

**PERMEABILIDADE AO AR E POROSIDADE DE SOLOS NA REGIÃO SEMIÁRIDA**

Marcelo Couto de Jesus<sup>1</sup>, Alessandro dos Santos Brito<sup>2</sup>, Marcondes de Oliveira Silva<sup>3</sup>, Sandra Santos Teixeira<sup>4</sup> & Washington Dias de Carvalho<sup>5</sup>

1 - Técnico em Agropecuária, graduando do curso de Engenharia Agrônômica do IFBAIANO; e-mail: marcelocouto.1308@gmail.com

2 - Eng. Agrônomo, Professor efetivo do IFBAIANO; e-mail: alexsandro.brito@ifbaiano.edu.br.

3 - Técnico em Agropecuária da Empresa Fazenda Nova Esperança; e-mail: marcondesdeoliveira@gmail.com.

4 - Técnica em Agropecuária, graduanda do curso de Engenharia Agrônômica do IFBAIANO; e-mail: steixeira.eng.agronomica@gmail.com

5 - Técnico em Agropecuária, graduando do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da UESB; e-mail: washingtonpiu95@gmail.com

**Palavras-chave:**

aeração  
densidade do solo  
manejo do solo

**RESUMO**

A avaliação da qualidade física do solo tem sido realizada por meio de índices de qualidade do solo, os quais são determinados, muitas vezes, por método que necessita de elevado tempo, alto custo e/ou muito laborioso, enquanto a permeabilidade intrínseca do solo ao ar é rápida e de baixo custo. Dessa maneira, o objetivo do trabalho foi caracterizar a facilidade de um Latossolo Vermelho Amarelo e um Planossolo Háplico, da região de Guanambi, em transportar ar, por meio da permeabilidade dos solos ao ar. O delineamento experimental foi inteiramente aleatorizado, com quatro tratamentos ( $T_1$  e  $T_2$  – Permeabilidade ao ar do Latossolo Vermelho Amarelo nas profundidades de 0,1 e 0,2 m, respectivamente, e  $T_3$  e  $T_4$  – Permeabilidade ao ar do Planossolo Háplico nas profundidades de 0,1 e 0,2 m, respectivamente) e 10 repetições. Observou-se que o Latossolo Vermelho Amarelo teve uma permeabilidade ao ar mais elevada comparado ao Planossolo Háplico nas duas profundidades avaliadas.

**Keywords:**

aeration  
bulk density  
soil tillage

**SOIL AIR PERMEABILITY AND POROSITY IN THE SEMIARID REGION****ABSTRACT**

Assessment of soil physical quality has been carried through using soil quality index, and are often determined by methods that require time, high cost and/or hard work, whereas a soil air permeability analysis is a fast and low cost method. The aim of this work was to characterize the facility of Oxisol and Albaqualf soil, both found in the Guanambi region, to transport air by means of soil air permeability. The statistical design was completely randomized, with four treatments ( $T_1$  e  $T_2$  – air permeability of Oxisol at the depths of 0.1 and 0.2 m, respectively, and  $T_3$  e  $T_4$  – air permeability of Albaqualf soil at the depths of 0.1 and 0.2 m, respectively) and 10 repetitions. Oxisol air permeability was higher than Albaqualf soil for both depths analyzed.

## INTRODUÇÃO

O solo é o compartimento do sistema agrícola com a função de retenção da água, de adsorção dos nutrientes essenciais e benéficos, fornecimento de calor, oxigênio e de sustentação das plantas. Quanto aos aspectos estruturais do solo, as propriedades fortemente correlacionadas com o espaço poroso do solo são muito importantes, principalmente porque têm ação direta no desenvolvimento vegetal: é pelo espaço poroso que ocorre o deslocamento de água e ar para a rizosfera das plantas.

Nesse aspecto, a atividade agropecuária causa alterações no sistema agrícola, podendo provocar perdas de solo devido ao processo erosivo e degradação estrutural por causa do manejo. A degradação estrutural do solo reduz o fluxo de água e ar, prejudicando as culturas agrícolas, que passam a não expressar seu potencial genético. Nesse sentido, a permeabilidade do solo ao ar é um atributo que pode indicar problemas estruturais (SILVEIRA et al., 2011; GUEDES FILHO et al., 2015).

A permeabilidade do solo é influenciada por propriedades do solo, ligadas ao espaço poroso, e do fluido. A distribuição de tamanho, a tortuosidade e a conectividade dos poros são as características da geometria do espaço poroso que mais influenciam no transporte de fluidos no solo (IVERSEN et al., 2001; TULI et al., 2005; CHIEF et al., 2006).

