

Permeabilidade ao ar da cama de semeadura do solo sob sistema plantio direto⁽¹⁾.

Oswaldo Guedes Filho⁽²⁾; Alvaro Pires da Silva⁽³⁾; Neyde Fabíola Balarezo Giarola⁽⁴⁾; Cássio Antonio Tormena⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

⁽²⁾ Professor Adjunto; Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis; Rondonópolis, Mato Grosso; E-mail: osvaldoguedes@yahoo.com.br; ⁽³⁾ Professor Titular; Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; ⁽⁴⁾ Professora Associada; Universidade Estadual de Ponta Grossa; ⁽⁵⁾ Professor Associado; Universidade Estadual de Maringá.

RESUMO: A permeabilidade ao ar é um processo muito importante na avaliação da disponibilidade de oxigênio do solo para as plantas. O objetivo do trabalho foi determinar a permeabilidade ao ar para a cama de semeadura do solo manejado sob semeadura direta e submetido à escarificação mecânica e biológica. O experimento foi conduzido no município de Ponta Grossa, Paraná, em área manejada sob semeadura direta por 18 anos. O solo da área é um Latossolo Vermelho distrófico típico de classe textural argilo-arenosa. As amostragens foram realizadas em outubro de 2009 e novembro de 2010 durante a fase de cama de semeadura do solo sob as culturas do milho e soja, respectivamente, nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,10 m de profundidade. A permeabilidade ao ar foi determinada nas amostras de solo indeformadas em quatro potenciais de água com um permeâmetro de carga constante de ar. Os dados foram avaliados através da análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A permeabilidade ao ar no potencial de -6 KPa (2009) e em -30 KPa (2010) na camada 0-0,05 m foi significativamente maior no tratamento cultivado com nabo forrageiro (escarificação biológica). A escarificação mecânica não causou impactos positivos sobre a permeabilidade do solo ao ar. A escarificação mecânica através do uso do nabo forrageiro indicou ser uma opção para melhorar a permeabilidade do solo ao ar em sistema plantio direto.

Termos de indexação: escarificação biológica, escarificação mecânica, *Raphanus sativus* L.

INTRODUÇÃO

Uma das principais condições do solo para o crescimento das plantas se refere à cama de semeadura do solo, pois sua formação apresenta ampla faixa de variação em termos de agregação e porosidade do solo (Atkinson et al., 2009). O arranjo da cama de semeadura tem impactos diretos na temperatura, no conteúdo de água, na disponibilidade de oxigênio e na resistência à

penetração do solo. Dessa forma, a condição física do solo de cama de semeadura é crucial para a germinação, emergência e estabelecimento das culturas (Atkinson et al., 2009).

O sistema plantio direto (SPD) é um dos mais importantes sistemas de manejo do solo para a produção de grãos da agricultura moderna, sendo cultivado em uma área de aproximadamente 117 milhões de hectares no mundo (Febrapdp, 2013). Todavia, a ausência de revolvimento e o intenso tráfego de máquinas são considerados os principais responsáveis pela compactação superficial do solo no SPD (Reichert et al., 2009). Uma das formas mais utilizadas na agricultura para aliviar a compactação superficial dos solos cultivados no sistema plantio direto é a escarificação mecânica (Evans et al., 1996). Outra forma seria a escarificação biológica do solo através do cultivo de plantas com sistema radicular vigoroso e profundo (Williams & Weil, 2004).

A permeabilidade do solo ao ar (K_a) é um processo de grande importância na avaliação da disponibilidade de oxigênio para o sistema radicular das plantas, responsável por promover a troca adequada de gases entre o ambiente radicular e a atmosfera, afetando diretamente o seu desenvolvimento. Isso faz com que a quantificação de propriedades relacionadas com a capacidade do solo em transmitir O_2 até as raízes seja fundamental para a avaliação da qualidade física do solo (Silva et al., 2009). A permeabilidade do solo ao ar é definida como a habilidade do solo em transmitir ar através de poros interconectados em resposta a um gradiente de pressão de ar, por um processo chamado fluxo convectivo (Roseberg & McCoy, 1990). O fluxo convectivo é baseado na Lei de Darcy, em que a taxa do fluxo de um fluido através de uma coluna porosa é diretamente proporcional ao gradiente de pressão (Ball & Schønning, 2002). Roseberg e McCoy (1990) destacam que a permeabilidade do solo ao ar é uma função do conteúdo volumétrico de água, porosidade, distribuição e geometria de poros. Portanto a permeabilidade do solo ao ar é uma medida

sensível às mudanças na estrutura do solo (Fish & Koppi, 1994).

