

REVOLVIMENTO DE CLASSES DE SOLOS E COMPACTAÇÃO EM POMARES DE LARANJA

Jonez Fidalski¹

¹Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR. Rua Paulo Antonio da Costa, s/n, Jardim Ipê, Caixa Postal 564, CEP 87701-970, Paranavaí, PR. E-mail: fidalski@iapar.br

RESUMO: Não se conhece se haveria da compactação entre as classes de solos após o seu revolvimento e tráfego de máquinas em pomares de laranja no arenito Caiuá do noroeste do Paraná. O objetivo deste trabalho foi avaliar as frações de areia e os atributos físicos em pomares de laranja implantados com sistemas de preparos de solo em Argissolo e Latossolo Vermelhos distróficos em pomares de laranja. Os delineamentos experimentais foram de blocos ao acaso com três repetições, com dois tratamentos de preparo de solo (sem e com o revolvimento do solo) em áreas de pastagens destinadas às entrelinhas para a implantação de pomares de laranja. Os preparos de solo foram realizados em julho de 1993 e janeiro de 1994, respectivamente, em Alto Paraná e Nova Esperança, na região do arenito Caiuá, noroeste do Paraná. Em 2010, amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm sob o rodado e entrerrodado das entrelinhas dos pomares de laranjas para as seguintes determinações: granulométricas (argila, silte areia fina e areia grossa) e físicas (carbono orgânico, macroporosidade, porosidade total, densidade, resistência, conteúdo de água e capacidade de armazenamento de água). O Latossolo é mais susceptível às alterações da fração de areia grossa e à compactação após o revolvimento e tráfego de máquinas na camada superficial do rodado das entrelinhas do pomar de laranja no arenito Caiuá do noroeste do Paraná.

PALAVRAS-CHAVE: Arenito Caiuá, preparo mínimo do solo, densidade do solo.

TILLAGE OF SOIL CLASS AND COMPACTION IN ORANGE ORCHARDS

ABSTRACT: It is not known if there would be compaction between the classes of soils after their revolving and traffic of machines in orange orchards in the Caiuá sandstone of the northwest of Paraná. The objective of this work was to evaluate the sand fractions and the physical attributes in orange orchards established with soil preparation systems in Paleudult and Haplorthox. Experimental design were randomized blocks with three replicates with two tillage treatments (without and with soil disturbance) in grassland areas between the interrows for the implantation of orange orchards. Soil preparations were carried out in July 1993 and January 1994, respectively, in Alto Paraná and Nova Esperança, in Sandstone Caiuá region, Paraná northwest, Brazil. In 2010, soil samples at 0-10 and 10-20 cm under and between wheel tracks in the orchard interrows for the following determinations: particle size (clay, silt, coarse fine and coarse sand) and physical (organic carbon, macroporosity, total porosity, bulk density, resistance, water content and water storage capacity). The Haplorthox is more susceptible to change of coarse sand fraction and compaction after plowing and machine traffic in the surface layer under wheel tracks in the orchard interrows in the Caiuá sandstone of the northwest of Paraná.

KEY WORDS: Caiuá sandstone, minimum tillage, soil bulk density.

INTRODUÇÃO

A citricultura do noroeste do Paraná é desenvolvida em Argissolo e Latossolo Vermelho distrófico desenvolvidos do arenito Caiuá (Zaparoli e Gasparetto, 2010), os quais pertencem ao Alogrupo Alto Rio Paraná, com abrangência em São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná (Sallun et al., 2007). A retenção de água desses solos é dependente da menor proporção de areia grossa (Fidalski et al., 2013a).

A compactação do solo pelo tráfego de máquinas após seu preparo do solo em pomares de laranja foi avaliada para Latossolo (Neves et al., 2010), mas se desconhece se o tráfego de máquinas nas entrelinhas dos pomares de laranja varia entre Argissolo e Latossolo Vermelho distrófico.

A proposta de implantação de pomares de laranja utilizando preparo mínimo do solo (sem o revolvimento das entrelinhas) em áreas de pastagens, denominado de preparo em faixas (Auler et al., 2008), gerou muitos questionamentos pelos citricultores e assistência técnica na década de 1980, porque poderia haver competição entre a gramínea e as laranjeiras por água, nutrientes, ineficiência na correção da acidez do solo pela não incorporação do calcário e compactação do solo por não ter sido realizado o seu revolvimento de modo convencional por meio de aração e gradagem em área total antes do plantio das laranjeiras.