A importância da quantificação da permeabilidade do solo ao ar deve-se, por exemplo, à necessidade de se caracterizar o espaço poroso e de se identificar mudanças na estrutura do solo, (BLACKWELL et al., 1990; CAVALIERI et al., 2009; KUNCORO et al., 2014); estabelecer correlações com outras propriedades do solo que são de difícil determinação, a exemplo da condutividade hidráulica (LOLL et al., 1999; IVERSEN et al., 2001; IVERSEN et al., 2004; RAHMATI & NEYSHABOURY, 2016), e na difusão e extração de vapor de contaminantes presentes nesse meio poroso (POULSEN et al., 1998; FAHRAN et al., 2001; CHAMINDU DEEPAGODA et al., 2013).

O primeiro aparato para medição da permeabilidade do solo ao ar em amostra foi proposto por Kirkham (1946), medindo o fluxo de ar através de uma amostra de solo submetida a um baixo gradiente de pressão de ar, decrescente com o tempo. As pesquisas dos últimos anos buscaram aprimorar o método, principalmente na automação

da aquisição de dados, tornando o processo de medição mais fácil e preciso (MOLDRUP et al., 1998; IVERSEN et al., 2003; TYNER et al., 2005; SILVEIRA et al., 2011).

Pequenas modificações na distribuição do tamanho dos poros podem interferir muito na permeabilidade do solo ao ar e na condutividade hidráulica. PEREIRA & CRUCIANI (2001) relatam que a distribuição de tamanho dos poros do solo não é gradual e homogênea e, em função disso, caso haja predominância de uma classe de poros e este conjunto de poros seja drenado, haverá aumento significativo no espaço aéreo do solo e no grau de interligação de todos os poros drenados.

Assim, o volume, o tamanho, a forma e o tipo de poros do solo, bem como a conectividade e a distribuição, afetam o movimento da água e do ar no solo. Essas características do espaço poroso são usadas para predição de atributos do solo (AMER et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011).

A distribuição de tamanho dos poros é muito importante, haja vista que a macroporosidade é responsável pela livre circulação da água e aeração do solo e a microporosidade pela retenção da água. Desse modo, dependendo da distribuição dos vários tipos de poros do solo, a água e o ar podem se movimentar com maior ou menor facilidade.

Portanto, o trabalho teve como objetivo avaliar qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho Amarelo e Planossolo Háplico por meio da permeabilidade intrínseca do solo ao ar.

## MATERIAL E MÉTODOS

O Latossolo Vermelho Amarelo e o Planossolo Háplico avaliados estão localizados na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Guanambi (coordenadas geográficas: 14° 13' 30" de latitude sul, 42° 46' 53" de longitude oeste e altitude de 525 m), a qual é utilizada para cultivos de culturas anuais e pastagem, além de experimentos científicos. A precipitação pluviométrica anual da região é de 663,69 mm e a temperatura média é de 26°C. As amostras dos solos foram coletadas nas áreas em pousio, com o objetivo de verificar a qualidade física e para servir de referencial para os futuros estudos em solos sob diferentes sistemas de manejo.

Para o estudo do movimento do ar no solo foi utilizado o método da pressão decrescente,

desenvolvido por Kirkham (1946), usando amostras de solo com estrutura indeformada para a medida da permeabilidade intrínseca do solo ao ar, que denominada apenas de permeabilidade do solo ao ar. Esse método se baseou no modelo de Darcy, o qual exige que o regime de fluxo seja laminar e, para o caso do fluxo de gás, exige-se que o processo seja isotérmico. Dessa forma, a diminuição da pressão interna (pressão manométrica) no cilindro de ar é dada pela seguinte equação (1):

$$\ln P_{a1} - \ln P_{a2} = \frac{k_a AP_{atm}}{L\eta V} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

na qual  $P_{a1}$  e  $P_{a2}$  são as pressões manométricas (acima da pressão atmosférica) nos tempos  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente;  $k_a$  é a permeabilidade do solo ao ar;  $A$  é a área da secção da amostra de solo com estrutura indeformada;  $P_{atm}$  é a pressão atmosférica local;  $L$  a altura da amostra de solo;  $\eta$  é a viscosidade do ar e  $V$  é o volume do cilindro de ar.

