo em termos de área e volume de raízes na primeira época de semeadura do experimento (Figura 3 e 5), o que pode ser causa das condições climáticas que não favoreceram esse genótipo. Contudo, na segunda época de semeadura (maio), essa variedade foi a que mais explorou o solo tanto em área quanto em volume de raízes distribuídas ao longo do perfil de solo avaliado, juntamente com a cultivar Caburé que apresentou maior exploração na segunda época de cultivo.

As raízes da planta de linho dourado tiveram comprimento de cerca de > 120 mm, distribuídos no solo, vale salientar que essa planta oleaginosa apresenta uma raiz pivotante com algumas ramificações. No entanto, nas condições deste estudo houve maior ramificação e exploração do solo tanto do sentido vertical como horizontal das raízes em busca de água e nutrientes disponíveis. O Cambissolo se apresentou bem aerado e sem impedimentos mecânicos (Tabela 3), sendo assim as raízes não encontraram restrições em explorar as camadas mais profundas. Além disso, o alto teor de estoque de carbono (Figuras 1 e 2) encontrado indica a boa estruturação desse solo, bem como reserva de nutrientes que podem ser disponibilizados gradualmente com a mineralização do material orgânico com posterior absorção pelas plantas.

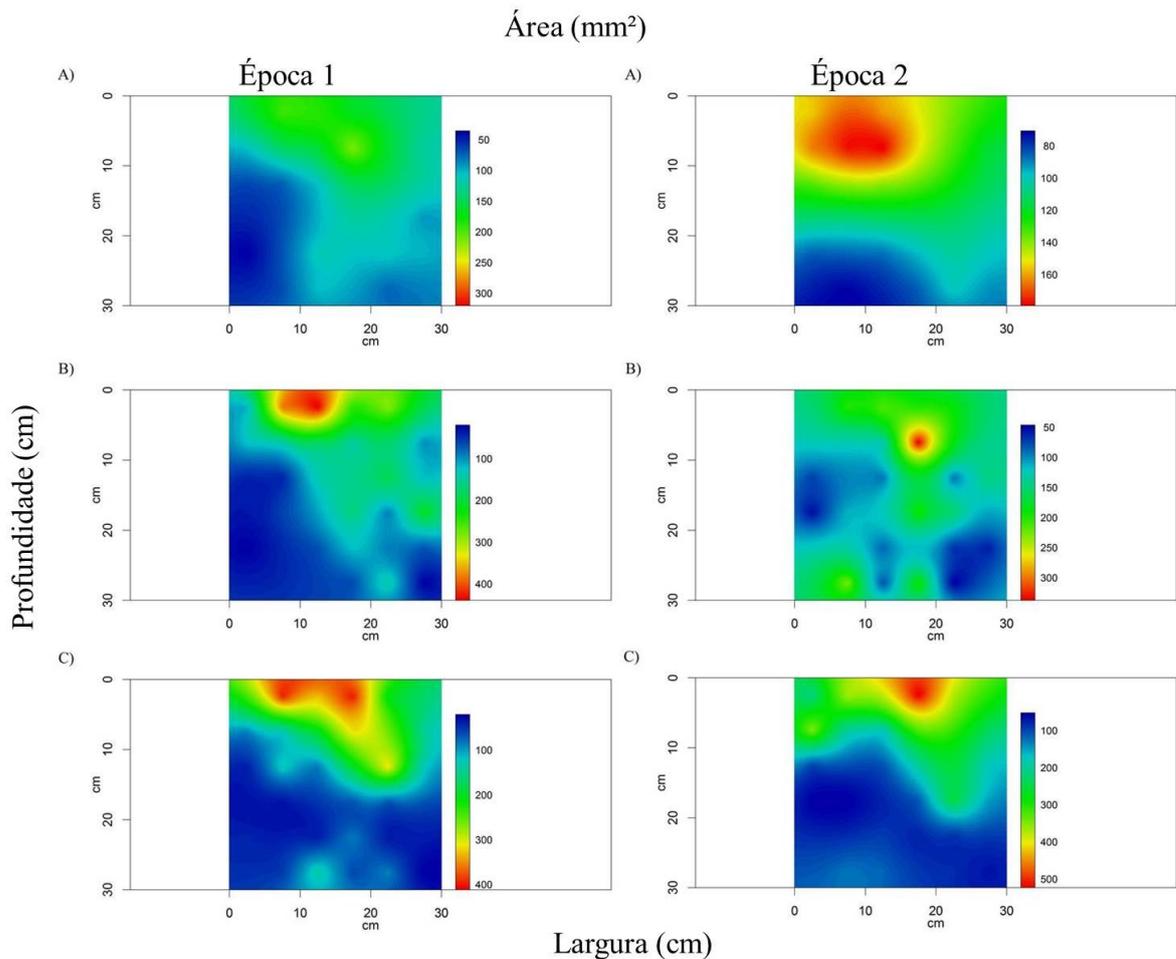


Figura 3 – Mapas de distribuição espacial do sistema radicular do linho (área – mm²). A) Variedade dourada; B) Cultivar Aguará; C) Cultivar Caburé.

A cultivar Aguará teve maior concentração de raízes nos primeiros 10 cm de solo na primeira época de semeadura (abril) em relação à área de superfície (> 300 mm²), comprimento (\approx 250 mm) e volume de raiz (40 mm³) (Figura 3, 4 e 5), no entanto apresentou raízes mais ramificadas e distribuídas no sentido vertical do perfil de solo na segunda época de semeadura (maio) evidenciando a geometria do sistema radicular abaixo de 20 cm de profundidade, a exemplo da maior área de superfície das raízes (\approx 200 mm²) em contato com área de solo explorado (0,09m²).

Ao se analisar a distribuição do sistema radicular da cultivar Caburé, notou-se que a mesma não apresentou diferenças contrastantes nos mapas de superfície, entre as duas épocas de semeadura, porém houve maior profundidade de exploração do solo por parte das raízes na época 2 (maio) (Figura 4). Seu comprimento, diferentemente dos demais materiais genéticos, ficou limitado aos 20 cm, indicando que nesta profundidade havia água e nutrientes

suficientes para o bom desenvolvimento da planta, não necessitando que a mesma explorasse maiores profundidades do solo para buscá-los, já que não foram detectados impedimentos físicos e químicos ao desenvolvimento das raízes (Tabelas 2 e 3).