Paralelamente, os resultados de pesquisa possibilitaram confirmar que o preparo do solo em faixas, com cerca de 2 m e largura destinada ao plantio das laranjeiras, e a manutenção de gramíneas nas entrelinhas de 5 m, não comprometeu a fertilidade do solo, a nutrição das laranjeiras e a produção de frutos de laranja, com a vantagem de reduzir 70 % da superfície do solo à erosão hídrica, pela preservação da vegetação nas entrelinhas dos pomares em áreas anteriormente ocupadas por pastagens (Auler et al., 2008; Neves et al., 2010).

Avaliações de sistemas de preparo do solo para o plantio de laranja foram realizadas por meio da densidade do solo e resistência do solo à penetração (Neves et al., 2010). Alternativamente, Reynolds et al. (2002) propuseram a capacidade de armazenamento de água para diferenciar sistemas de preparo de solo em culturas anuais, tendo estabelecido valor ideal de 0,64, ou seja, que 64 % do espaço poroso no potencial matricial correspondente a capacidade de campo (-100 hPa).

Os Argissolos Vermelhos distróficos são mais susceptíveis à erosão hídrica e dependem de mais tecnologia para atender a capacidade de uso comparado aos Latossolos Vermelhos distróficos (Embrapa, 1984). Essas duas classes de solo estão ocupadas por

pastagens na região Noroeste do Paraná (Sá e Caviglione, 1999). Contudo, o preparo convencional do Latossolo Vermelho distrófico reduz os teores de carbono orgânico e aumenta a densidade do solo em relação a manutenção de gramíneas em pastagem (Marun, 1996). O Latossolo Vermelho distrófico em relação ao Argissolo Vermelho distrófico é mais suscetível a compactação (Cunha et al., 1999; Silveira et al., 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as frações de areia e os atributos físicos em pomares de laranja implantados com sistemas de preparos de solo em Argissolo e Latossolo Vermelhos distróficos em pomares de laranja no arenito Caiuá do noroeste do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em dois experimentos implantados pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) na Fazenda São Judas Tadeu em Alto Paraná (23° 05' S, 52° 26' W e altitude de 480 m) e na Fazenda Nossa Senhora Aparecida em Nova Esperança (23°09'12"S e 52°08'40"W, a 434 m de altitude), no noroeste do Paraná. O clima na região é subtropical (Cfa), sem estação seca definida, com concentração de precipitações na primavera e verão (Caviglione et al., 2000). Os solos são desenvolvidos a partir do Arenito Caiuá e correspondem a Argissolo Vermelho distrófico latossólico com textura arenosa/média (Alto Paraná) e Latossolo Vermelho distrófico típico com textura arenosa/média (Nova Esperança), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013).

Os experimentos foram implantados em julho de 1993 em uma pastagem de braquiária *Urochloa humidicula* (Alto Paraná) e em janeiro de 1994 em uma pastagem de “grama mato-grosso” ou “grama batatais” *Paspalum notatum* (Nova Esperança). O porta-enxerto utilizado nos dois experimentos foi o limão ‘Cravo’ (*Citrus limonia*), e como copa laranja ‘Pêra’ e ‘Valência’ (*Citrus sinensis*), respectivamente, em Alto Paraná e Nova Esperança. Os delineamentos experimentais utilizados foram de blocos completamente casualizados, com três repetições. As parcelas experimentais consistiam de três linhas com cinco laranjeiras, plantadas no espaçamento de 7×4 m.

Os tratamentos consistiram de dois sistemas de revolvimento do solo (sem e com) nas entrelinhas de 5 m de largura destinadas às entrelinhas do pomar, as quais foram mantidas vegetadas permanentemente com gramíneas sem revolvimento. Os tratamentos de preparos de solo foram precedidos pela calagem superficial com calcário dolomítico distribuído em área total para elevar a saturação por bases a 70 %, sendo o calcário incorporado mecanicamente em área total no preparo convencional e apenas nas linhas de plantio de 2 m

de largura no preparo em faixas. Calagens superficiais foram realizadas durante a fase de produção de laranja, baseadas em análises químicas de solo (Auler et al., 2008).

As entrelinhas dos pomares de laranja estavam com predominância da braquiária *Urochloa decumbens* nos dois experimentos em 2010. O manejo dessas plantas nas entrelinhas dos pomares foi realizado por meio de roçada mecânica tratorizada e sem nenhum revolvimento do solo durante o período experimental (1993-2010). Durante esses 17 anos, utilizaram-se roçadora mecânica, pulverizador com capacidade de 2000 L e trator de pneu, com massas aproximadas de 500, 1000 e 4000 kg, respectivamente. Não houve controle do tráfego de máquinas pelos citricultores. Os quais foram realizados independentemente das condições de umidade do solo.