Denominando  $\frac{k_a AP_{atm}}{L\eta V}$  de  $S$  e reconhecendo que esse termo representa o coeficiente angular da regressão linear da pressão ( $\ln$  pressão) em função do tempo, a equação (1) pode ser reescrita na forma:

$$\ln P_{a2} = -St + \ln P_{a1} \quad (2)$$

Pode-se, então, calcular a permeabilidade ( $k$ ) a partir da regressão  $\ln P_a \times t$ , que permite obter o coeficiente angular ( $S$ ) e, a partir dele, a permeabilidade do solo ao ar:

$$k_a = \frac{L\eta V}{AP_{atm}} \times S \quad (3)$$

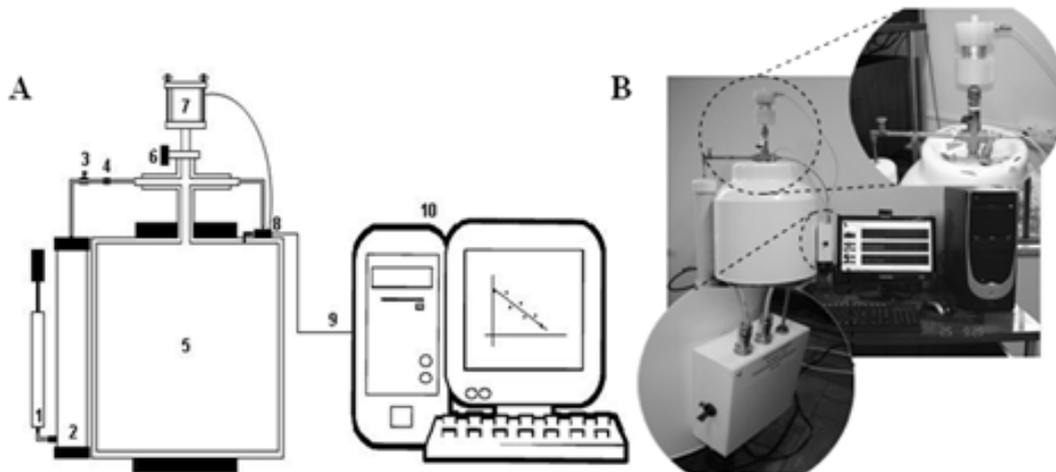
O permeâmetro (Figura 1) é constituído por três núcleos: 1) compartimento de injeção; 2) cilindro de ar pressurizado (volume de 0,031 m<sup>3</sup>) e 3) sistema de aquisição e processamento de dados (SILVEIRA *et al.*, 2011). O sistema de aquisição é constituído pelo módulo eletrônico e pelo programa computacional PermeAR (SILVEIRA *et al.*, 2011). O módulo eletrônico do sistema de aquisição é constituído por um transdutor de pressão diferencial (modelo MPXV5004DP, Freescale) com faixa de operação de 0 a 3,92 kPa,

sensibilidade de 1,0 mV Pa<sup>-1</sup> e acurácia de  $\pm 1,5\%$  da voltagem de fundo de escala. O transdutor de pressão foi interligado a um microcomputador, por intermédio de um microcontrolador (modelo Basic Step M8, Tato ind.) que possui conversor A/D interno de 10 bits (oito canais) e referência de voltagem interna.

A permeabilidade do solo ao ar foi medida em amostras com estrutura indeformada, coletadas às profundidades de 0,10 e 0,20 m, com 10 repetições em cada profundidade de solo. Elas foram coletadas com um extrator tipo Uhland e cilindros volumétricos com as seguintes dimensões médias: 0,047 m de diâmetro e 0,05 m de altura (BRITO *et al.*, 2011). Para tanto, foram removidas as camadas superficiais de solo, posicionando o centro do cilindro volumétrico exatamente nas profundidades de interesse, tendo o cuidado de coletar as amostras com o solo na consistência friável. Para o transporte ao laboratório, as amostras com estrutura indeformada foram envolvidas por filme plástico não poroso e colocadas em caixa plástica com o interior revestido por plástico bolha para evitar alterações durante o transporte.

No laboratório, as amostras foram convenientemente preparadas, retirando-se o excesso de solo, de forma que o volume de solo ficou igual ao volume do cilindro volumétrico, e colando-se na sua base um recorte, com diâmetro igual ao do cilindro, de papel mata-borrão, para evitar perda de solo e melhorar o contato da amostra com a superfície porosa (mata-borrão), durante o processo de estabilização nas tensões aplicadas na mesa de tensão. Após esse preparo, as amostras foram saturadas utilizando um recipiente de mesma altura dos cilindros em que foi adicionada água deionizada, gradativamente, até atingir 3/4 da altura do anel, com o objetivo de expulsar todo o ar presente nos poros. O processo de saturação das amostras foi realizado lentamente, durando 24 horas.