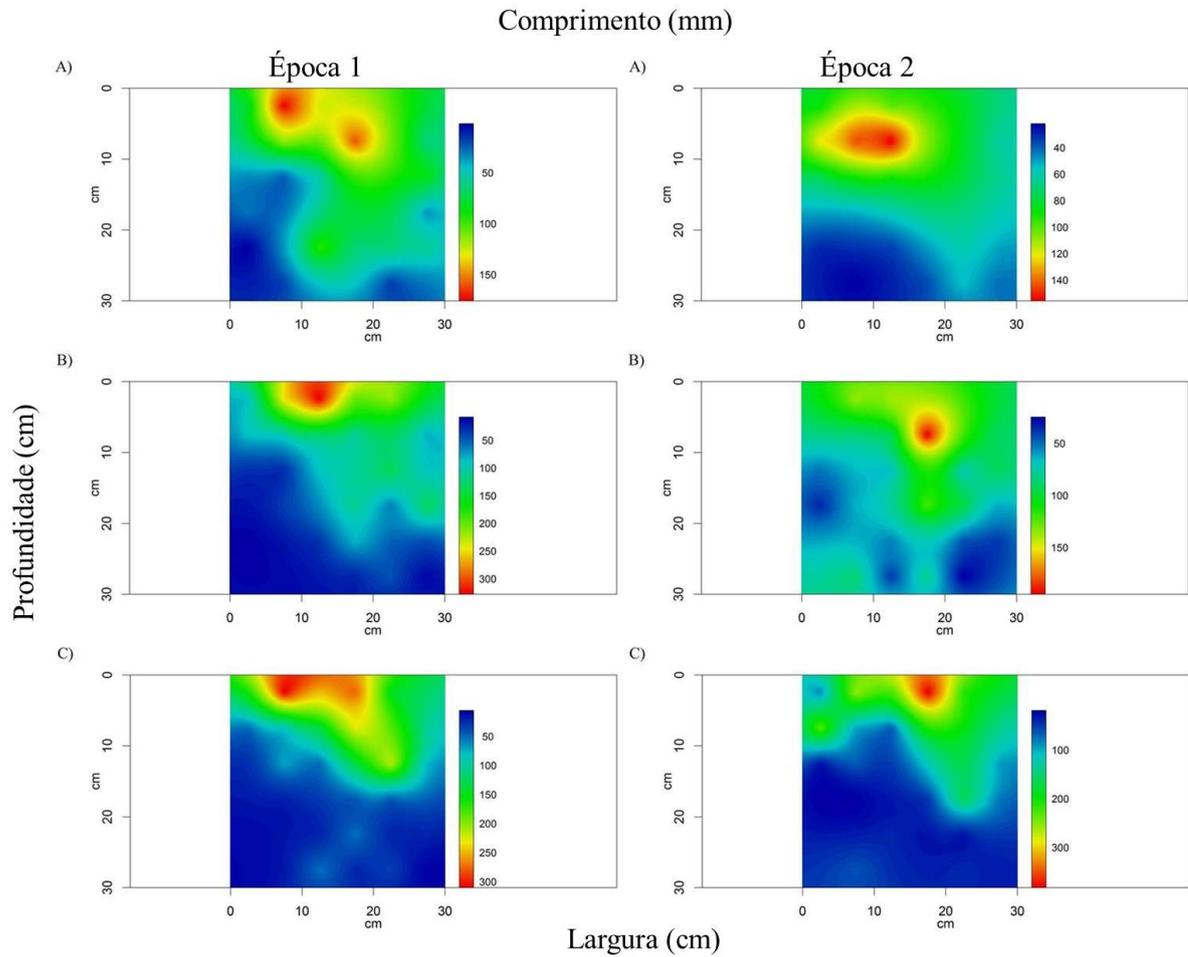


Figura 4 – Mapas de distribuição espacial do sistema radicular do linho (comprimento – mm). A) Variedade dourada; B) Cultivar Aguará; C) Cultivar Caburé.

