

COMPACTAÇÃO DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS TRANSBORDO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Palavras-Chave: Colheita mecanizada, tráfego de máquinas, resistência do solo à penetração

Autores/as:

HELOISA DUARTE BARBUTTI – FEAGRI/UNICAMP

Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA (Orientador) – FEAGRI/UNICAMP

DIEGO ALEXANDER AGUILERA ESTEBAN (Coorientador) – FEAGRI/UNICAMP

MAYARA GERMANA DOS SANTOS GOMES - FEAGRI/UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) possui um alto valor econômico no Brasil e no mundo, destinado à produção de açúcar, energia elétrica e etanol (SILVA et al., 2014). O sistema de produção de cana-de-açúcar no território brasileiro é caracterizado por um ciclo de produção de cinco a seis anos, do plantio à colheita, e com o uso crescente de máquinas agrícolas, mais de 30 operações são realizadas na mesma parcela durante todo o ciclo de produção (DE MARIA et al., 2016).

Na produção de cana-de-açúcar, a colheita é a operação mecanizada de maior contribuição para a compactação do solo (GUIMARÃES JÚNNYOR et al., 2019). A cultura da cana-de-açúcar altera as condições físicas do solo, dado que, como resultado da colheita mecanizada, a compactação pode reduzir o volume dos macroporos do solo em mais de 50% (SOUZA et al., 2015). Desse modo, o processo de compactação altera as condições físicas, químicas e biológicas do solo degradando (DAMME et al., 2019), afetando os rendimentos das culturas com a ampliação da resistência mecânica para o crescimento das raízes e a redução dos níveis de aeração e armazenamento de água (CHAMEN et al., 2015).

Estudos recentes, indicam que os transbordos utilizados nas colheitas da cana-de-açúcar possuem maior probabilidade de causar compactação do solo (SILVA et al., 2016; GUIMARÃES JÚNNYOR et al., 2019). De acordo com Guimarães Júnnyor et al. (2019), os pneus do transbordo apresentaram maior esforços de compressão, excedendo a capacidade de suporte de carga do solo (Argissolo Vermelho), com valores de 157 kPa a 0,21 m de profundidade, acarretando agravamento da compactação.

O sistema de manejo consegue evitar ou reduzir a compactação do solo, como também algumas opções tecnológicas, como a sistematização das áreas de cultivo com controle de tráfego agrícola, a padronização da largura das bitolas e/ou uso de pneus de baixa pressão no solo. Dessa forma, com a constante evolução do mercado, a tendência é o avanço do desenvolvimento de transbordos que gerem maior rendimento operacional ou maior capacidade de carga, configurando em maquinários com aumento dos números de eixos ou reboque, uso de pneus de alta flutuação, até o uso de transbordos autopropulsionados ou dispostos sobre caminhões.

Frente ao cenário exposto, as cargas impostas no solo pelos rodados das máquinas utilizadas na operação de colheita da cana-de-açúcar, principalmente na operação de transbordo, resultam em elevados níveis de compactação do solo que promovem alterações na sua estrutura deteriorando o funcionamento e à perda da produtividade e longevidade da cultura. Por conseguinte, o objetivo dessa pesquisa é avaliar os efeitos de diferentes sistemas de transbordo na operação de colheita da cana-de-açúcar na estrutura do solo no primeiro ciclo de produção da cultura.