O objetivo do trabalho foi determinar a permeabilidade ao ar para a cama de semeadura do solo manejado sob semeadura direta e submetido à escarificação mecânica e biológica.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área localizada na Fazenda Experimental "Capão da Onça", a qual pertence à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), localizada no município de Ponta Grossa, estado do Paraná. As coordenadas geográficas da área são 25° 05' 52" S e 50° 02' 43" O. O solo da área é um Latossolo Vermelho distrófico típico, de classe textural argilo-arenosa (Embrapa, 2006) com declividade entre 3 a 8%, altitude de 1080 m e precipitação média anual de 1545 mm. A área vem sendo manejada sob sistema plantio direto há mais de 18 anos e submetida à rotação de culturas com milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine Max* L.) na primavera/verão, e trigo (*Triticum aestivum* L.) e consórcio aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) + ervilhaca (*Vicia sativa* L.) no outono/inverno. A escarificação mecânica e o cultivo da planta nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) foram introduzidas na área de cultivo como agentes de descompactação mecânica e biológica do solo, respectivamente. Dessa forma, o experimento instalado em maio de 2009, considerou três tratamentos: plantio direto escarificado (PDE), plantio direto cultivado com nabo forrageiro (PDNF) e plantio direto (PD). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, resultando em 12 parcelas com dimensões de 9 x 50 m cada. As parcelas com PDE foram escarificadas em maio de 2009 com um subsolador tipo Asa laser da Jumbo Matic®, dois dias antes da semeadura da cultura de inverno, até a profundidade de 0,25 m. Nas parcelas PDNF, o nabo forrageiro foi semeado com densidade de 22 sementes por metro e espaçamento de 0,17 m na entrelinha.

As amostragens foram realizadas em outubro de 2009 e novembro de 2010, respectivamente, durante a fase de semeadura das culturas do milho e da soja. Foram coletadas dez amostras indeformadas de solo (anéis volumétricos de 0,05 x 0,05 m) por parcela, em pontos selecionados aleatoriamente, nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,10 m de profundidade, resultando em 120 amostras por profundidade, 240 amostras por cada época e 480 amostras no total. As amostras foram coletadas na linha de semeadura da cultura aproximadamente aos 15 dias após a semeadura.

Para determinação da permeabilidade ao ar (K_a) as amostras foram divididas em quatro potenciais: -6, -10, -30 e -100 kPa em mesa de tensão e placas porosas em câmaras de pressão. Após atingir o equilíbrio, as amostras foram pesadas para cálculo da umidade volumétrica no potencial referido e em seguida realizou-se a determinação da permeabilidade do solo ao ar através do permeâmetro de carga constante de ar desenvolvido por Figueiredo (2010). O princípio de funcionamento desse aparelho consiste da utilização de amostra de solo em anel volumétrico e com livre fluxo de gases em suas extremidades, sendo submetida a incrementos sucessivos e constantes de taxas de fluxo de ar para gerar distintos gradientes de pressão. A partir da Lei de Darcy, a densidade de fluxo de ar (q) pode ser descrita como:

$$q = -\frac{K_a}{\eta} \left(\frac{dP}{dz} + \rho g \right) \quad (1)$$

sendo, (q) [L/T], K_a [L²], (P) a pressão de ar [M/LT²], (z) a distância [L] na direção do movimento de ar no sistema poroso, (η) a viscosidade do ar [M/LT] ($18,1 \times 10^{-6}$ kg m⁻¹ s⁻¹ à 20 °C), (ρ) a densidade do ar [M/L³] e (g) a aceleração da gravidade [L/T²].

A densidade de fluxo corresponde à vazão de ar (Q) [L³/T] por área perpendicular ao movimento do fluido (A_s) [L²] e, considerando como desprezível a influência da densidade do ar (Springer et al., 1998), a Eq. (2) foi utilizada para as estimativas da K_a :

$$K_a = \frac{Q\eta}{A_s} \left(\frac{dz}{dP} \right) \quad (2)$$

A análise de variância foi usada para avaliar os efeitos dos tratamentos e épocas de coleta dentro de cada profundidade. A interação entre épocas de amostragem foi testada e quando houve interação significativa foi feito o seu desdobramento. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram desenvolvidas no software SAS (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de permeabilidade ao ar apresentaram uma distribuição não normal, devido a isso os valores de permeabilidade ao ar foram transformados para a forma logarítmica com vistas a obter uma distribuição a mais próxima possível da normalidade. Os valores médios de log K_a para todos os potenciais utilizados estão apresentados na **Tabela 1**. Houve interação significativa entre tratamentos e épocas para a permeabilidade ao ar. A K_a apresentou efeito significativo entre os tratamentos somente para o potencial -6 kPa na camada 0-0,05 m na primeira época avaliada (2009)

