http://journal.unoeste.br/index.php/ca/index
DOI: 10.5747/ca.2020.v16.n1.a344
ISSN on-line 1809-8215

Colloquium Agrariae

Submetido: 18/03/2019 Revisado: 04/12/2019 Aceito: 07/12/2019

Distribuição de raízes, resistência tênsil e friabilidade de agregados em solo com diferentes sistemas de manejo

Esmael Lopes dos Santos[1], Leonan Felipe Maroneze[2], Douglas Henrique Tonsic[2], Natassia Magalhães Armacolo[3], Maria de Fátima Guimarães[3], Henrique Debiasi[4], Julio Franchini[4], Alvadi Antonio Balbino Jr. [4]

[1]Centro Universitário – FAG, Cascavel, PR. [2]Centro Universitário Filadélfia – UNIFIL, Londrina, PR. [3]Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina, PR. [4]Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA – Soja, Londrina, PR. E-mail: esmael.santos@embrapa.br

Resumo

A qualidade estrutural do solo é desejável para o crescimento das plantas, assim como estabelecimento do sistema radicular. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição de raízes, resistência tênsil e a friabilidade de agregados em solo com diferentes sistemas de manejo na cultura da soja. O delineamento experimental foi constituído em esquema fatorial 2 x 2 x 2, sendo fator A: Plantio Direto (PD) e Plantio Direto Escaficado (ESC); fator B: com e sem aplicação de gesso agrícola e fator C: com e sem utilização da haste sulcadora, dispostos em blocos ao acaso com três repetições. No estádio R2 da soja, foi realizada a coleta de solo para avaliação do sistema radicular nas profundidades de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, sendo que os valores de diâmetro (mm) e comprimento (cm). A escarificação do solo seguida pela utilização da haste sulcadora, ocasionou alteração na qualidade física do solo, diminuindo a friabilidade dos agregados, e, possibilitando uma maior densidade do comprimento radicular na profundidade 0,0-0,20. O sistema plantio direto (SPD) proporcionou uma maior densidade do comprimento radicular em camadas subsuperficias - 0,20-0,40 cm.

Palavras-chave: haste sulcadora; plantio direto; soja.

Root distribution, tensil resistance and friability of aggregates in soil with different management systems

Abstract

Structural soil quality is desirable for plant growth as well as root system establishment. Therefore, the objective of this work was to evaluate root distribution, tensile strength and friability of soil aggregates under different management systems in soybean crop. The experimental design was a 2 x 2 x 2 factorial scheme, with factor A: no-tillage (PD) and no-tillage (ES); factor B: with and without application of agricultural plaster and factor C: with and without use of the furrower, arranged in random blocks with three repetitions. At soybean R2 stage, soil collection was performed to evaluate the root system at depths of 0.0-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0, 40 and 0.40-0.60 m, with the values of diameter (mm) and length (cm). Soil scarification followed by the use of the furrow stem caused a change in the physical quality of the soil, reducing the friability of the aggregates, and allowing a greater density of root length at depth 0.0-0.20. The no-tillage system (SPD) provided a higher density of root length in subsurface layers - 0.20-0.40 cm.

Keywords: furrow rod; no-till; soybean.

Introdução

O Sistema Plantio Direto (SPD), fundamentado pelo mínimo revolvimento do solo, cobertura permanente e rotação de culturas, é cada vez mais utilizado como uma eficiente proposta na agricultura para diversificar a produção e melhorar a produtividade (FRANCHINI *et al.*, 2011). Entretanto, o não revolvimento do solo, tráfego intensivo de máquinas pesadas, aliada quantidade e qualidade da palhada existente, muitas vezes acarretam a compactação do solo (SEBEN JUNIOR, 2010),

principalmente na camada de 0,1 a 0,2 m (FRANCHINI *et al.*, 2009).

A compactação do solo reduz a porosidade total, capacidade de infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica do solo (TAVARES FILHO *et al.*, 2001). A maior resistência mecânica do solo ao crescimento de raízes resulta em menor volume de solo explorado pelas raízes, menor absorção de água e nutrientes e, consequentemente, baixa produtividade (MORAES *et al.*, 2016).

Diante deste cenário, a estratégia utilizada para romper a camada superficial compactada em SPD é a escarificação mecânica, e os elementos sulcadores do solo. A escarificação do solo diminui o grau de compactação, aumentando a porosidade do solo e diminuindo a sua densidade. Porém em sua maioria, seu efeito é efêmero e após um ou dois anos, o solo pode voltar ao seu estado original de compactação (NICOLOSSO *et al.,* 2008). Os elementos sulcadores também conhecidos como; facas, facões e hastes são utilizados na semeadura, e, tem por função além da abertura do sulco de plantio ainda realizar o rompimento da camada superficial compactada (GERMINO; BENEZ, 2006). Uma alternativa de contribuir para o rearranjo das partículas de solo, seria a utilização do gesso agrícola, pelo maior aporte de raízes no solo.