No interior do cilindro, a pressão de ar no início de cada medida foi equilibrada em 1,0 kPa (1,0 kPa acima da pressão atmosférica local), fazendo com que o fluxo de ar fosse laminar e não provocasse modificações significativas nos filmes de água dispostos nas superfícies dos agregados do solo. Assim, a medida da permeabilidade do solo ao ar é feita por meio do monitoramento da diminuição da pressão manométrica no interior do cilindro de ar em função do tempo. Dessa forma, o sistema de aquisição de dados foi configurado para medir



**Figura 1.** Diagrama esquemático (A) constituído por: 1 – bomba de ar; 2 – cilindro de desumidificação do ar preenchido com sílica gel; 3 – válvula de controle de fluxo; 4 – válvula de escape para ajuste fino da pressão interna; 5 – cilindro de ar; 6 – válvula de controle de fluxo; 7 – compartimento de alocação da amostra indeformada de solo; 8 – sistema de aquisição de dados constituído por transdutor de pressão e sensores de temperatura e umidade; 9 – cabo de transmissão de dados (DB 9); 10 – microcomputador para processamento dos dados; e (B) fotografia do equipamento para medida da permeabilidade do solo ao ar (SILVEIRA et al., 2011).

a pressão de ar no cilindro a cada segundo e, conforme a equação (2), tem-se uma relação linear entre o logaritmo da pressão e o tempo (regressão linear), sendo necessária para calcular o coeficiente angular da regressão.

A permeabilidade do solo ao ar foi determinada com as amostras estabilizadas nas tensões de 3,0 e 6,0 kPa, uma vez que a distribuição entre macro e microporos é feita com amostras estabilizadas na tensão de 6,0 kPa. A tensão de 3,0 kPa é utilizada para a separação entre macro e mesoporos na classificação do tamanho de poros proposta por Korrevaeret al. (1983). Uma vez que a permeabilidade do solo ao ar é prejudicada por uma estrutura do solo degradada, geralmente com redução da macroporosidade, que pode ser originada de um processo de compactação, a escolha dessas tensões torna-se importante para a avaliação desse atributo do solo. Para a medida da permeabilidade do solo ao ar na tensão de 6,0 kPa, o recorte de papel mata-borrão foi novamente colado ao cilindro volumétrico e a amostra foi saturada e colocada para estabilização na mesa de tensão.

Após o equilíbrio em cada tensão, a amostra foi pesada em balança de precisão com duas casas decimais, o mata-borrão foi removido, com auxílio de um estilete, e realizou-se uma leve escarificação da extremidade da amostra de solo que ficou em contato com a superfície porosa. Então, a amostra

foi acoplada, por meio de uma adesivo “silver tape”, ao permeâmetro para determinação da permeabilidade do solo ao ar.

Após os processos de estabilização das amostras na mesa de tensão e determinação da permeabilidade do solo ao ar, as amostras foram levadas à estufa para secar (105 °C durante 24 horas) e, então, pesadas em balança de precisão, para a determinação da massa de solo seco, para posterior determinação da massa do solo seco e cálculo da densidade do solo (BLAKE & HARTGE, 1986)

A distribuição do tamanho de poros foi feita com amostras com estrutura indeformada, seguindo o mesmo padrão das amostras utilizadas para a determinação da permeabilidade do solo ao ar. Para proceder a distribuição de poros entre macro e microporos, as amostras foram estabilizadas na tensão ( $\tau$ ) de 6,0 kPa (=0,60 m de água), momento em que os poros com raio ( $r$ ) maior que 25  $\mu\text{m}$  foram esvaziados de água (caracterizando os macroporos), conforme equação (4), com  $R = r$ :

$$r = \frac{2\sigma}{\rho_a g \tau} \quad (4)$$

na qual as constantes  $\sigma$ ,  $\rho_a$  e  $g$  são coeficiente de tensão superficial da água, densidade da água e aceleração da gravidade, respectivamente.