Em 2010, após precipitações, coletaram-se amostras deformadas de solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e realizaram-se dez leituras de resistência do solo à penetração a 20 cm de profundidade sob o rodado e entrerrodado para tratamento e classe de solo. Utilizou-se um penetrômetro digital com aquisição eletrônica de dados para registrar leituras a cada 1 cm de incremento de profundidade. Em laboratório, determinaram-se o conteúdo de água gravimétrica do solo em estufa a 105 °C por 48 h (Claessen, 1997), e as resistências do solo à penetração foram tabuladas para as camadas de 0-10 e 10-20 cm. Paralelamente, amostras de solo indeformadas foram coletadas com cilindros de aço (5 cm de altura e 5 cm de diâmetro). No laboratório, as amostras foram saturadas e colocadas em mesa de tensão para obter a água do solo no potencial de -60 e -100 hPa. Posteriormente, foi feito o secamento dessas amostras de solo em estufa a 105 °C por 48 h para a obtenção da macroporosidade, porosidade total e densidade do solo conforme Claessen (1997). A capacidade de armazenamento de água do solo proposta por Reynolds et al. (2002), foi obtida pelo quociente do volume de poros entre o solo saturado e -100hPa e a porosidade total.

As amostras de solo deformadas foram também utilizadas para as determinações granulométricas por meio do método da pipeta e os teores de carbono orgânico pelo método Walkley e Black, e as análises granulométricas das frações de argila, silte, areia fina (0,02-0,20 mm) e areia grossa (0,20-2,00 mm) (Claessen, 1997).

Para possibilitar as comparações entre tratamentos, posições de amostragens, camadas e classes de solo, os atributos físicos de solo foram submetidos à análise pelo Teste t para os conjuntos de dados com variâncias iguais ou diferentes (Schlotzhauer e Littell, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O revolvimento do Argissolo e Latossolo realizado para o plantio das laranjeiras aumentou os teores de areia grossa, sem promover alterações nos teores de areia fina, areia total, silte e argila sob o rodado a 0-10 cm (Tabelas 1 e 2). No Latossolo, o aumento da fração de areia grossa (70 e 113 g kg⁻¹) esteve associado ao aumento da densidade do solo (1,77 e 1,83 Mg m⁻³) e da resistência do solo à penetração (1,05 e 1,57 MPa) para o mesmo conteúdo de água no solo (Tabela 3). Esses resultados indicam maior vulnerabilidade ao processo de compactação do Latossolo em relação ao Argissolo quando revolvido e submetido às cargas de compressão pelo tráfego frequente de máquinas. Essas alterações foram observadas apenas na posição de amostragem do rodado, já que no entrerrodado não houve diferenças para os parâmetros físicos avaliados entre os dois sistemas de preparo de solo e as duas classes de solo (Tabelas 1, 2 e 3). Neves et al. (2010) verificaram também em um Latossolo Vermelho distrófico que a resistência do solo à penetração foi maior nas entrelinhas de pomar de laranja que havia sido revolvido para o plantio das laranjeiras.

Tabela 1 – Areia grossa, areia fina e areia total em duas posições de amostragem em 2010 e em duas camadas de solo, sem e com revolvimento de duas classes de solo realizadas em 1993 e 1994 em áreas de pastagens nas entrelinhas para o plantio de laranjeiras.

Posição de amostragem de solo	Areia grossa (g kg ⁻¹)		Areia fina a (g kg ⁻¹)		Areia total (g kg ⁻¹)	
	Revolvimento do solo		Revolvimento do solo		Revolvimento do solo	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
Argissolo Vermelho distrófico (0-10 cm)						
Rodado	93 BaAa	156 AaAa	804 AaAa	747 AaAa	897 AaAa	903 AaAa
Entrerrodado	143 AaAa	103 AaAa	757 AaAa	787 AaAa	900 AaAa	890 AaAa
Argissolo Vermelho distrófico (10-20 cm)						
Rodado	117 AaAa	157 AaAa	760 AaAa	703 AaAa	877 AaAa	860 AaBa
Entrerrodado	130 AaAa	140 AaAa	733 AaAa	710 AaBa	863 AaBa	850 AaBa
Latossolo Vermelho distrófico (0-10 cm)						
Rodado	70 BaAa	113 AaAa	757 AaAa	693 AaAa	827 AaAb	807 AaAb
Entrerrodado	103 AaAa	103 AaAa	727 AaAa	717 AaAb	830 AaAb	820 AaAb
Latossolo Vermelho distrófico (10-20 cm)						
Rodado	70 BaAa	113 AaAa	757 AaAa	693 AaAa	827 AaAb	807 AaAb
Entrerrodado	103 AaAa	103 AaAa	727 AaAa	717 AaAb	830 AaAb	820 AaAb