O gesso vem sendo utilizado como condicionador do solo, pelo fato de alterar a forma iônica do alumínio (tri-valente e mais tóxica) (ROSA JUNIOR *et al.,* 1994), fornece cálcio em profundidade, melhora a distribuição do sistema radicular, aumentar o peso/volume de raízes, favorecer a absorção de água e nutrientes e propiciar maior tolerância das plantas aos veranicos (QUAGGIO, 2000).

O processo de escarificação do solo, aliado à aplicação de gesso modifica as propriedades físicas do solo, influenciando a estabilidade dos agregados (COSTA *et al.,* 2007; BERTOLLO, 2014). As alterações que ocorrem na estrutura do solo em função de sua aplicação podem ser avaliadas por meio de um conjunto de atributos específicos como, resistência tênsil, estabilidade dos agregados, friabilidade de agregados o teor de carbono orgânico. A resistência tênsil (RT), é definida como a força exercida por unidade de área necessária para causar a ruptura dos agregados, e a friabilidade (F) é a tendência de uma massa de solo em se fragmentar quando submetido a um estresse ou carga (TORMENA *et al.*, 2008).

Avaliar o sistema radicular pode facilitar o entendimento da interação solo-planta-atmosfera, sendo a base para a adoção de práticas de manejo que visem incrementar a exploração do solo pelas raízes em busca de água e nutrientes (FAN *et al.*, 2016), o que pode resultar em incrementos de produtividade ou da estabilidade produtiva (WHITE; KIRKEGAARD, 2010). Adicionalmente, a caracterização da resposta das raízes da soja a práticas de manejo, sob diferentes condições de cultivo, é essencial para o aprimoramento de modelos que quantifiquem a dinâmica do crescimento radicular da cultura para estudos de fluxo de água no solo e absorção de água e de nutrientes (BALBINOT JUNIOR *et al.*, 2018).

A partir destas premissas, objetivou-se avaliar a distribuição do sistema radicular, resistência tênsil e a friabilidade de agregados do solo, em diferentes sistemas de preparo com aplicação de gesso agrícola e uso de haste sulcadora na semeadora.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido no município Londrina (PR), conforme as coordenadas 23° 23’ 11” S e 51° 13’06” W e altitude de 552 m, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho distroférrico muito argiloso (EMBRAPA, 2013). O bioma da região é Mata Atlântica com vegetação de Floresta Ombrófila Mista. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido mesotérmico, com verão quente e sem estação seca definida. A precipitação média anual é de 1.626 mm, com temperaturas máxima e mínima anuais de 27,3˚C e 16,1˚C, respectivamente (IAPAR, 2016).

O delineamento experimental foi constituído em esquema fatorial 2 x 2 x 2, sendo fator A: Plantio Direto (PD) e Plantio Direto Escaficado (ESC); fator B: com e sem aplicação de gesso agrícola e fator C: com e sem utilização da haste sulcadora, dispostos em blocos ao acaso com três repetições. As parcelas mediram 10 m de comprimento e 10 m de largura, totalizando 100 m^2 e na área foi semeado trigo durante a safra de outono/inverno e soja na safra primavera/verão.

Após a análise de química e fertilidade do solo da área experimental (Tabela 1), a dose de gesso foi calculada conforme Embrapa (2011); considerando que a dose de gesso (DG) é o cálculo de 50 X argila (%), portanto foi aplicado

3,5 Mg ha^{-1}, pois o teor de argila foi de 700 g kg^{-1}. O gesso foi distribuído a lanço e em superfície em maio/2014, antes da escarificação, no tratamento com gesso.

Tabela 1. Caracterização de química e fertilidade do solo da área experimental em diferentes profundidades. Londrina- PR, 2014.

Camada (m)	pH(CaCl)	M.O.	Al^{3}	P	K	Ca^{2}	Mg^{2}	S	V%	SB	M%
		.....gdm^{-3}.....		.....$cmol_c\ dm^{-3}$.....							
0,0-0,1	4,2	20,6	0,68	13,3	0,24	2,4	1,05	4,7	33,4	3,7	15,3
0,1-0,2	4,5	15,6	0,44	39,6	0,07	3,0	0,92	6,0	39,3	4,0	9,9
0,2-0,4	4,3	10,0	0,94	3,0	0,04	1,6	0,68	3,4	26,7	2,3	28,6