e no potencial de -30 kPa na camada 0-0,05 m na segunda época avaliada (2010). Em -6 kPa, o PDNF teve permeabilidade ao ar significativamente maior que PDE e PD, enquanto em -30 kPa o PDNF e PD foram maiores que o PDE. Estes resultados indicam o efeito do cultivo do nabo forrageiro em aumentar a macroporosidade do solo, resultando em maior permeabilidade ao ar, como também relatado por Cresswell & Kirkegaard (1995). Resultados semelhantes aos do presente estudo foram obtidos por Silveira Junior (2012) quando avaliaram a permeabilidade ao ar para o mesmo experimento.

Na avaliação dos tratamentos entre as épocas, apenas nos potenciais de -6 e -10 kPa a K_a foi maior em PDE e PD em 2010 comparado com 2009 na camada 0-0,05 m (Tabela 1). Este resultado indica que houve uma melhoria do sistema poroso do solo de 2009 para 2010 em PDE e PD, mas não em PDNF. Isso possivelmente resultou em ausência de diferenças estatísticas entre tratamentos para o ano de 2010 no potencial de -6 kPa. Para os demais potenciais na camada 0-0,05 m e para todos os potenciais na camada 0,05-0,10 m não houve diferenças significativas entre 2009 e 2010 dentro de cada tratamento.

Tabela 1 – Valores médios de permeabilidade ao ar (log K_a) para a cama de semeadura da cultura do milho (2009) e da cultura da soja (2010) para as profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m de profundidade

Tratamento	0-0,05 m		0,05-0,10 m	
	2009	2010	2009	2010
-6 kPa				
PDE	-0,58bB	0,12aA	-0,89aA	-1,22aA
PD	-0,53bB	0,57aA	-1,19aA	-0,20aA
PDNF	0,09aA	0,47aA	-1,19aA	-0,98aA
-10 kPa				
PDE	-0,33aB	0,92aA	-0,49aA	-0,79aA
PD	0,28aB	0,68aA	-0,98aA	-0,04aA
PDNF	0,15aA	0,83aA	-0,69aA	-0,49aA
-30 kPa				
PDE	0,33aA	0,86aA	0,03aA	-0,37aA
PD	0,37aA	0,79bA	-0,44aA	-0,57aA
PDNF	0,42aA	1,05aA	-0,34aA	-0,19aA
-100 kPa				
PDE	1,22aA	1,12aA	1,28aA	0,12aA
PD	1,38aA	1,19aA	1,21aA	0,36aA
PDNF	1,23aA	1,23aA	1,28aA	0,08aA

PDE- plantio direto escarificado; PD- plantio direto; PDNF- plantio direto cultivado com nabo forrageiro. Letras minúsculas comparam médias entre tratamentos em cada época e profundidade, e letras maiúsculas comparam as médias entre os anos dentro de cada tratamento e profundidade. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Houve ocorrência de K_a igual zero para os tratamentos PDE e PD no potencial -6 kPa na camada 0-0,05 m e para todos os tratamentos na camada 0,05-0,10 m nos potenciais -6, -10 e -30

kPa. A K_a igual a $1 \mu\text{m}^2$ (log $K_a=0$) indica ausência de fluxo devido aos poros estarem bloqueados e não fazendo parte do transporte convectivo do ar, o que acontece quando os poros estão preenchidos com água ou caso não estejam conectados (McQueen & Shepherd, 2002). A ocorrência de poros muito pequenos em solos com alto teor de argila também propiciam valores de K_a próximos de zero, conforme relatado por Rodrigues et al. (2011). Porém, como era esperado, conforme o potencial de água no solo foi reduzido houve um aumento da K_a em todos os tratamentos e profundidades, uma vez que o espaço poroso anteriormente ocupado por água passou a ser preenchido com ar. A magnitude dos valores de K_a encontrados neste estudo se assemelham com os valores obtidos por Schjøning et al. (2007) para um solo arenoso compactado na Dinamarca, o qual teve K_a 6,5 vezes menor do que o solo não compactado no potencial -10 kPa.

Embora o PDNF tenha apresentado maior K_a somente no potencial -6 kPa para a camada 0-0,05 m, esse fato é de extrema importância uma vez que a região apresenta um alto índice pluviométrico (acima 1400 mm). E a ausência de diferença significativa entre os anos para este tratamento nesta profundidade e potencial indica que mesmo 18 meses após o cultivo do nabo forrageiro houve uma manutenção da K_a no potencial -6 kPa. Isso torna o cultivo do nabo forrageiro uma possível opção para melhorar a K_a em sistema plantio direto em regiões de alta precipitação.