Médias seguidas de letras iguais entre sistemas de preparo solo para classe de solo e posição de amostragem (maiúsculas), posições de amostragem de solo para classe e camada de solo (minúsculas), camadas de solo para classe e posição de amostragem (itálicas maiúsculas), e classes de solo para sistema de preparo solo, posição de amostragem e camada de solo (itálicas minúsculas), não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

A redistribuição da fração areia grossa provocada pelo revolvimento do solo das entrelinhas do pomar de laranja, se deve à predominância das frações de areia fina e média nos solos do arenito Caiuá (Zaparoli e Gasparetto, 2010). Esses autores sugeriram que os Argissolos e Latossolos Vermelhos distróficos estão em processos diferenciados de evolução

do sistema pedológico ao longo da vertente, ora prevalecendo a pedogênese, ora a morfogênese, dependentes dos teores de argila.

Tabela 2 Silte, argila e carbono em duas posições de amostragem em 2010 e em duas camadas de solo, sem e com revolvimento de duas classes de solo realizadas em 1993 e 1994 em áreas de pastagens nas entrelinhas para o plantio de laranjeiras.

Posição de amostragem de solo	Silte (g kg ⁻¹)		Argila (g kg ⁻¹)		Carbono (g kg ⁻¹)	
	Revolvimento do solo		Revolvimento do solo		Revolvimento do solo	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
Argissolo Vermelho distrófico (0-10 cm)						
Rodado	23 AaAa	17 AaAa	80 AaAb	80 AaBb	5,61 AaAb	4,95 AaAb
Entrerrodado	20 AaAa	17 AaAa	80 AaBb	93 AaBb	5,48 AaAb	4,30 AaAb
Argissolo Vermelho distrófico (10-20 cm)						
Rodado	16 AaAa	13 AaAa	107 AaAb	127 AaAb	3,52 AaAa	3,39 AaAb
Entrerrodado	17 AaAa	10 AaAa	120 AaAb	140 AaAb	3,26 AaBb	3,13 AaAb
Latossolo Vermelho distrófico (0-10 cm)						
Rodado	10 AaAa	10 AaAa	163 AaAa	183 AaAa	8,80 AaAa	8,53 AaAa
Entrerrodado	10 AaAa	10 AaAa	160 AaBa	170 AaAa	9,07 AaAa	8,27 AaAa
Latossolo Vermelho distrófico (10-20 cm)						
Rodado	13 AaAa	13 AaAa	197 AaAa	200 AaAa	6,40 AaAa	6,40 AaAa
Entrerrodado	13 AaAa	14 AaAa	200 AaAa	203 AaAa	6,13 AaBa	6,67 AaAa

Médias seguidas de letras iguais entre sistemas de preparo solo para classe de solo e posição de amostragem (maiúsculas), posições de amostragem de solo para classe e camada de solo (minúsculas), camadas de solo para classe e posição de amostragem (itálicas maiúsculas), e classes de solo para sistema de preparo solo, posição de amostragem e camada de solo (itálicas minúsculas), não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

As alterações granulométricas permitem caracterizar que houve respostas diferenciadas entre as duas classes de solos estudadas. O Latossolo foi mais susceptível a compactação quando submetido às operações mecânicas de revolvimento do solo, apresentando maior densidade do solo, na camada de 0-10 cm, sob o rodado, em relação ao Argissolo (Tabela 3). Isto pode ser explicado pela redução dos espaços vazios com o aumento da fração de areia grossa na matriz do Latossolo, enquanto que o aumento da fração de areia grossa do Argissolo não teve influência devido a maior proporção de areia total, argila e carbono orgânico (Tabelas 1 e 2). Défossez et al. (2014) sugeriram que o decréscimo do teor de carbono orgânico reduziria a deformação da camada superficial do solo devido ao decréscimo do conteúdo de água no solo, confirmada pela menor capacidade de armazenamento de água neste solo (Tabelas 3 e 4).