METODOLOGIA:

O experimento foi conduzido em área experimental localizada nas dependências da Usina Cerradão, no município de Frutal-MG, na qual o solo apresenta textura média com 63% de areia, 29% de argila e 8% de silte e foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (SANTOS et al., 2018). A pesquisa foi montada no delineamento experimental de blocos ao acaso, contendo 4 tratamentos e 3 repetições, totalizando 12 parcelas experimentais, cada uma com dimensões de 50 m de comprimento por 30 m de largura (1.500 m²) (Figura 1). Em cada parcela experimental foram plantadas 20 linhas de cana-de-açúcar com espaçamento de 1,5 m entre as linhas de plantio e em sentido paralelo ao comprimento da parcela. Os tratamentos correspondem a diferentes configurações de transbordo utilizados durante a operação de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, sendo eles:

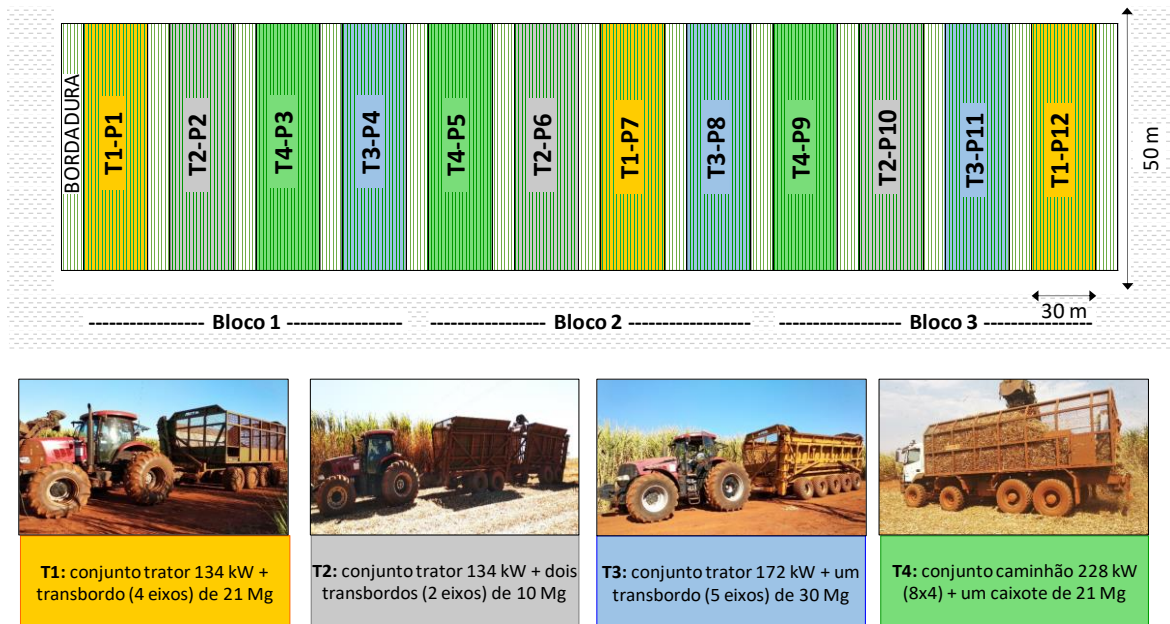


Figura 1. Esquema experimental com uso de diferentes sistemas de transbordo na colheita mecanizada da cana-de-açúcar no município de Frutal, Minas Gerais, Brasil. P = número da parcela.

Após a primeira colheita da cultura (cana planta) realizada em agosto de 2020, amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas nas camadas de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, nos locais correspondentes à linha de plantio (LP) e à entrelinha (EL - no ponto médio entre as linhas de plantio). A coleta de amostras indeformadas foi realizada por meio de cilindros de aço inoxidável com dimensões de 8 cm diâmetro e 5 cm de altura (volume de 250 cm³) e auxílio de um trado tipo Uhland.