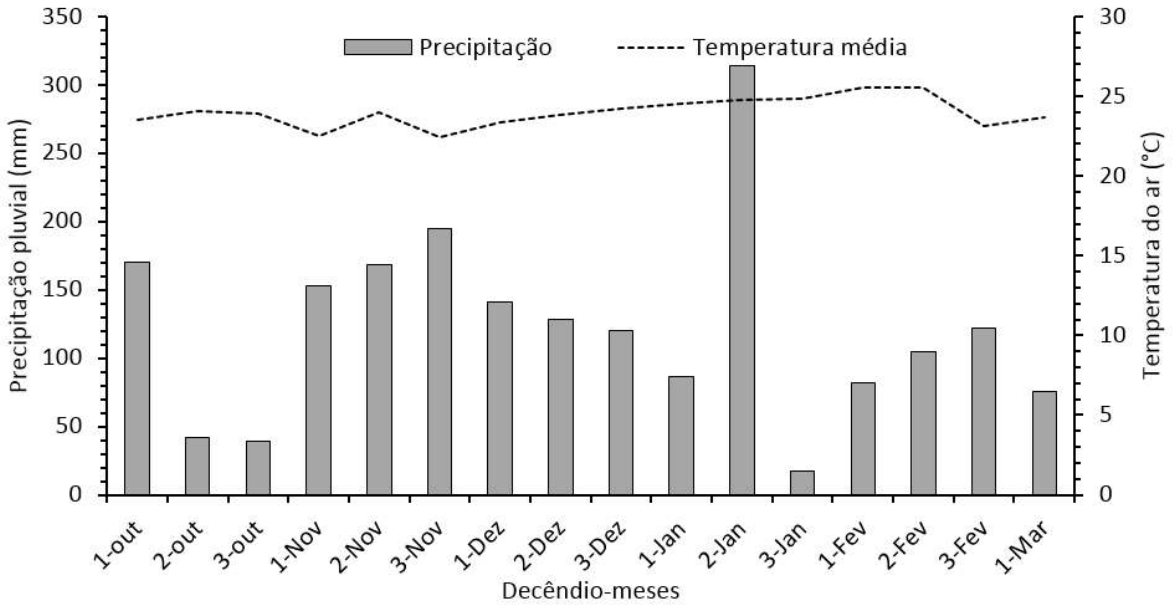
Onde: M.O = matéria orgânica; V(%) = saturação por bases; SB = soma de bases; M = saturação de alumínio

A semeadura da cultura da soja (Cultivar NA 5909 RG), foi realizada em sucessão ao trigo no dia 13 novembro 2015, em espaçamento de 0,45 m entre linhas e população de 300 mil plantas ha^{-1}, com adubação de 350 kg ha^{-1} do formulado 04-14-08. As sementes de soja foram tratadas com Standaktop (200 mL 100 kg^{-1} de sementes) e inoculante líquido Gelfix 5® (100 mL 50 kg^{-1} de sementes).

A semeadora/adubadora utilizada foi equipada com disco liso, para cortar os resíduos de cultura. No tratamento sem haste sulcadora, foram utilizados somente discos duplos defasados, para posicionar a semente no solo e um conjunto de duas rodas, de ação em forma de "V", para fechar o sulco de semeadura. No tratamento com haste sulcadora, foi acoplado uma haste com 12 mm de espessura, ajustada para operar em 0,21 m de profundidade, após o disco liso de corte dos resíduos de cultura.

Os dados de precipitação pluvial e de temperaturas máxima, mínima e média do ar, acumulado em decêndio, durante o período experimental estão apresentados na Figura 1.

Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média do ar durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja na safra 2015/2016. Londrina, PR.



No estádio R2 da cultura da soja, foi realizada a avaliação do sistema radicular através da amostragem em monólitos divididos nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 m. Os monólitos foram coletados em uma largura de 0,3 m distanciando 0,15m a

partir da linha de semeadura para cada lado da entrelinha, com espessura de 0,07 m, em trincheira aberta perpendicular à linha de soja. Posteriormente, as raízes foram lavadas com auxílio de peneira com malha de 0,5 mm e água corrente para limpeza do solo aderido.

Após a drenagem do excesso de água, as raízes foram separadas dos nódulos e colocadas em álcool 70% e acondicionadas sob refrigeração. Amostras representativas das raízes foram digitalizadas usando scanner óptico, com resolução de 200 dpi. As raízes foram distribuídas uniformemente e separadas em classes de diâmetro sobre uma placa de vidro onde o diâmetro (mm) e comprimento (cm) de cada subamostra foram quantificados pelo software SAFIRA. Posteriormente, foram colocadas em beckers e secas em estufa com ventilação forçada de ar (±60ºC, 48 h) obtendo-se assim a massa seca das amostras.

Os dados obtidos a partir da análise das imagens foram relacionados à massa seca total da respectiva amostra e ao volume dos monólitos para quantificar a densidade do comprimento radicular. Para calcular a densidade do comprimento das raízes foi utilizada a seguinte fórmula: Densidade (cm cm^{-3}) = ((Σ comprimento digitalizado x massa seca total))/(Massa seca raiz digitalizada) x área de coleta (m^3).