As amplitudes de 0,07-0,17 m³ m⁻³ para macroporosidade; porosidade total (0,31-0,38 m³ m⁻³) e capacidade de armazenamento de água dos solos (0,44-0,73) não possibilitaram diferenciar as classes de solo sem e com revolvimento (Tabela 4). Contrariamente, Lima et al. (2005) constaram por meio de classes de poros identificar a compactação do solo em estádios iniciais em relação a densidade do solo, e Reynolds et al. (2002) conseguiram

diferenciar o sistema plantio direto (sem revolvimento do solo) do sistema convencional (com revolvimento do solo) a partir de valores ideais de 0,64 para a capacidade de armazenamento de água dos solos.

Tabela 3 – Densidade do solo, resistência do solo à penetração e conteúdo de água gravimétrica em duas posições de amostragem em 2010 e em duas camadas de solo, sem e com revolvimento de duas classes de solo realizadas em 1993 e 1994 em áreas de pastagens nas entrelinhas para o plantio de laranjeiras.

Posição de amostragem de solo	Densidade do solo (Mg m^{-3})		Resistência do solo à penetração (MPa)		Conteúdo de água gravimétrica (kg kg^{-1})	
	Revolvimento do solo		Revolvimento do solo		Revolvimento do solo	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
Argissolo Vermelho distrófico (0-10 cm)						
Rodado	1,63 AaAb	1,63 AaBb	1,08 AaBa	1,00 AaBb	10,2 AaAa	10,2 AaAa
Entrerrodado	1,56 AaAa	1,56 AaBa	0,33 AbBb	0,47 AbBa	10,7 AaAa	9,8 AaBa
Argissolo Vermelho distrófico (10-20 cm)						
Rodado	1,75 AaAa	1,73 AaAa	2,86 AaAa	2,56 AaAb	10,1 AaAa	10,5 AaAa
Entrerrodado	1,66 AbBa	1,66 AbAa	0,88 AbAb	1,00 AbAb	10,6 AaAa	11,3 AaAa
Latossolo Vermelho distrófico (0-10 cm)						
Rodado	1,77 BaAa	1,83 AaAa	1,05 BaBa	1,57 AaBa	12,9 AaAa	11,6 AaAa
Entrerrodado	1,66 AaAa	1,64 AaAa	0,71 AbBa	0,93 AbBa	12,8 AaAa	11,5 AaAa
Latossolo Vermelho distrófico (10-20 cm)						
Rodado	1,80 AaAa	1,77 AaAa	3,06 AaAa	3,56 AaAa	12,0 AaAa	11,1 AaAa
Entrerrodado	1,70 AbAa	1,68 AaAa	1,77 AbAa	1,82 AbAa	13,1 AaAa	12,0 AaAa

Médias seguidas de letras iguais entre sistemas de preparo solo para classe de solo e posição de amostragem (maiúsculas), posições de amostragem de solo para classe e camada de solo (minúsculas), camadas de solo para classe e posição de amostragem (itálicas maiúsculas), e classes de solo para sistema de preparo solo, posição de amostragem e camada de solo (itálicas minúsculas), não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

A maior susceptibilidade a deformação do Latossolo ao tráfego de máquinas está associada a maior umidade quantificada no potencial matricial de 100 hPa pela maior capacidade de armazenamento de água do solo na camada de 0-10 cm sob o rodado das entrelinhas do pomar de laranja com o revolvimento do solo, 0,53 e 0,71, respectivamente, para o Argissolo e Latossolo (Tabela 4). Isso significa que o Latossolo está sujeito a maior compactação ou à deformação plástica do que o Argissolo, constatada também por Silva et al. (2002), considerando-se que o ideal seria que 0,64 (64 % do espaço poroso no potencial de 100 hPa), correspondente a capacidade de campo, esteve ocupada por água. Neste potencial de 100 hPa, o Argissolo teria apenas 53 % e o Latossolo 71 % de água do espaço poroso, caracterizando maior drenagem no Argissolo, enquanto que o Latossolo teria excesso de água, sujeito a maior deformação plástica, confirmada pela maior compactação na camada de 0-10 cm sob o rodado das entrelinhas do pomar de laranja com o revolvimento do solo. Ademais, a maior compactação no Latossolo se deve aos horizontes superficiais dos Argissolos não apresentarem as alternâncias de umedecimento e secamento verificadas nos

Latossolos, os quais permanecem sempre mais úmidos do que aqueles, em razão dos fluxos hídricos laterais de montante (Cunha et al., 2008).