As amostras foram preparadas e colocadas para saturar mediante a adição de água desaerada à temperatura ambiente até obter a saturação da amostra por capilaridade. Após alcançar a saturação, as amostras foram pesadas em balança de precisão e colocadas em mesa de tensão a -60 e -100 cm de coluna de água, durante 16 h, para posteriormente obter o volume de água retido na amostra em cada tensão. A resistência do solo à penetração (RSP) foi quantificada pelo índice de cone após as amostras serem equilibradas no potencial de -100 cm de coluna de água e usando um penetrômetro eletrônico de bancada da marca MARCONI modelo MA 933 (MARCONI®), com ponteira de cone sólido de 4 mm com semiângulo de 30° e velocidade de penetração constante de 10 mm min⁻¹. Para determinar a densidade do solo (Ds) é utilizado o método do anel volumétrico (TEIXEIRA et al., 2017), calculada mediante a razão entre a massa do solo seco e o volume da amostra. A porosidade total do solo (PT) é calculada a partir da Ds e da densidade das partículas (D_p) ($PT = 1 - Ds/D_p$), a microporosidade (Mi) foi calculada como o teor de água retido na tensão de -60 cm e, a macroporosidade (Ma) pela diferença entre PT e Mi conforme Teixeira et al. (2017).

Foi realizada uma análise de variância para determinar se os sistemas de transbordo da cana-de-açúcar induziram diferenças nos atributos do solo e quando significativa as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (0,05 < p).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Resistência do solo à penetração (RP) e teor de água no solo (U)

A resistência do solo à penetração é um atributo que determina o quanto o solo resiste ao desenvolvimento das raízes com a comparação por ensaios com penetração de uma haste de aço. Segundo Simmons (1992), a capacidade de penetrar das raízes no solo está relacionada a diversos fatores, entretanto a penetração será restrita para pressões acima de 2,5 MPa.

De acordo com Smith et al. (2005), após a colheita de cana-de-açúcar, cerca de 63% da biomassa radicular estava localizada nos primeiros 0,3 metros de profundidade. Os valores de resistência do solo à penetração (RP) variaram entre 0,60 e 1,95 MPa, abaixo do valor crítico descrito por Simmons (1992), sendo os maiores valores obtidos nas entrelinhas das três camadas estudadas (Tabela 1). Na camada de 0,00-0,10 m, o tratamento que apresentou os maiores valores foi o T3 e nas demais camadas o tratamento T2, obtendo na camada 0,10-0,20 m o maior valor de RP. Em relação as diferenças que os sistemas de transbordo da cana-de-açúcar induziram nos atributos do solo, obteve-se apenas uma diferença significativa entre os tratamentos T1 e T4 na camada mais superficial.

O teor de água no solo (U) no momento da avaliação da RP variou entre 0,27 e 0,34 kg kg⁻¹. Os tratamentos T3 e T4 apresentaram diferença significativa em relação ao T2 na entrelinha da camada 0,00-0,10 m, além disso, na camada superficial ocorreu diferença entre os valores da linha de plantio e da entrelinha nos tratamentos T1, T3 e T4. Não obteve discrepância nos valores em relação à profundidade, as camadas apresentaram teores de água semelhantes.

Tabela 1 - Resistência do solo à penetração (RP) e o teor de água (U) sob diferentes sistemas de transbordo da cana-de-açúcar na linha de plantio (LP) e na entrelinha (EL) em três camadas do solo.

Local	Resistência do Solo à Penetração (MPa)					Teor de água (kg kg ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	Média	T1	T2	T3	T4	Média
Camada 0,00-0,10 m										
LP	0,60 Bb	0,71 ABb	0,90 ABb	1,19 Aa	0,85 b	0,28 Ab	0,27 Aa	0,28 Ab	0,28 Ab	0,28 b
EL	1,55 Aa	1,52 Aa	1,61 Aa	1,32 Aa	1,50 a	0,32 ABa	0,29 Ba	0,34 Aa	0,34 Aa	0,32 a
Média	1,08 A	1,11 A	1,26 A	1,26 A	-	0,30 AB	0,28 B	0,31 A	0,31 A	-
Camada 0,10-0,20 m										
LP	0,95 Aa	1,11 Ab	0,79 Aa	0,81 Aa	0,91 b	0,29 Aa	0,29 Aa	0,28 Aa	0,27 Aa	0,29 a
EL	1,19 Aa	1,95 Aa	0,76 Aa	1,10 Aa	1,25 a	0,31 Aa	0,29 Aa	0,23 Aa	0,31 Aa	0,28 a
Média	1,07 A	1,53 A	0,77 A	0,95 A	-	0,30 A	0,29 A	0,26 A	0,29 A	-
Camada 0,20-0,30 m										
LP	1,36 Aa	1,15 Aa	1,14 Aa	1,13 Aa	1,19 b	0,31 Aa	0,28 Aa	0,30 Aa	0,29 Aa	0,30 a
EL	1,16 Aa	1,58 Aa	1,30 Aa	1,52 Aa	1,39 a	0,29 Aa	0,29 Aa	0,30 Aa	0,32 Aa	0,30 a
Média	1,26 A	1,36 A	1,22 A	1,33 A	-	0,30 A	0,29 A	0,30 A	0,30 A	-