Para a determinação da RT, coletou-se, com o auxílio de uma pá, monólitos de solo (0,30 x 0,15 x 0,10 m) na parede de trincheiras abertas em cada parcela, na camada de 0,0 - 0,2 m. Os monólitos foram armazenados em recipientes plásticos devidamente identificados e vedados. Em laboratório, os monólitos foram manualmente fragmentados seguindo os planos de fraqueza, de modo a se obter agregados naturais de tamanho entre 12,5 e 19 mm, com diâmetro médio de 15,75 mm (IMHOFF *et al.*, 2002).

Após secagem ao ar livre, foram obtidos cinquenta agregados de cada monólito de solo que foram individualmente pesados em balança analítica. Em seguida, cada agregado foi colocado em sua posição mais estável entre duas placas metálicas, sendo uma móvel e outra fixa. A placa móvel (22 mm de diâmetro) foi adaptada a um penetrômetro de bancada da marca Marconi, possibilitando a medição da força necessária à ruptura do agregado. Após a realização dos testes, todos os agregados de uma amostra (monólito) foram reunidos e secos em estufa a 105°C para determinação da umidade residual (IMHOFF *et al.*, 2002).

A RT foi calculada por meio da equação conforme Dexter e Kroesbergen (1985), onde RT = ((0,567 x (P⁄D^2)), sendo, RT a resistência tênsil, usualmente representada pela unidade kPa; 0,576 o coeficiente de proporcionalidade, resultante da relação entre a carga compressiva aplicada e o estresse tênsil gerado no interior do agregado; P a força necessária para a quebra tênsil do agregado (N); e D o diâmetro efetivo (m).

O diâmetro efetivo (D) foi calculado utilizando-se a proposta de Dexter e Kroesbergen (1985), D = DM x ((M ⁄ Mn)^1/3, sendo, M a massa do agregado individual (g); Mm a massa média dos agregados em cada tratamento (g); e Dm o diâmetro médio dos agregados (mm), definido pela média dos tamanhos das peneiras [(12,5 + 19,0)/ 2 = 15,75 mm].

A friabilidade do solo foi estimada pelo método do coeficiente de variação proposto por Watts; Dexter (1998), indicada na equação, F= (σy/Y) ±((σy/(Y√2N)) na qual, F é friabilidade do solo; σy o desvio-padrão dos valores medidos da resistência tênsil; Y a média dos valores medidos de resistência tênsil; e n o número de repetições, sendo o segundo termo o erro padrão do coeficiente de variação.

Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F, $p<0,05$). Havendo interação significativa entre os fatores estudados (preparo do solo x gessagem x haste sulcadora), a comparação entre as médias nos desdobramentos foram feitas por meio do teste de Tukey ($p<0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do programa Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2008).

Resultados e Discussão

A aplicação do gesso favoreceu o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Figura 1A) em profundidade. Neste caso, a diferença apresentada foi na camada de 0,2-0,4m diferindo significativamente ($p>0,05$). Possivelmente, isto se deve fato de que o gesso aplicado na superfície do solo movimenta-se, com facilidade ao longo do perfil, aumentando os níveis de Ca e diminuindo o Al prejudicial (SORATTO; CRUSCIOL, 2008), o que favoreceu a penetração do sistema radicular.

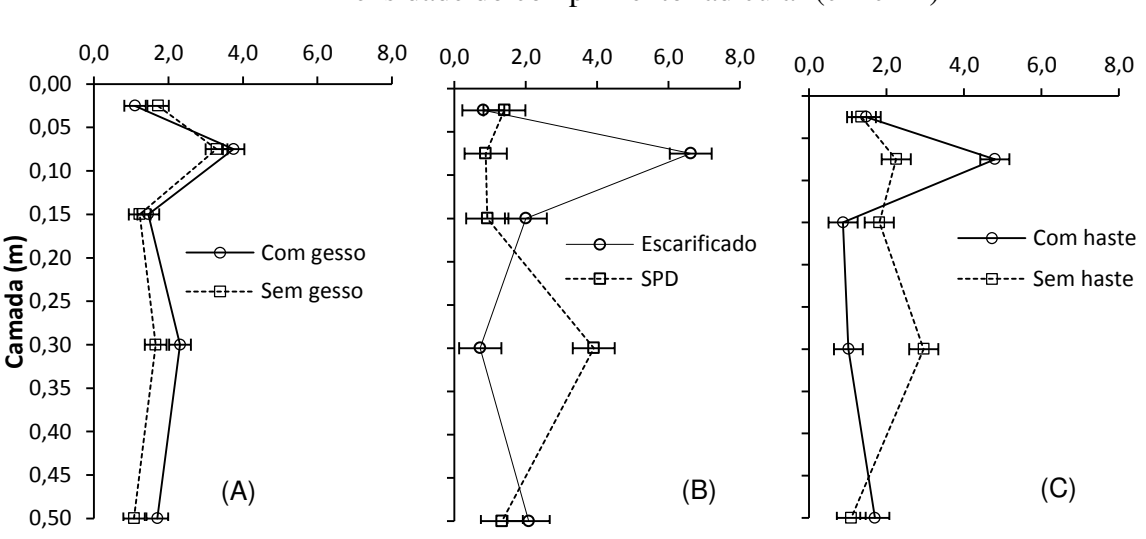
Na avaliação da densidade do comprimento radicular (cm cm^{-3}) no perfil do solo, quando comparado SPD e escarificado

(Figura 1B), observou uma concentração de raízes superficialmente (camadas 0,05-0,1 e 0,1-0,2m) quando foi realizado a escarificação do solo. No entanto, para o SPD a concentração de raízes da soja é mais profundas na camada 0,2-0,4m.