Tabela 4 – Macroporosidade, porosidade total e capacidade de armazenamento de água do solo em duas posições de amostragem em 2010 e em duas camadas de solo, sem e com revolvimento de duas classes de solo realizadas em 1993 e 1994 em áreas de pastagens nas entrelinhas para o plantio de laranjeiras.

Posição de amostragem de solo	Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		Porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)		Capacidade de armazenamento (adimensional)	
	Revolvimento do solo		Revolvimento do solo		Revolvimento do solo	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
Argissolo Vermelho distrófico (0-10 cm)						
Rodado	0,14 AaAa	0,12 AaAa	0,36 AaAa	0,37 AaAa	0,51 AaAb	0,53 AaAb
Entrerrodado	0,17 AaAa	0,16 AaAa	0,37 AaAa	0,38 AaAa	0,44 AaAa	0,48 AaAa
Argissolo Vermelho distrófico (10-20 cm)						
Rodado	0,11 AaAa	0,11 AaAa	0,31 AbBa	0,31 AbAa	0,55 AaAa	0,53 AaAb
Entrerrodado	0,14 AaAa	0,14 AaAa	0,33 AaAb	0,34 AaBa	0,48 AaAb	0,48 AaAb
Latossolo Vermelho distrófico (0-10 cm)						
Rodado	0,07 AaAb	0,07 AaAa	0,33 AaAb	0,32 AaAa	0,73 AaAa	0,71 AaAa
Entrerrodado	0,11 AaAa	0,15 AaAa	0,37 AaAa	0,38 AaAa	0,62 AaAa	0,55 AaAa
Latossolo Vermelho distrófico (10-20 cm)						
Rodado	0,07 AaAa	0,09 AaAa	0,31 AbAa	0,32 AaAa	0,70 AaAa	0,67 AaAa
Entrerrodado	0,09 AaAa	0,12 AaAa	0,34 AaAa	0,36 AaAa	0,65 AaAa	0,59 AaAa

Médias seguidas de letras iguais entre sistemas de preparo solo para classe de solo e posição de amostragem (maiúsculas), posições de amostragem de solo para classe e camada de solo (minúsculas), camadas de solo para classe e posição de amostragem (itálicas maiúsculas), e classes de solo para sistema de preparo solo, posição de amostragem e camada de solo (itálicas minúsculas), não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Os resultados do presente trabalho permitiram identificar que a areia grossa, a densidade do solo e a resistência do solo à penetração com o mesmo conteúdo de água no solo foram as variáveis que possibilitaram diferenciar sem e com revolvimento do solo na camada de 0-10 cm do Latossolo sob o rodado das entrelinhas do pomar de laranja sob tráfego de máquinas (Tabelas 1 e 3). Neves et al. (2010) conseguiram diferenciar os sistemas de preparo do solo em pomar de laranja por meio da resistência do solo à penetração. O maior número de parâmetros físicos no presente trabalho pode ser atribuído à inclusão de mais uma classe de solo, que possibilitou evidenciar a importância de inserir o fator classe de solo na comparação de sistemas de preparo e tráfego de máquinas em pomares de laranja.

A densidade do solo foi o atributo físico mais importante para diferenciar sem e com revolvimento do solo com tráfego de máquinas na camada de 0-10 cm das entrelinhas do pomar de laranja do Latossolo (Tabela 3). Os valores densidade do solo de 1,77 e 1,83 Mg m^{-3} , respectivamente, com e sem revolvimento do solo, estão superiores as densidades críticas obtidas de 1,75 e 1,80 Mg m^{-3} , respectivamente, para área de culturas comerciais sob preparo convencional do solo e pomar de laranja, obtidas por meio do intervalo hídrico

ótimo na camada de 0-10 cm em Latossolo Vermelho distrófico (Guimarães et al., 2013). A constatação de que o revolvimento do solo associado ao tráfego de máquinas promoveu o aumento da densidade do solo acima da densidade do solo crítica, caracteriza que o revolvimento do Latossolo promove a degradação física da camada de 0-10 cm sob o rodado das entrelinhas do pomar de laranja.

Diante da constatação da compactação superficial do solo na camada de 0-10 cm causada pelo tráfego de máquinas após o revolvimento do solo para a implantação do pomar de laranja no Latossolo, surgiram as indicações de intervenção mecânica por meio da escarificação ou subsolagem. Essas duas opções foram testadas experimentalmente por Bordin et al. (2008) e Minatel et al. (2006), os quais promoveram alterações físicas de solo contraditórias. Bordin et al. (2008) verificaram que ao descompactarem essas camadas de solo (0-10 e 10-20 cm) nas entrelinhas de pomares de laranja por meio de escarificação a 30 cm de profundidade, verificaram melhorias nos atributos físicos do solo, os quais não resultaram no aumento na produção de laranja. A subsolagem realizada a 40 cm de profundidade por Minatel et al. (2006) não alterou os atributos físicos do solo.