Valores seguidos pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas (tratamentos) e minúsculas na linha (locais) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05)

Densidade do solo (Ds), Porosidade total (PT), Macroporosidade (MaP) e Microporosidade (MiP)

De acordo com Dias Júnior e Pierce (1996) e Bertol et al. (2001), para maiores valores de densidade no solo sob o uso para cana-de-açúcar, refere-se ao grau de utilização de máquinas agrícolas que podem danificar o solo, por meio do aumento da degradação estrutural e compressão.

A densidade do solo é um indicador importante da qualidade física do solo. Segundo Reinert et al. (2001), a densidade do solo se torna crítica quando atinge cerca de 1,55 kg dm⁻³, para solos com horizonte de textura média. Os valores da densidade do solo obtidos variaram de 1,22 a 1,46 kg dm⁻³, apresentaram diferenças significativas entre a linha de plantio e a entrelinha nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (Figura 2). Obteve-se maiores valores de Ds nas entrelinhas dessas camadas. Em relação aos tratamentos, T3 apresentou o maior valor na camada superficial na entrelinha e o T2 nas camadas subsequentes. Na camada 0,00-0,10 m, houve diferença significativa entre os tratamentos T1 e T4 na linha de plantio.

A densidade do solo quando atinge maiores valores se relaciona diretamente com a perda de estrutura, o que provoca a redução da macroporosidade (REICHARDT et al., 2003). Dessa forma, com a diminuição da macroporosidade do solo tem ação direta a resistência do solo à penetração das raízes e da taxa de infiltração de água no solo. Os menores valores de Ds obtidos estão localizados na

entrelinha da camada mais superficial (Figura 2), sendo que na camada 0,00-0,10 m no tratamento T3 da entrelinha, obteve uma Ds maior e consequentemente um valor menor de macroporos.

Segundo Tormena et al. (1998), o valor da macroporosidade deve estar acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Os valores de macroporosidade variaram entre 0,05 e $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Figura 2). Na camada 0,00-0,10 m apresentou diferença entre os locais, com todos os valores obtidos nas entrelinhas abaixo do valor crítico adotado por Tormena et al. (1998). Na camada 0,10-0,20 m verificou-se diferença significativa entre os tratamentos T2 e T3 na entrelinha e, na camada 0,20-0,30 m não teve diferença entre os locais e os tratamentos, com todos os valores iguais ou acima do valor crítico.

Os valores de porosidade total variaram entre $0,43$ e $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, com os menores valores na camada 0,00-0,10 m (entrelinha). Na camada 0,00-0,10 m apresentou diferença significativa entre os tratamentos T1 e T4 e em relação aos locais nos tratamentos T1, T2 e T3. Na camada 0,10-0,20 m, obteve diferença entre os locais de coleta nos tratamentos T1 e T4.