O comportamento das raízes quando houve a utilização de haste sulcadora foi semelhante ao efeito da escarificação (Figura 1C), mostrando uma ação de rompimento na camada 0,0-0,2m o que favoreceu o crescimento das raízes nesta profundidade. Quando não utilizado haste ou escarificador, verifica-se restrição ao crescimento radicular até 0,20m de profundidade, recuperando-se ao encontrar condições mais favoráveis em uma maior profundidade. Neste Latossolo, a parte inferior do Horizonte A, na transição para AB ou BA, ocorre uma redução dos níveis de coesão e de resistência do solo, com aumento da macroporosidade, em função da estrutura granular (EMBRAPA, 2006).

O crescimento radicular é dependente de muitos fatores, como oxigênio e água disponível (KOLB; JOLY, 2009), densidade do solo, resistência à penetração e atributos químicos, principalmente a disponibilidade de Ca e Al. Sendo assim, solos com alta precipitação de Al ocasiona redução no crescimento de raízes interferindo na absorção de nutrientes pelas plantas (Donagema *et al.*, 2016) e, a presença de Ca na soluções em contato com a raiz é importante para a sobrevivência da planta visto que esse nutriente não se transloca da parte aérea para as novas porções de raízes (CAIRES *et al.*, 2001). Nesse sentido, é possível deduzir que a escarificação permitiu o crescimento do sistema radicular da cultura em condições mais favoráveis que no SPD contínuo, na faixa superficial do perfil, enquanto que o SPD contínuo começou a favorecer o sistema radicular abaixo de 0,20m.

Figura 2. Comprimento de raízes (mm) de soja no perfil (camada 0,0 – 0,6 m) em função do manejo de solo SPD e ESC (A), gessagem (B) e haste sulcadora (C). Londrina, PR. 2016. SPD = Sistema Plantio direto, Escarificado = Sistema Plantio direto escarificado.



Camada	Com gesso	Sem gesso
0-0,05	Ab	Ab
0,05-0,1	Aa	Ab
0,1-0,2	Ab	Ab
0,2-0,4	Ab	Bb
0,4-0,6	Ab	Ab

Camada	Esc[1]	SPD
0-0,05	Ab	Ab
0,05-0,1	Aa	Bb
0,1-0,2	Ab	Bb
0,2-0,4	Bb	Aa
0,4-0,6	Ab	Ab

Camada	Com haste	Sem haste
0-0,05	Ab	Ab
0,05-0,1	Aa	Bab
0,1-0,2	Bb	Ab
0,2-0,4	Bb	Aa
0,4-0,6	Ab	Ab

[1] Letras maiúsculas comparam as médias de camadas de solo dentro de cada tratamento.Letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos dentro de cada camada de solo (Tukey p<0,05).

Conforme Tormena *et al.* (2008) foram determinadas as seguintes classes de friabilidade: não friável (< 0,01), ligeiramente friável (0,10–0,20), friável (0,20–0,50), muito friável (0,50–0,80) e mecanicamente instável (> 0,80). A Escarificação do solo, tornou o solo

mecanicamente instável, e os valores médios da friabilidade encontrados no presente trabalho foram maiores que aqueles verificados por Imhoff *et al.* (2002) e Tormena *et al.* (2008). Mesmo em condições de SPD os valores médios de friabilidade, mantiveram a classificação de muito friável. Valores elevados de friabilidade indicam que agregados de maior tamanho possuem menor resistência tênsil que aqueles de menor tamanho (BAVOSO *et al.*, 2010).

Embasado nas classes de friabilidade e resultados encontrados na literatura por Imhoff *et al.* (2002), Tormena *et al.* (2008), Bavoso *et al.* (2010), Reis *et al.* (2014), foi proposto uma classificação para a resistência tênsil do solo (kPa) nas seguintes faixas: não resistente (<40), ligeiramente resistente (40–80), resistente (80–120), muito resistente (120–160) e mecanicamente resistente (>160). Diante destas faixas, os solos foram classificados como resistentes e muito resistentes, com valores entre 90 e 140 kPa.