A produção de frutos de laranja em áreas de pastagens em pomares de laranja implantados sem e com revolvimento do Argissolo e do Latossolo Vermelho distrófico não se diferenciou estatisticamente (Auler et al., 2008; Neves et al., 2010). Com base nos resultados do presente trabalho, sem o revolvimento do solo proporcionou melhores condições físicas para do Latossolo e não comprometeu os atributos físicos do Argissolo (Tabelas 1, 2, 3 e 4). A implantação destes pomares sem o revolvimento do solo reduziu cerca de 70 % da área de solo exposta à erosão hídrica pela manutenção das gramíneas nas entrelinhas dos pomares de laranja (Auler et al., 2008).

Um dos prováveis processos de adaptação das laranjeiras à compactação sob o rodado das entrelinhas sem comprometer a produção de laranja do arenito Caiuá da região Noroeste do Paraná (Auler et al, 2008; Neves et al, 2010) pode ser atribuído por serem friáveis quando úmidos e duros quando secos (Embrapa, 1984). Esta característica física e hídrica difere de do aumento de produtividade de tangerina em Argissolo Vermelho distrófico espessarênico, devido à diminuição da competição por água pelas plantas espontâneas proporcionadas pela gradagem, superior ao tratamento com roçada (Müller et al., 2011).

As classes de solo foram dependentes do revolvimento do solo para a implantação dos pomares de laranja em áreas de pastagens. O manejo das práticas conservacionistas que deveriam ser mais intensas em Argissolo do que Latossolo (Embrapa, 1984), devem ser

atualizadas quando houver o revolvimento dessas duas classes de solo para atender as suas capacidades de uso, seja pela maior compactação na camada de 0-10 cm do Latossolo sob o rodado devido ao tráfego de máquinas após o revolvimento desta classe de solo. Esses resultados são importantes para a orientação do uso e manejo desses solos, com o Argissolo mais susceptível a erosão hídrica do que o Latossolo (Embrapa, 1994; Zaparoli e Gasparetto, 2010), sendo o Latossolo mais susceptível a deformação mecânica em razão do sistema de preparo do solo.

O pomar de laranja, por se tratar de cultura permanente não apresentou limitações por acidez do solo e nutrição das laranjeiras por cálcio e magnésio, mediante a incorporação de calcário na linha de plantio de 2 m antes do plantio das laranjeiras em Argissolo e Latossolo, complementas com a distribuição de calcário em área total, sob as copas das laranjeiras e sobre a gramínea nas entrelinhas do pomar de laranja por meio de calagens superficiais, que não comprometeram a fertilidade do solo, a nutrição e a produção das laranjeiras (Auler et al., 2008). Deste modo, durante a vida útil destes pomares de laranja, não houve necessidade de revolvimento do solo das entrelinhas para a incorporação de calcário, diante da eficiência da calagem superficial em Argissolo e Latossolo Vermelhos distróficos.

O revolvimento das áreas de pastagem não contribuiu com o aumento do armazenamento de água para as duas classes avaliadas, havendo menor disponibilidade de água no Argissolo do que no Latossolo (Tabela 2). Estes resultados corroboram Fidalski et al. (2013a), a disponibilidade de água diminui em função dos maiores teores de areia grossa. Portanto, o aumento do teor de areia grossa promovida pelo revolvimento do solo com o preparo convencional, do ponto de vista hídrico, não traria nenhum benefício para aumentar a disponibilidade de água para as laranjeiras. Por essa razão, para evitar a desagregação das frações de areia nestes solos e o comprometimento hídrico às plantas, o cultivo de soja e de braquiária em sistema de integração lavoura-pecuária vem sendo realizado em áreas de pastagem degradadas por meio do plantio de sementes de soja no verão e de braquiária no inverno sem revolvimento do solo (Fidalski et al., 2013b). Assim como, o desenvolvimento do plantio em faixas para os pomares de laranja nas linhas de plantio com a manutenção das gramíneas nas entrelinhas (Auler et al., 2008; Neves et al., 2010), constitui em um sistema conservacionista adequado para os solos arenosos do arenito Caiuá do noroeste do Paraná.