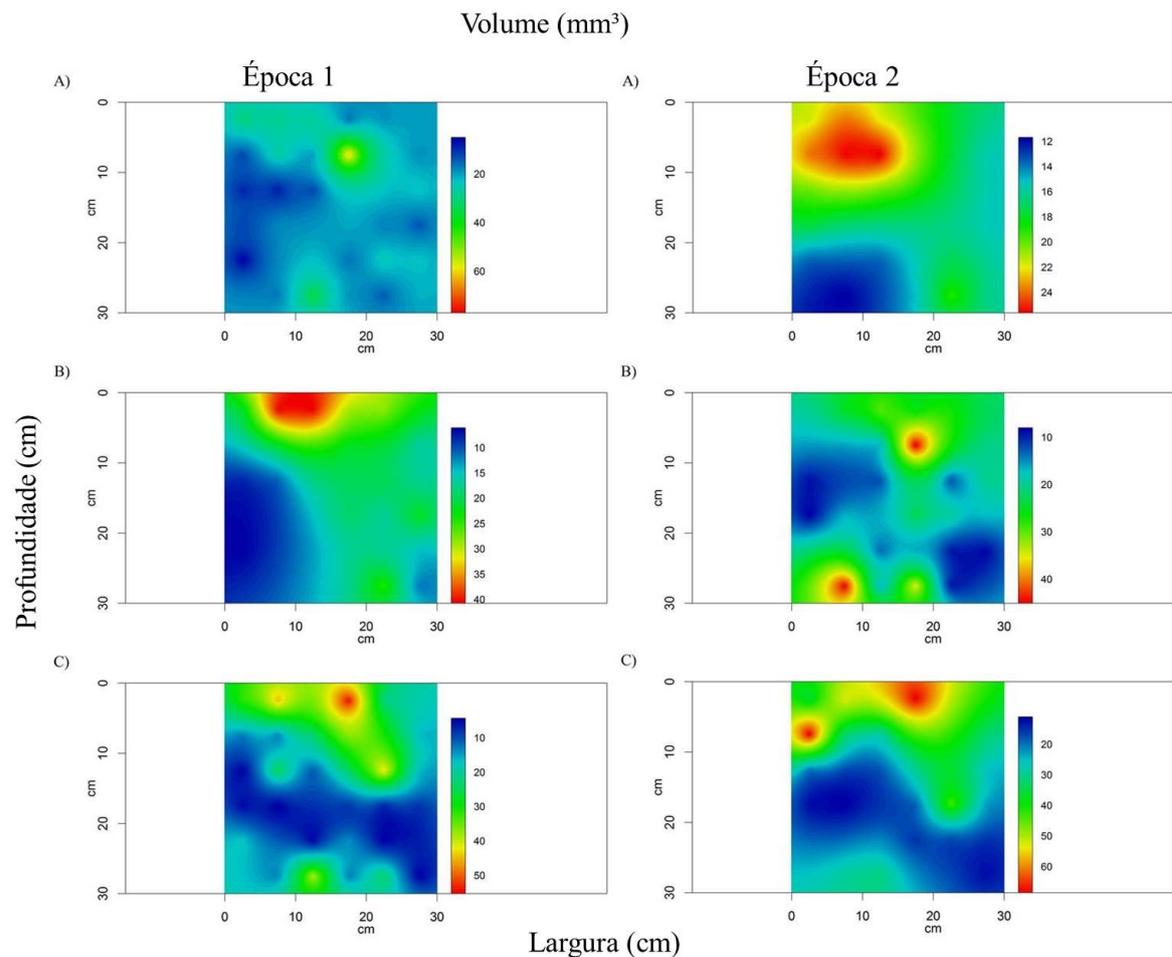


Figura 5 – Mapas de distribuição espacial do sistema radicular do linho (volume – mm³). A) Variedade dourada; B) Cultivar Aguará; C) Cultivar Caburé.

O bom desenvolvimento radicular do linho indica que não houve impedimentos físicos do solo que pudessem limitar seu crescimento, e as raízes, por sua vez, contribuíram para a formação e estabilização dos agregados do solo (Tabela 4 e Figura 2). É importante salientar que apesar dos altos valores de densidade encontrados (Tabela 3) para a variedade dourada na linha na camada de 0,05-0,20 m, a mesma não apresentou restrições em seu desenvolvimento radicular.

Para estabelecer o grau de dependência entre indicadores físicos e químicos de qualidade do solo, estão apresentados a seguir (Tabela 6) os coeficientes de correlação desses indicadores.

Tabela 6 – Coeficientes de correlação entre os atributos do solo: densidade do solo (Ds); microporosidade (Mi); macroporosidade (Ma); porosidade total (PT); área; perímetro (Per); aspecto (Asp); rugosidade (Rug); carbono orgânico do solo (COS); estoque de carbono no solo (EstC).

	Ds	Mi	Ma	PT	Área	Per.	Asp	Rug	COS	EstC
	1									
Mi	-0,03 ^{ns}	1								
Ma	-0,72*	-0,42*	1							
PT	-0,80*	0,07 ^{ns}	0,88*	1						
Área	0,37*	0,02 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	1					
Per.	0,35*	0,00 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,99*	1				
Asp.	-0,05 ^{ns}	0,20 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	1			
Rug.	-0,16 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,72*	-0,76*	0,41*	1		
COS	-0,25 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,37*	-0,40*	0,03 ^{ns}	0,38*	1	
EstC	-0,21 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,07 ^{na}	1

^{ns}: não significativo; *: significativo a P<0,05.