Conforme Fonseca et al. (2007), a redução da microporosidade afeta o armazenamento de água no solo e, quando associado à uma diminuição na macroporosidade, seu aumento pode apontar para uma compactação do solo. Os valores de microporosidade estão em torno de $0,27$ a $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Os maiores valores se apresentam na camada 0,00-0,10 m na entrelinha. Os pontos onde apresentaram menores valores de macroporosidade, indicou os maiores valores de microporosidade (Figura 2). Apenas na camada 0,10-0,20 m, obteve uma diferença significativa entre os tratamentos T1 e T3 na entrelinha e no T3 apresentou diferença entre os locais.

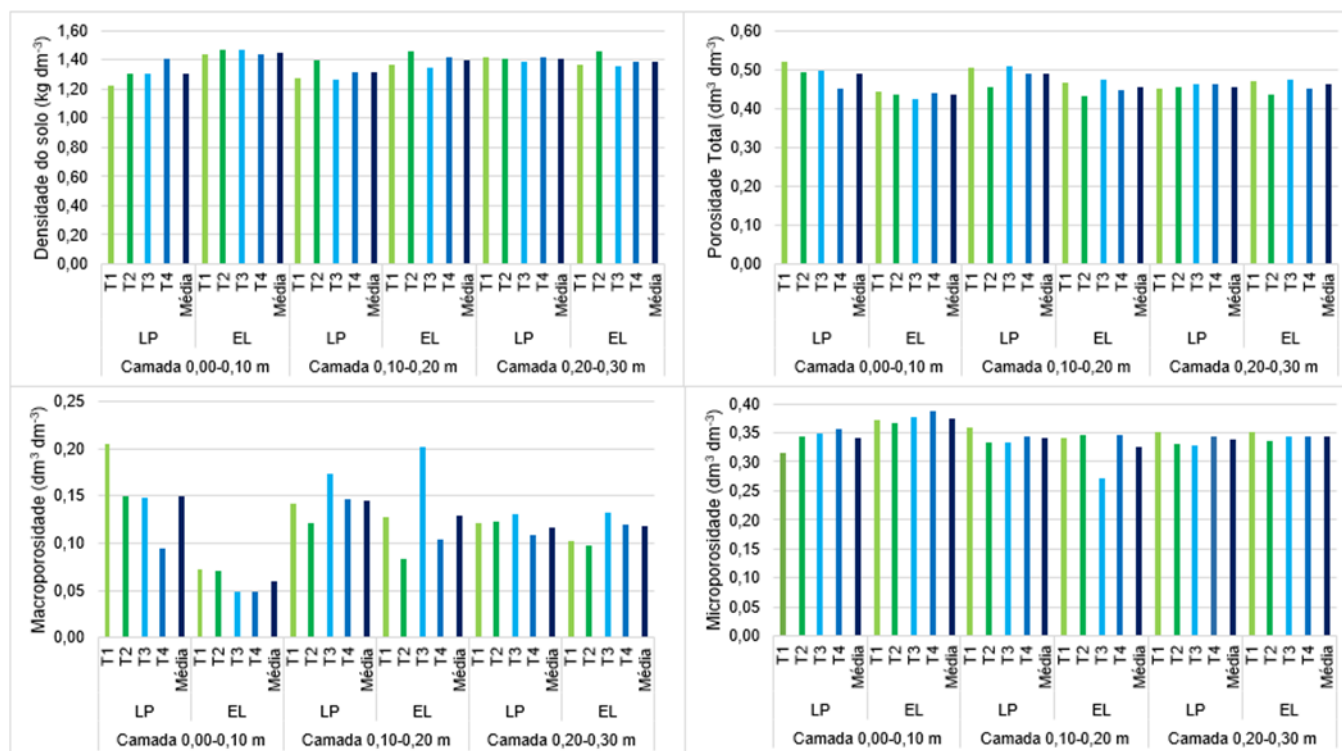


Figura 2 – Atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de transbordo da cana-de-açúcar na linha de plantio (LP) e de tráfego (LT) em três camadas do solo.