A permeabilidade ao ar foi maior na camada 0-0,05 m comparado à camada 0,05-0,10 m. Provavelmente, os maiores valores de K_a na camada superficial podem ser atribuídos à operação de semeadura que promoveu um aumento na macroporosidade do solo em relação à camada 0,05-0,10 m. Maiores valores de K_a na camada superficial em comparação à subsuperficial foram também encontrados por Cavalieri et al. (2009) e Rodrigues et al. (2011) em sistema plantio direto. Fish & Koppi (1994) relataram que a K_a é uma propriedade sensível para diferenciar os efeitos das práticas de manejo no solo. Devido à predominante ausência de diferenças significativas, acredita-se que a alta variabilidade espacial da K_a associada ao fato de que os tratamentos propostos abrangem um único sistema de manejo (plantio direto) possa ter contribuído para isto.

CONCLUSÕES

A permeabilidade ao ar foi positivamente afetada pela escarificação biológica do solo no potencial -6 kPa (em 2009) e no potencial -30 kPa (em 2010) na camada 0-0,05 m.



A escarificação mecânica do solo não causou efeitos positivos sobre a permeabilidade do solo ao ar nem a curto (2009) e nem no médio prazo (2010).

O cultivo do nabo forrageiro indica ser uma opção para melhorar a permeabilidade do solo ao ar em sistema plantio direto.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ATKINSON, B.S., SPARKES, D.L. & MOONEY, S.J. The impact of soil structure on the establishment of winter wheat (*Triticum aestivum*). *European Journal Agronomy*, 30: 243–257, 2009.
- BALL, B.C. & SCHJØNNING, P. Air permeability. In: DANE, J.H. & TOPP, G.C., ed. *Methods of soil analysis. IV: Physical methods*. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 1141-1158.
- CAVALIERI, K.M.V.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; LEÃO, T.P.; DEXTER, A.R. & HAKANSSON, I. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Parana, Brazil. *Soil and Tillage Research*, 103: 158-164, 2009.
- CRESSWELL, H.P. & KIRKEGAARD, J.A. Subsoil amelioration by plant root – the process and the evidence. *Australian Journal of Soil Research*, 33: 221-239, 1995.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- EVANS, S.D.; LINDSTROM, M.J.; VOORHEES, W.B.; MONCRIEF, J.F. & NELSON, G.A. Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture, and corn yield. *Soil and Tillage Research*, 38: 35-46, 1996.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Área de plantio direto no Brasil. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em 20 abril de 2013.
- FIGUEIREDO, G.C. Avanços metodológicos e instrumentais em física do solo. 2010. 163 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2010.
- FISH, A.N. & KOPPI, A.J. The use of a simple field air permeameter as a rapid indicator of functional soil pore space. *Geoderma*, 63: 255-264, 1994.
- MCQUEEN, D.J. & SHEPHERD, T.G. Physical changes and compaction sensitivity of a fine-textured, poorly drained soil (Typic Endoaquept) under varying durations of cropping, Manawatu Region, New Zealand. *Soil and Tillage Research*, 25: 217-230, 2002.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil and Tillage Research*, 102: 242–254, 2009.
- RODRIGUES, S.; SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B. & ROSA, J. A. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 35: 105-114, 2011.
- ROSEBERG, R.J. & McCOY, E.L. Measurement of soil macropore air permeability. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 969-974, 1990.
- SAS INSTITUTE. SAS: user’s guide: statistics. 9th ed. Cary, 2002. 943 p.
- SCHJØNNING, P.; MUNKHOLM, L.J.; ELMHOLT, S. & OLESEN, J.E. Organic matter and soil tilth in arable farming: Management makes a difference within 5–6 years. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122: 157–172, 2007.
- SILVA, A.P.; LEAO, T.P.; TORMENA, C.A. & GONÇALVES, A.C.A. Determination of air permeability in undisturbed soil samples by the decreasing pressure method. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1535-1545, 2009.
- SILVEIRA JUNIOR, S.D. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à escarificação mecânica e biológica. 2012. 64p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- SPRINGER, D.S.; LOAICIGA, H.A.; CULLEN, S.J. & EVERETT, L.G. Air permeability of porous materials under controlled laboratory conditions. *Ground Water*, 36: 558–565, 1998.
- WILLIAMS, S.M. & WEIL, R.R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 1403-1409, 2004.