Houve correlação negativa forte entre a densidade do solo, macroporosidade e porosidade total, indicando que quando aumenta os valores de densidade, diminuem os valores de macroporos e porosidade. Já a correlação entre a densidade com a área e com o perímetro dos agregados foi positiva, observando-se que quanto maiores os agregados menor será a densidade desse solo. A macroporosidade está positivamente correlacionada à microporosidade, uma vez que, quanto mais macroporos o solo apresentar, menor será a quantidade de microporos.

Ao correlacionar o fator de forma rugosidade ao COS, estes apresentaram-se medianamente correlacionados, o que pode ser causa da grande quantidade de raízes do linho (maior comprimento e área das mesmas) (Figuras 1, 3 e 4). A correlação entre carbono orgânico do solo com as variáveis área e perímetro apresentou correlação negativa, demonstrando a influência do carbono na formação e estabilização de agregados no solo.

Devido à boa estruturação e aeração do solo, as raízes puderam se desenvolver de bem favorecendo o desempenho fenológico da planta, e esta fornece material orgânico via sistema radicular e exsudados, que contribui para elevar os estoques de carbono orgânico do solo. O sistema radicular apresentou-se bem ramificado tanto vertical como horizontalmente no perfil do solo, o que influenciou na rugosidade e aspecto dos agregados, que se apresentaram com algum grau de irregularidade de superfície. Os elevados valores de porosidade total do solo foram consequência do manejo utilizado, ausência de revolvimento, manutenção de resíduos

vegetais sobre o solo, que favoreceu a alta quantidade de carbono orgânico e estoque do mesmo, com efeito direto na agregação do solo e melhoria da qualidade estrutural.