Denominando o conteúdo de água de  $\theta$  e a

porosidade do solo de  $\alpha$ , temos que  $\theta / \alpha = V_a / V_p$ , onde  $V_a$  e  $V_p$  são os volumes de água e de poros, respectivamente. Lembrando que  $V_p = V_a + V_{ar}$ , onde  $V_{ar}$  é o volume de ar, então, evidentemente,  $\theta / \alpha = (V_p - V_{ar}) / V_p$ . Desse modo, quando  $\theta / \alpha = 1$ , tem-se que  $V_{ar} = 0$  ou que todos os poros do solo estão cheios de água. Portanto, para  $\tau = \tau_0 = 0$  m de água,  $\theta = \theta_s =$  conteúdo de água volumétrico no solo saturado (Libardi, 2010). Para  $\tau = \tau_1 = 0,6$  m de água ( $r_1 = 25\mu\text{m}$ ), a frequência acumulada  $\theta / \alpha = \theta_1 / \alpha$  (poros de  $r < r_1 = 25\mu\text{m}$ ) corresponderá ao volume de poros do solo que está cheio de água, ou seja, a quantidade de microporos. A frequência acumulada de macroporos é igual a frequência acumulada do solo saturado menos a frequência acumulada quando da aplicação da tensão de 6,0 kPa (=0,60 m de água).

A porosidade total do solo foi calculada por meio das densidades do solo e das partículas, conforme equação (5):

$$\alpha = 1 - \left( \frac{\rho}{\rho_s} \right) \quad (5)$$

na qual  $\rho_s$  é a densidade das partículas, considerada como a densidade média das partículas ( $\rho_s = 2.650 \text{ kg m}^{-3}$ ; HUANG *et al.*, 2016).

O delineamento experimental foi o inteiramente aleatorizado, com quatro tratamentos:  $T_1$  e  $T_2$  – Permeabilidade ao ar do Planossolo Háplico nas

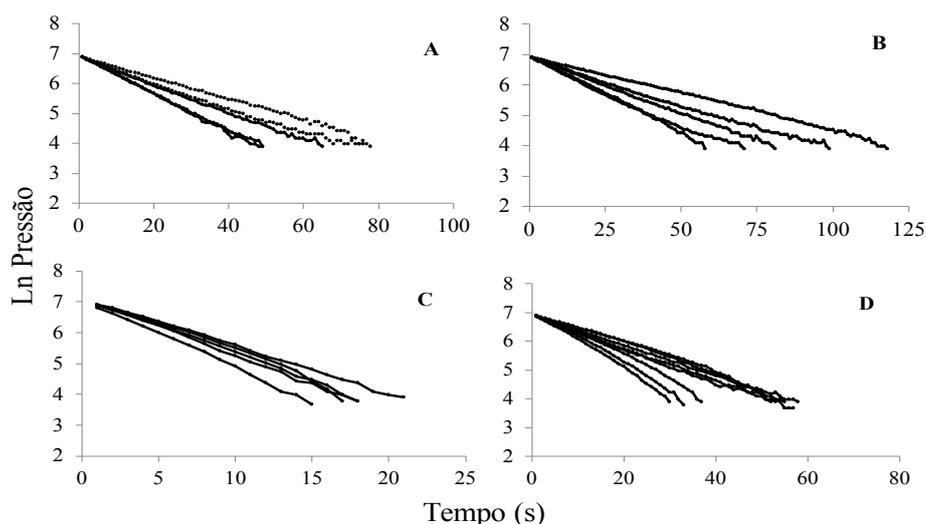
profundidades de 0,10 e 0,20 m, respectivamente, e  $T_3$  e  $T_4$  – Permeabilidade ao ar do Latossolo Vermelho Amarelo nas profundidades de 0,10 e 0,20 m, respectivamente) e 10 repetições.

Com a análise estatística foi possível comparar o espaço poroso destinado ao fluxo de ar dos solos avaliados e com a análise da permeabilidade em conjunto com a densidade do solo foi possível verificar a magnitude da permeabilidade ao ar dos solos avaliados. Além disso, a análise estatística possibilitou comparar o percentual de poros total e macro e microporos dos solos avaliados e verificar se existe algum solo com problemas físicos que pudessem causar prejuízos as culturas agrícolas.