CONCLUSÕES:

Na camada 0,00-0,10 m, apresenta uma diferença significativa em relação aos locais avaliados, a entrelinha onde ocorre a passagem dos rodados das máquinas durante a colheita mecanizada, obteve uma resistência do solo à penetração 176% maior do que a linha de plantio. O tratamento T3 apresentou o maior valor nessa camada no local da entrelinha, entretanto nas camadas subsequentes, os valores diminuíram. Diferentemente, do T2 que apresentou valores mais altos nas camadas 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m.

Os tratamentos T2 e T4 apresentaram valores altos de densidade do solo obtidos nos dois locais e nas 3 camadas de estudo, corroborando esse fator com a porosidade total e uma relação de redução

na macroporosidade conjuntamente com o aumento da microporosidade, os tratamentos T2 e T4 resultaram em um maior esforço ou compressão no solo do que os tratamentos T1 e T3, em decorrência de promover uma maior compactação do solo.

BIBLIOGRAFIA

- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; DICEU, L.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmicos afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v.53, n.3, p.555-560, 2001.
- CHAMEN, W. C. T.; MOXEY, A. P.; TOWERS, W.; BALANA, B.; HALLETT, P. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. **Soil and Tillage Research**, v.146, p.10-25, 2015.
- DAMME, L. T.; STETTLER, M.; PINET, F.; VERVAET, P.; KELLER, T.; MUNKHOLM, L. J.; LAMANDÉ, M. The contribution of tyre evolution to the reduction of soil compaction risks. **Soil and Tillage Research**, v.194, 10428, 2019.
- DE MARIA, I. C.; DRUGOWICH, M. I.; BORTOLETTI, J. O.; VITTI, A. C.; ROSSETTO, R.; FONTES, J. L.; TCATCHENCO, J.; MARGATHO, S. M. F. **Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar**. Campinas: Série Tecnologia APTA - Boletim Técnico IAC, n.216, 2016. 113p.
- DIAS JUNIOR, M.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.175-182, 1996.
- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.1, p.22-30, 2007.
- GUIMARÃES JUNNYOR, W. S.; DISERENS, E.; DE MARIA, I. C.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; FARHATE, C.V.V.; SOUZA, Z. M. Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. **Science of the Total Environment**, v.681, p.424-434, 2019.
- REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D.; TIMM, L. C.; BASANTA, M. V.; CAVALCANTE, L. F.; TERUEL, D. A.; BACCHI, SANTOS, O. O.; TOMINAGA, T. T.; CERRI, C. C.; TRIVELIN, P. C. O. Management of crop residues for sustainable crop production. **IAEA-TECDOC**, v.1354, p.149-169, 2003.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. **Propriedades físicas dos solos em sistemas de plantio direto irrigado**. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A. Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: Palloti, 2001. 156 p.
- SANTOS, H. G. D.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. D.; OLIVEIRA, V. A. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. D.; ARAUJO FILHO, J. C. D.; OLIVEIRA, J. B. D.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. Ed. Brasília: EMBRAPA Solos, 2018.
- SILVA, M. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; GAVA, G. J. C.; KOLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.241-249, 2014.
- SILVA, R. B.; IORI, P.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, D. M. G.; VISCHI FILHO, O. J.; SILVA, F. A. M. Contact pressures and the impact of farm equipment on Latosol with the presence and absence of sugarcane straw. **Ciência & Agrotecnologia**, v.40, n.3, p.265-278, 2016.
- SIMMONS, F. W. Tillage and compaction effects of root distribution. In: REETZ JUNIOR, H. F. (Ed.). **Proc. Roots of Plant Nutrition**. Champaign, Illinois: Potash and Phosphate Institute. Atlanta, GA. p.61-68, 1992.
- SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; COOPER, M.; TORMENA, C. A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v.72, n.3, p.270-277, 2015.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3ª Ed Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, 2017. 573p.
- SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v.92, p.169-183, 2005.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob semeadura direta influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.301-309, 1998.