Os menores valores de friabilidade e os maiores de RT foram encontrados em SPD (classificado como muito resistente e muito Friável). Bavoso *et al.* (2010) também encontraram resultados semelhantes quando avaliaram o preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo, e justificaram que estes resultados são oriundos da preservação das ligações entre agregados, devido à não mobilização do solo e, por sua vez, à manutenção da qualidade estrutural. Maiores valores de resistência tênsil implicam leito de semeadura formado por agregados de maior tamanho em oposição a uma ampla distribuição de tamanho de agregados, o que é desejável para otimizar as condições físicas do solo próximo às sementes e raízes (TORMENA *et al.*, 2008).

Os maiores valores de F foram encontrados no solo escarificado independente da gessagem (classificado como resistente e mecanicamente instável). Valores elevados de friabilidade indicam que agregados de maior tamanho possuem menor resistência tênsil que aqueles de menor tamanho (IMHOFF *et al.*, 2002). Para Tormena *et al.* (2008) há uma correlação negativa entre a friabilidade e a densidade do solo, que neste caso foi causada pela utilização do escarificador.

Tabela 2. Momentos estatísticos e classificação para resistência tênsil e friabilidade do solo, conforme os tratamentos dispostos. Londrina, PR. 2016.

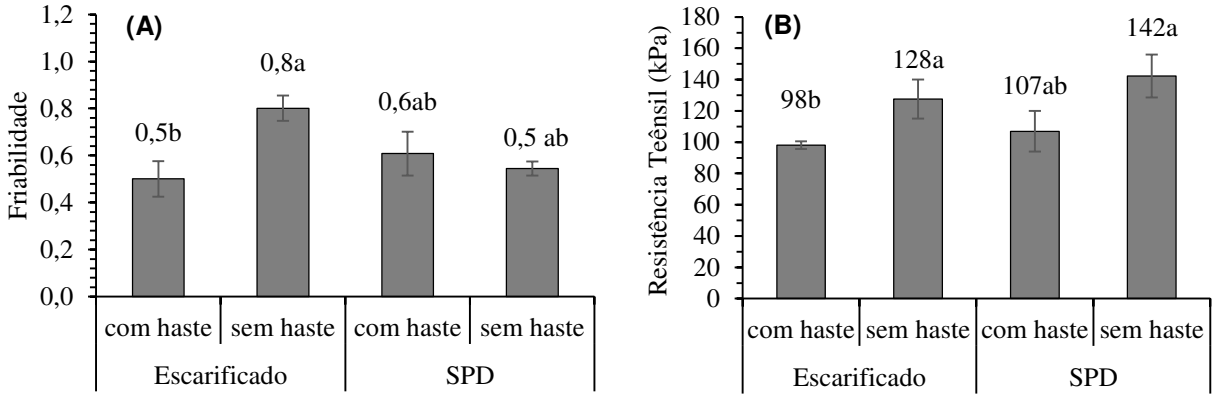
Tratamento	Média	Classificação	Desvio-padrão
	Friabilidade (adimensional)		
Escarificado com gesso	0,91	Mecanicamente instável	0,05
Escarificado sem gesso	0,80	Mecanicamente instável	0,05
SPD com gesso	0,60	Muito Friável	0,09
SPD sem gesso	0,54	Muito Friável	0,03
Escarificado com haste sulcadora	0,55	Muito Friável	0,08
Escarificado sem haste sulcadora	0,80	Mecanicamente instável	0,05
SPD com haste sulcadora	0,61	Muito Friável	0,09
SPD sem haste sulcadora	0,54	Muito Friável	0,03
	Resistência tênsil do solo (kPa)		
Escarificado com gesso	91	Resistente	11
Escarificado sem gesso	98	Resistente	7
SPD com gesso	145	Muito resistente	13
SPD sem gesso	142	Muito resistente	14
Escarificado com haste sulcadora	98	Resistente	2
Escarificado sem haste sulcadora	128	Muito resistente	13
SPD com haste sulcadora	107	Resistente	13
SPD sem haste sulcadora	142	Muito resistente	14

Na avaliação da friabilidade (Figura 3 A), a escarificação do solo aliada a utilização da haste sulcadora no momento da semeadura, ocasionou alteração na qualidade física do solo, diminuindo a friabilidade dos agregados. Tromena *et al.* (2008) justificam que a utilização da escarificação não resulta em ganho de qualidade estrutural do solo, e, com o resultado obtido, a continuidade da utilização de haste pode agravar ainda mais a estrutura do solo.

Os valores médios da resistência tênsil (Figura 3B) diferiram-se estatisticamente entre o escarificado com haste e o SPD sem haste. O fato das maiores médias serem do SPD sem a utilização de haste sulcadora, pode estar relacionado ao efeito do preparo mecânico com equipamento de hastes ser temporário, e a reconsolidação do solo aumenta com o volume cumulativo de chuva (TORMENA *et al.*, 2008).