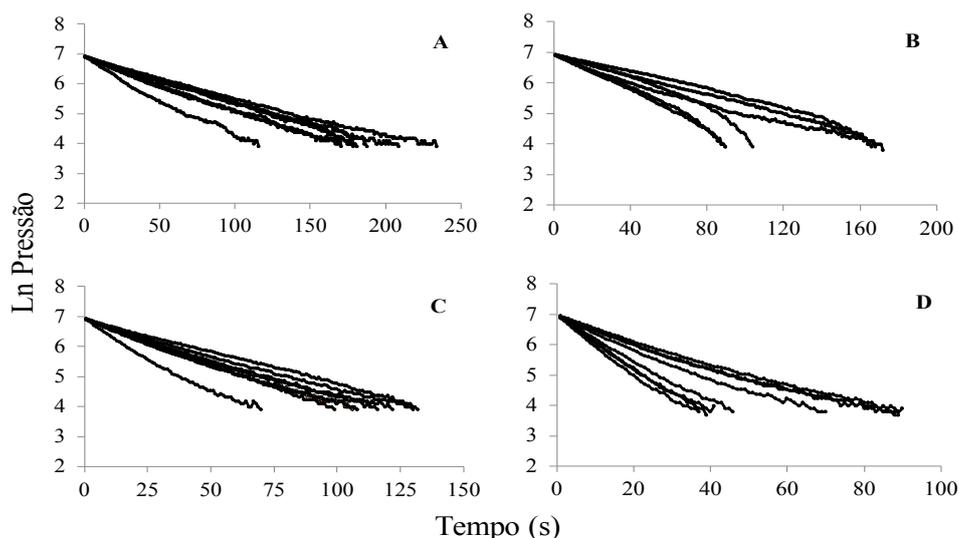
A análise exploratória foi feita no ambiente estatística R (R Development Core Team, 2015), por meio dos pacotes Mass e Outliers. Após essa etapa, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o pacote Agricolae.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A facilidade de fluxo de ar no solo, durante a medida da permeabilidade ao ar, pode ser observada, *a priori*, pela inclinação da reta (S), constituída pela regressão linear entre a pressão de ar manométrica e o tempo (Figuras 2 e 3).



**Figura 2.** Regressão linear de cinco repetições por camada do Latossolo Vermelho Amarelo, as quais representam o processo de medida da permeabilidade intrínseca do solo ao ar nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m submetidos nas tensões de 3,0 kPa (A e B) e 6,0 kPa (C e D), respectivamente.



**Figura 3.** Regressão linear de cinco repetições por camada do Planossolo Háplico, as quais representam o processo de medida da permeabilidade intrínseca do solo ao ar nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m submetidos nas tensões de 3,0 kPa (A e B) e 6,0 kPa (C e D), respectivamente.

As Figuras 2 e 3 representam o processo de medida da permeabilidade do solo ao ar, por meio do método da pressão decrescente, do qual calculou-se a permeabilidade ao ar (Figura 5). Observa-se que as medidas realizadas em tempo relativamente curto, para cada solo e camada avaliados, são decorrentes de possíveis fluxos preferenciais entre a amostra de solo e a parede interna dos cilindros volumétricos que, por sua vez, podem ser originados de defeitos do próprio cilindro ou erro operacional no momento da coleta da amostra de solo, que também podem ocasionar a compactação de amostras. Essas medidas de permeabilidade ao ar discrepantes foram removidas da análise estatística. Salientando a precisão desses dados, Silveira et al. (2011) avaliaram a permeabilidade de um Latossolo Vermelho e concluíram que a utilização do sistema automático de aquisição de dados para determinação da permeabilidade intrínseca do solo ao ar apresentou alta precisão.

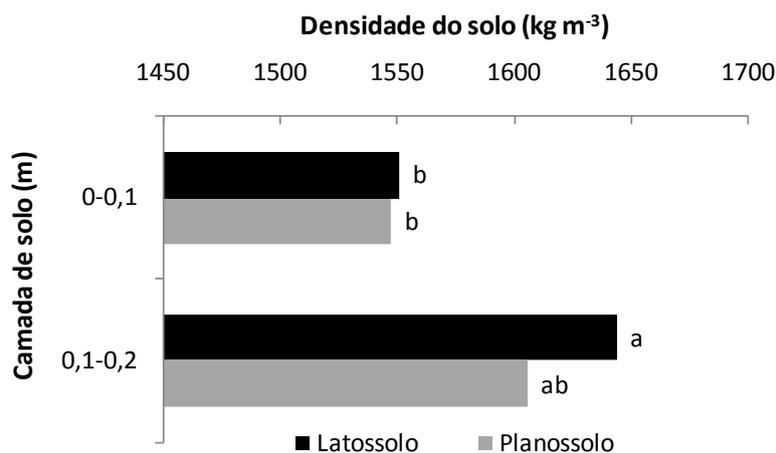
A densidade do Latossolo Vermelho Amarelo na camada de 0-0,1 m foi menor em comparação à camada de 0,1-0,2 m, enquanto para o Planossolo Háplico não houve diferença (Figura 4). A permeabilidade ao ar medida nas amostras estabilizadas na tensão de 3,0 kPa foi maior no Latossolo em comparação à do Planossolo. Entretanto, na camada de 0,1-0,2 m e na tensão 6,0

kPa, a permeabilidade do Planossolo foi maior que a do Latossolo (Figura 5).