4 CONCLUSÕES

Os genótipos de linhos utilizados não encontraram impedimentos físicos no Cambissolo Húmico em estudo, principalmente na segunda época de semeadura, havendo ausência de restrições físicas e químicas.

O genótipo de linho dourado foi o que melhor explorou o solo em comprimento e em volume, sendo o material que indicou ter maior contribuição para o acúmulo de carbono orgânico.

As raízes interferiram na agregação do solo promovendo maior rugosidade e dimensão de agregados em seus diferentes tamanhos avaliados, o que favorece a sustentabilidade do manejo empregado, bem como auxilia no acúmulo de carbono no solo.

Morphometric analysis of aggregates of Inceptsol under linen cultivation and its root development

Leticia Salvi Kohn

Abstract

The plants can modify the soil environment by improving the soil structure and increasing the aggregates stability through their roots. They, in turn, also suffer influences through compaction and soil moisture content, which can reduce or prevent root development. Because it is related to the availability of air and water, nutrient supply, mechanical resistance to penetration and the development of the root system, soil structure is one of the most important attributes, and as a result, a good state of aggregation is essential to ensure high agricultural productivity. The objective of this work was to evaluate the aggregate morphometry of a Inceptsol under the flax culture and its root development. The brown (cv. Aguará and Caburé) and golden flax varieties were used in two sowing seasons. Deforested soil samples were collected for chemical analysis of fertility, grain size and soil organic carbon content in order to characterize the same. Also preserved samples were collected for density analysis and pore distribution. In the flowering of the plant, root analysis was performed by the cultural profile method through 2D digital images that were processed by the Safira program. At the plant's harvest stage, soil blocks were collected, which were passed through a set of sieves of 1 – 4,76 mm and 4,76 – 9,52 mm for use the aggregates with these diameters. These aggregates were arranged on a flatbed scanner, and the image obtained was processed by Quantporo program. The soil presented high density values, however, large pore space, containing macro and micropores for good root development and water storage. The aggregates were similar to the geometric shape of a square, with striae promoted by the high concentration of roots found. The values of organic carbon found were also high, which is characteristic of the soil in question, which helped in the formation and stabilization of aggregates, and soil structuring. The roots reached up to 30 cm deep, with good branching. The golden variety was the one that most explored the soil vertically, but with a higher concentration of roots in the first 10 cm, occupying also greater area in relation to the other varieties and developing better in the first sowing season.

Key-words: soil aggregation, root study, *Linum usitatissimum* L.

REFERÊNCIAS

- ABICHEQUER, A. D. **Morfologia e distribuição de raízes de arroz irrigado por inundação e sua relação com a absorção de nutrientes e o rendimento de grãos.** 2004. 66 p. Dissertação (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia da UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2004.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.; SAPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, n. 22, p. 711-728, 2013.
- BASSEGIO, D.; SANTOS, R. F.; NOGUEIRA, C. E. C.; CATTANEO, A. J.; ROSSETTO, C. Manejo da irrigação na cultura da linhaça. **Acta Iguazu**, Cascavel – PR, v. 1, n. 3, p. 98 – 107, 2012.
- BATISTA, R. O.; FURTINI NETO, A. E.; DECCETTI, S. F.; VIANA, C. S. Morfologia radicular e cinética de absorção de nutrientes por clones de Cedro-Australiano. **Revista Caatinga**, Mossoró – RN, v. 29, n. 1, 2016.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Genesis, p. 9-26, 1999.
- BRAGA, E. O.; MENDONÇA, L. G. Discussão do uso racional da ração humana, com enfoque para seus principais constituintes: linhaça e quinoa. **Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 2, n.1, 2010.
- BRASIL, F. C.; ZONTA, E.; OLIVEIRA, M. R. G. Métodos de amostragem e quantificação para estudo do sistema radicular em condições de campo – uma visão crítica. **Rev. Ciência da Vida**, v. 27, p. 14-33, 2007.
- CAMPOS, B. C.; REINERDT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELLI, J.; PETRELE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 19, p. 112-126, 1995.
- CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. de; LIMA, J. M.; ROSSONI, D. F.; COSTA, A. L. da; OLIVEIRA, L. M. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 270-278, 2014.
- CARVALHO, J. M. de; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; NUNES, M. C. M.; SILVA, W. M. da; MAGALHÃES, W. de A.; SANTOS, A. S. Análise micromorfológica de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Agrarian**, v. 3, n. 10, p. 275-285, 2010.
- CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a Red Latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil Till Res.** v. 65, p. 45-51, 2002.

- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, 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 de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-38, 1998.
- COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. das C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L. Distribuição de raízes de laranja “Pêra” sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 603-611, 2002.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-778, 2005.
- CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 203-209, 2002.
- CREMON, C. **Levantamento dos atributos de um Inceptisol influenciados por diferentes sistemas de cultivo de arroz no norte da Itália**. 2007. 87 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD. Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS, 2007.
- CREMON, C.; SACCO, D.; GRIGNANI, C.; JÚNIOR, E. J. R.; MAPELI, N. C. Micromorfometria de agregados do solo sob diferentes sistemas de cultivo de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, n. 41, p. 370-377, 2011.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Safira: sistema de análise de fibras e raízes. **Embrapa Instrumentação**. 21 p. 2008.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solos. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos**. 225 p. 2011.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Embrapa Solos**. 412 p. 2013.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar – Sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.
- FRACARO, A. A.; PEREIRA, F. M. Distribuição do sistema radicular da goiabeira ‘rica’ produzida a partir de estaquia herbácea. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 26, n. 1, p. 183-185, 2004.
- HICKMAN, C.; COSTA, L. M. da; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A. Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes manejos de longa duração em Mata Atlântica secundária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 35, p. 2191-2198, 2011.
- JESUS, A. M. S.; CARVALHO, S. P.; SOARES, Â. M. Comparação entre sistemas radiculares de mudas de coffee Arábica obtidas por estaquia e por sementes. **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p. 14-20, 2006.

KAESTNER, A.; SCHNEEBELI, M.; GRAF, F. Visualizing three-dimensional root networks using computed tomography. **Geoderma**, v. 136, p. 459-469, 2006.

KOHN, L. S.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, K. do C. R.; BARBOSA, J. dos S.; FUCKS, J. dos S.; BENEVENUTE, P. A. N. Desenvolvimento das raízes de linho (*Linum usitatissimum* L.) em dois anos de cultivo sobre Cambissolo Húmico. **Revista Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, p. 36-41, 2016.

LIMA, C. C. **Aplicação das farinhas de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e maracujá (*Passiflora edulis* F. *Flavicarpa* Deg.) no processamento de pães com propriedades funcionais**. 2007. 148 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza – Ceará, 2007.

MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES E.; ANDRADE, A. G.; VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil Till Res.** v. 80, p. 185-200, 2005.

MARQUES, A. C. **Propriedades funcionais da Linhaça (*Linum usitatissimum* L.) em diferentes condições de preparo e de uso em alimentação**. 2008. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; SILVEIRA, V. H. da; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1185-1195, 2013.

MELO, V. F.; MOURA, R.; TOLEDO, F. H.; LIMA, V. C.; CHIDIN, A. A. Morfologia de agregados de Latossolos Bruno e Vermelho do estado do Paraná, avaliada por imagens obtidas em scanner. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 85-99, 2008.

MILISICH, H. J. Se obtuvieron dos nuevos cultivares de linño. **Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Argentina**. Disponível em: <<http://inta.gov.ar/noticias/se-obtuvieron-dos-nuevos-cultivares-de-lino>>. Acesso em 07 de mai. de 2017.

OLSZEWSKI, N.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.1, p. 901-909, 2004.

ROSSETTO, C. SANTOS, R. F.; SOUZA, S. N. M. de; DIAS, P. P.; KLAUS, O. Diferentes doses de potássio na cultura da linhaça (*Linum usitatissimum* L.). **Acta Iguazu**, Cascavel – PR, v. 1, n. 3, p. 98-105, 2012.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. The geoR package functions for geostatistical data analysis. **R-News**, Vienna, v. 1, p. 15-18, 2001.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SIGMAPLOT. 2008. **For Windows, version 11.0**. Systat Software, 2008.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, de G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, de L. M.; COSTA, J. C. Doses crescentes de gesso agrícola, estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, p. 25-32, 2013.

SILVA, E. A. **Agregação por macromorfometria e “high energy moisture characteristic” em Latossolo e Cambissolo sob manejo intensivo na cafeicultura**. 2014. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 20, p. 113-117, 1997.

SINGER, M. J.; SOUTHARD, R. J.; WARRING-TON, D. J.; JANITZKY, P. Stability of synthetic sand clay aggregates after wetting and drying cycles. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 1843-1848, 1992.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, n. 28, p. 323-329, 2006.