O comportamento da RT ter apresentado menor média quando houve a utilização da haste no solo escarificado, conforme Dexter e Kroesbergen (1985), pode estar relacionado recuperação da resistência que tem como base o fato de que as ligações entre as partículas do solo que foram quebradas em decorrência da escarificação, tendem a ser reconstituídas com o tempo. Os mecanismos envolvidos no fenômeno relacionam-se com o rearranjo das partículas do solo via processos de floculação das partículas de argila, com as modificações na distribuição do tamanho de poros e com a recuperação das ligações cimentantes entre as partículas do solo, refletindo em aumento da RT (TORMENA *et al.*, 2008).

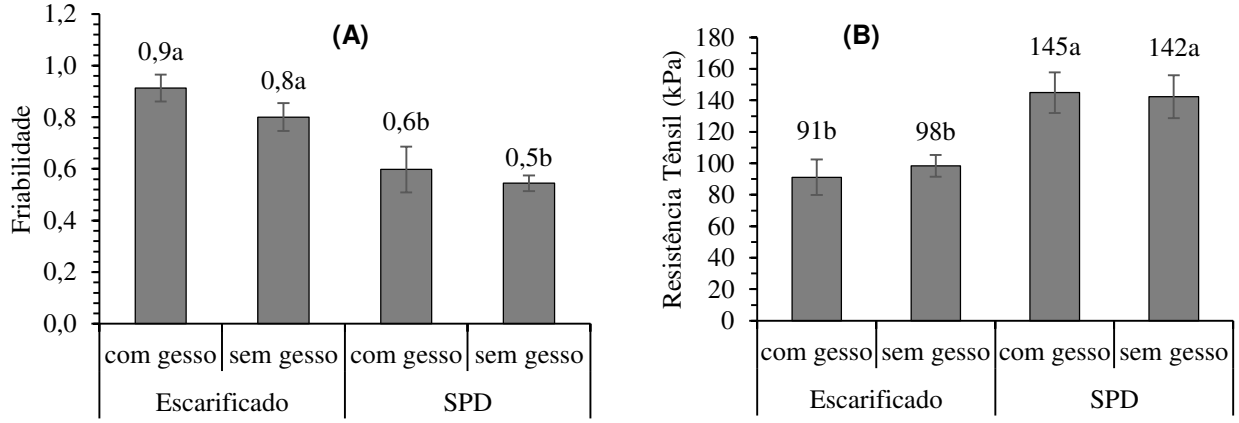
Figura 3. Valores médios de friabilidade e resistência tênsil dos agregados do solo para os tratamentos escarificado e SPD em relação a utilização de haste sulcadora na semeadura. Médias seguidas de letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.



A gessagem não alterou a friabilidade do solo, no entanto, a escarificação apresentou maiores valores de friabilidade que o SPD (Figura 4A). A ocorrência de elevados valores de Friabilidade indicam a possibilidade de o solo sofrer intenso fraturamento, quando uma mínima força é aplicada, e, em muitos caso não sendo indicada sua utilização em culturas agrícolas mecanizadas (REIS *et al.*, 2014).

A resistência tênsil se comportou inversa à friabilidade, e também não apresentou diferença pela utilização gesso agrícola. Para Imhoff *et al.* (2002), Tormena *et al.* (2008), Guimarães *et al.* (2009), os valores de RT, em solos agrícolas, aumenta com o aumento do carbono total orgânico. Conforme os resultados de Debiasi *et al.* (2013) a escarificação do solo pode reduzir cerca de 22% do COT principalmente nas camadas superficiais. A ausência de fragmentação dos agregados pelo preparo do solo e a maior preservação das raízes, que se constituem em um dos principais agentes para estabilização dos agregados, conferindo maior qualidade estrutural do solo. Tormena *et al.* (2008) ressaltam que a adoção de um sistema planejado de diversificação e/ou rotação de culturas, é imprescindível para a qualidade estrutural do solo em plantio direto e, na condição deste solo e condições de manejo, implica suprimir a escarificação do solo como prática mecânica complementar de manejo físico do solo.

Figura 4. Valores médios de friabilidade e resistência tênsil dos agregados do solo para os tratamentos escarificado e SPD em relação a aplicação de gesso agrícola. Médias seguidas de letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.



O solo mecanicamente instável quanto a friabilidade e resistente para classificação de resistência tênsil na camada 0,0-0,20m devido a escarificação (Tabela 2) favoreceu para uma maior densidade do comprimento radicular como pode ser verificado na Figura 2B. No entanto, a maior densidade do comprimento radicular foi alcançada pelo SPD em profundidades superiores. O incremento na quantidade de raízes nas camadas subsuperficiais, como ocorrido nos tratamentos SPD (Figura 2B) e sem utilização de haste (Figura 2C), pode ser benéfico para períodos com deficiência hídrica, pois a profundidade efetiva do sistema radicular é ampliada, reduzindo a possibilidade de perdas de rendimento em função de estresse hídrico (BALBINOT JR. *et al.*, 2018). Os benefícios de sistemas radiculares mais abundantes e mais bem distribuídos no perfil do solo estão diretamente relacionados com os cenários hídricos de cada cultivo (TARDIEU, 2012), sendo mais evidentes em anos secos.