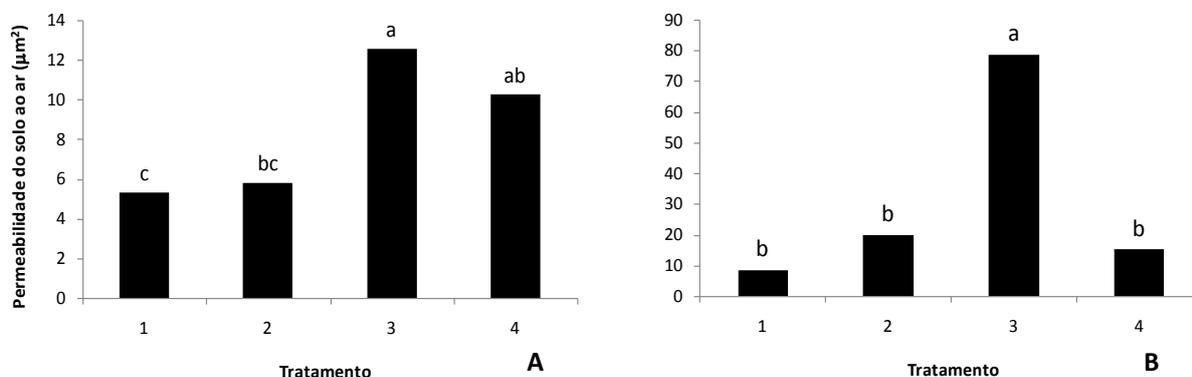
Relacionando a análise da permeabilidade em conjunto com as densidades dos solos verifica-se que a densidade do solo influencia diretamente na permeabilidade do solo ao ar, pois quando o solo possui densidade elevada, há um decréscimo na permeabilidade. Nesse sentido, Silva et al. (2009) enfatizam a importância da densidade do solo e do conteúdo de água como sendo dois fatores básicos dos quais a permeabilidade do solo ao ar depende e ambos influenciam a geometria e a continuidade do sistema poroso do solo.

Analisando a Figura 5 (A e B), observa-se que as permeabilidades ao ar medidas com amostras de solo estabilizadas na tensão de 6,0 kPa discretizaram mais os tratamentos. Isso ocorreu porque nessa tensão houve drenagem de água dos poros mais susceptíveis à degradação, ocasionando efeito de perda de volume de poros e maior tortuosidade.

A densidade do solo é um atributo com grande variabilidade temporal e pode ser modificada facilmente pelo manejo do solo, o que explica o aumento significativo da densidade do Latossolo Vermelho Amarelo na camada de 0,1-0,2 m, em função do histórico de uso de grade aradora na



**Figura 4.** Densidade do solo avaliada nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m no Planossolo Háplico e Latossolo Vermelho Amarelo. As médias foram comparadas, todas entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 5.** Permeabilidade do solo ao ar medida com amostras de solo estabilizadas nas tensões de 3 (A) e 6 kPa (B), em Planossolo Háplico nas camadas de 0-0,1 m (T<sub>1</sub>) e 0,1-0,2 m (T<sub>2</sub>) em Latossolo Vermelho Amarelo nas camadas de 0-0,1 m (T<sub>3</sub>) e 0,1-0,2 m (T<sub>4</sub>). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

mesma profundidade (~ 0,2 m). Araújo *et al.* (2004) avaliaram um Latossolo Vermelho Distrófico sob cultivo de cultura anual e também detectaram uma densidade do solo mais elevada na camada de 0-0,2 m em virtude do manejo aplicado no solo (aragem e gradagem).

A permeabilidade do Latossolo foi maior que a do Planossolo na profundidade de 0-0,1 m, nas tensões de 3,0 e 6,0 kPa. Entretanto, a permeabilidade do Planossolo foi maior que o Latossolo na profundidade de 0,1-0,2 m, nas respectivas tensões de 3,0 e 6,0 kPa.