CONCLUSÕES

O Latossolo é mais susceptível às alterações da fração de areia grossa e à compactação após o revolvimento e tráfego de máquinas na camada superficial do rodado das entrelinhas do pomar de laranja.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (processo 472284/2009-6) pelo apoio financeiro para as avaliações deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AULER, P.A.M.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M.A.; NEVES, C.S.V.J. Produção de laranja Pêra em sistemas de preparo do solo e manejo nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.363-374, 2008.
- BORDIN, I.; NEVES, C.S.V.J.; FRANCO FILHO, P.; PRETI, E.A.; CARDOSO, C. Crescimento de milho e guandu, desempenho de plantas cítricas e propriedades físicas do solo escarificado em um pomar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1409-1418, 2008.
- CAVIGLIONE, J.H.; KILHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D.; PUGSLEY, L. **Cartas climáticas do Paraná**: Edição ano 2000, versão 1.0. Londrina, IAPAR, 2000. CD-ROM.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212p. (Embrapa-CNPq. Documentos, 1).
- CUNHA, J.E.; CASTRO, S.S.; SALOMÃO, F.X.T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, n.4, p.943-951, 1999.
- CUNHA, J.E.; NÓBREGA, M.T.; CASTRO, S.S. Infiltração da água no solo no sistema pedológico campus do arenito, cidade Gaúcha, noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.1837-1848, 2008.
- DÉFOSSEZ, P.; RICHARD, G.; KELLER, T.; ADAMIADÉ, V.; GOVIND, A.; MARY, B. Modelling the impact of declining soil organic carbon on soil compaction: Application to a cultivated Eutric Cambisol with massive straw exportation for energy production in Northern France. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.141, p.44–54, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: Embrapa-SNLCS/Sudesul/Iapar, 1984. v.1/2. (Embrapa-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR. Boletim Técnico, 16)

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; AULER, P.A.M. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranavaí. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.3, p.613-621, 2013a.

FIDALSKI, J., TORMENA, C.A.; ALVES, S.J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico, após o primeiro período de pastejo contínuo de *Brachiaria ruziziensis*, em sistema integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.3, p.775-783, 2013b.

GUIMARÃES, R.M.L.; TORMENA, C.A.; BLAINSKI, É.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.6, p.1512-1521, 2013.

LIMA, H.V.; LIMA, C.L.R.; LEÃO, T.P.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; ROMERO, R.E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.677-684, 2005.

MARUN, F. Propriedades físicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro do arenito Caiuá sob pastagem e culturas anuais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 31:593-597, 1996.

MINATEL, A.L.G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F.; NATALE, W. Efeitos da subsolagem e da adubação verde nas propriedades físicas do solo em pomar de citros. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.86-95, 2006.

MÜLLER, J.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; SEQUINATTO, L.; MAZURANA, M.; STÜRMER S.L.K.; PIETRZACKA, R. Atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho, em pomar orgânico de citros com manejo da vegetação nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.4, p.1127-1134, 2011.

NEVES, C.S.V.J.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; YAMASHITA, F.; TORMEM, V.; FONSECA, I.C.B. Huerto de cítricos plantado con sistema de cero labranza y sistema convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, suplemento 1, p.1263-1274, 2010.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, n.1/2, p.131-146, 2002.

SALLUN, A.E.M.; SUGUIO, K.; STEVAUX, J.C. Proposição Formal do Alogrupo Alto Rio Paraná (SP, PR e MS). **Geologia USP Série Científica**, São Paulo, v7, n.2, p.49-70, 2007.

SÁ, J.P.G.; CAVIGLIONE, J.H. **Arenito Caiuá: capacidade de lotação das pastagens**. Londrina, IAPAR, 1999. 15p. (IAPAR. Informe da Pesquisa, 132).

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

SCHLOTZHAUER, S.R.; LITTELL, R.C. **SAS[®] System for elementary statistical**

analysis. 2.ed. Cary, SAS Institute, 1997. 456p.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II - Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.9-15, 2002.

SILVEIRA, H.; NOBREGA, M.T.M.; BALDO, C. Efeitos do uso e manejo na densidade do solo e porosidade total em Latossolos e Argissolos derivados de arenito Caiuá na região noroeste do estado do Paraná-Brasil. **synergismus scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v.4, n.1, 2009. 3p. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/604/347>. Acesso em: 1 jun. 2017.

ZAPAROLI, F.C.M.; GASPARETTO, N.V.L. Distribuição de solos e sua relação com o relevo em uma vertente no município de Florai-PR. **Boletim de Geografia**, Maringá, v.28, n.2, p.49-63, 2010.