Conclusões

A escarificação do solo seguida pela utilização da haste sulcadora, ocasiona alteração na qualidade física do solo, diminuindo a friabilidade dos agregados, e, possibilitando uma maior densidade do comprimento radicular na profundidade 0,0-0,20 cm.

O sistema plantio direto (SPD) proporciona maior densidade do comprimento radicular em camadas subsuperficias - 0,20-0,40 cm.

A aplicação do gesso não altera a resistência tênsil e a friabilidade dos agregados do solo. A utilização da haste sulcadora na semeadora proporciona redução nos valores de resistência tênsil e a friabilidade.

Referências

BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; PRIETO, J.P.C.; MORAES, M.T.; WERNER, F.; FERREIRA, A.S. Crescimento e distribuição de raízes de soja em diferentes densidades de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v 17, n.1, p.12-22, 2018. https://doi.org/10.5965/223811711712018012

BAVOSO, M.A.; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.227-234, 2010. https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100023

BERTOLLO, A.M. **Propriedades físicas de um latossolo após calagem, gessagem em manejos de solo.** 2014. Dissertação (Mestrado): Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2014.

CAIRES, E.R.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em reposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.4, p.1029-1040, 2001. https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000400025

COSTA, M.J.; ROSA JUNIOR, E.J.; ROSA, Y.B.C.J; SOUZA, L.C.F; ROSA, C.B.J. Atributos físicos de um

Latossolo sendo influenciado pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.29, n.5, p.701-708, 2007. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i5.751

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C.N. **Sistemas de preparo do solo:** trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 72 p.

DEXTER, A.R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal Agricultural Engineering Research**, v.31, n.1, p.139-141, 1985. https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90066-6

DONAGEMMA, G.K.; FREITAS, P.L.; BALIEIRO, F.C.; FONTANA, A.; SPERA, S.T.; LUMBRERAS, J.F.; VIANA, J.H.M.; ARAUJO FILHO, J.C.; SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M.C.M.; TEIXEIRA, P.C.; AMARAL, A.J.; BORTOLON, E., BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1003-1020, 2016. https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900001

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013**. 1. ed. Londrina: Embrapa, 2011. 261p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

FAN, J.L, MCCONKEY, B., WANG, H.; JANZEN, H. Root distribution by depth for temperate agricultural crops. **Field Crops Research**, v.189, p.68-74, 2016. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.013

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, n.1, p.36-41, 2008.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H.; TORRES, E**. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná.** 1. ed. Londrina, 2011.

GERMINO, R.; BENEZ, S.H. Ensaio comparativo em dois modelos de haste sulcadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, v. 21, n.3, p.85-92, 2006.

GUIMARÃES, R.M.L.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; FIDALSKI, J.; BLAINSKI, E. Tensile strength, friability and organic carbon in an Oxisol under a crop-livestock system. **Scientia Agricola**, v.66, n.4, p.499-505, 2009. https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000400011

IAPAR. Disponível em: www.iapar.br. Acesso em: 27 set. 2019.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DEXTER, A.R. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, n.2 p.1656-1661, 2002. https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1656

KOLB, R.M.; JOLY, C.A. Flooding tolerance of *Tabebuia cassinoides*: Metabolic, morphological and growth responses. **Flora**, v.204, n.7 p.528-535, 2009. https://doi.org/10.1016/j.flora.2008.07.004

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI J.C.; SILVA, V.R.; LUZ, F.B. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.155, p.351-362, 2016. https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.015

NICOLOSSO, R.S.; AMADO T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4 p.1723-1734, 2008. https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400037

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais.** 1. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas**,** 2000.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A. Tensile strength of aggregates and compressibility of a soil built up with cover crops in a coal mining area in Candiota, RS, Brazil. **Revista Brasileira Ciência**

Solo, Viçosa, v.38, n.2, p.669-678, 2014. https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200031

ROSA JUNIOR, E.J.; MARTINS, R.M.G.; ROSA, Y.B.J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químicos de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, p.37-44, 2006.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.675-688, 2008. https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200022

TARDIEU, F. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. **Journal of Experimental Botany**, v.63, n.1, p.25-31, 2012. https://doi.org/10.1093/jxb/err269

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (Zea mays) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.725-730, 2001. https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300022

TORMENA, C.A.; ARAÚJO M.A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA A.P. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.943-952, 2008. https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300004

WATTS, C.W.; DEXTER, A.R. Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**, v.49, n.6, p.73-84,1998. https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.1998.00129.x

WHITE, R.G.; KIRKEGAARD, J.A. The distribution and abundance of wheat roots in a dense, structured subsoil – implications for water uptake. **Plant, Cell and Environment**, v.33, n.2, p.133-148, 2010. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02059.x