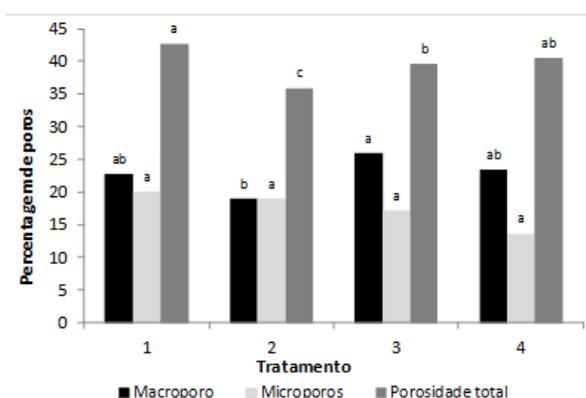
Tratando-se de manejo do solo, o sistema de semeadura direta com escarificação mecânica e descompactação biológico (nabo forrageiro)

melhorou o índice de continuidade de poros na camada de 0-0,05 m de um Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilo-arenosa, em comparação ao sistema de semeadura direta, após 18 meses (GUEDES FILHO *et al.*, 2015). Já em um Latossolo Vermelho, textura argilosa, submetido ao plantio direto com escarificação mecânica e descompactação biológica, a permeabilidade ao ar e o índice de continuidade de poros não foram sensíveis a detectar alteração na qualidade física após 18 meses devido, sobretudo, à densidade do solo inicial não ser restritiva ao desenvolvimento radicular (SILVEIRA JUNIOR *et al.*, 2012). Isso comprova, mais uma vez, que a medida da permeabilidade ao ar pode auxiliar na tomada de

decisão para o manejo do solo.

Entretanto, a ausência de revolvimento do solo entre linhas de plantio sob sistema de semeadura direta de longo prazo pode restringir a aeração do solo (SILVEIRA JUNIOR et al., 2012), enquanto a escarificação promove efeitos benéficos na camada subsuperficial do solo, principalmente em relação à porosidade de aeração (ARAÚJO et al., 2004).

Quanto à porosidade total (Figura 6), observa-se que o Planossolo e o Latossolo (camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m) diferem quanto à percentagem dos tipos de poros. No Planossolo, a porosidade total foi maior na camada superficial, entretanto, a quantidade de macro e microporos foram estatisticamente iguais. Já no Latossolo, a porosidade total, macro e microporos não diferiram.



**Figura 6.** Percentagem de poros total e macro e microporos nas camadas de 0-0,1 ( $T_1$ ) e 0,1-0,2m ( $T_2$ ) no Planossolo Háplico e nas camadas de 0-0,1 ( $T_3$ ) e 0,1-0,2m ( $T_4$ ) no Latossolo Vermelho Amarelo. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando os dois solos, observa-se que a porosidade total da camada superficial foi maior no Planossolo, não existindo diferenças quanto aos tipos de poros. Na camada subsuperficial dos solos, verifica-se que a porosidade total do Latossolo foi superior a do Planossolo e que os macro e microporos foram semelhantes. A maior porosidade total na camada superficial é devido à menor densidade do solo apresentada, principalmente para o Planossolo.

O percentual adequado da porosidade de aeração em um solo deve ser de pelo menos 10%

(GUEDES FILHO et al., 2013), devendo ter predominância de macroporos. Nota-se que os solos apresentam percentual maior que 10% de macroporos, ou seja, não existe restrição física ao crescimento das plantas.

Portanto, os solos estudados não apresentam valores de densidade e de porosidade que possa restringir o desenvolvimento das plantas, apesar das pequenas diferenças entre as densidades do solo nas duas camadas avaliadas.

## CONCLUSÕES

- A permeabilidade do solo ao ar medida com amostras drenadas sob uma tensão de 6 kPa proporciona melhor avaliação da qualidade física.
- A permeabilidade ao ar do Latossolo Vermelho Amarelo é mais elevada que a do Planossolo Háplico camada superficial, enquanto que na camada de 0,1-0,2 m, o aumento de densidade do solo no Latossolo Vermelho Amarelo provocou redução da permeabilidade, igualando-se à permeabilidade ao ar do Planossolo Háplico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; INOUE, T.T.; COSTA, A.C.S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.495-504, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300011>>. Acesso em: 26/02/2008.
- BETIOLI JUNIOR, E.; TORMENA, C.A.; MOREIRA, W.H.; BALL, B.C.; FIGUEIREDO, G.C.; SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B. Aeration condition of a clayey oxisol under long-term no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.38, p. 990-999, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300031>>. Acesso em: 28/09/2015.
- BLACKWELL, P.S.; RINGROSE-VOASE,

- A.J.; JAYAWARDANE, N.S.; OLSSON, K.A.; MCKENZIE, D.C.; MASON, W. K. The use of air-filled porosity and intrinsic permeability to air to characterize structure of macropore space and saturated hydraulic conductivity of clay soils. **Soil Science**, Baltimore, v.41, p.215-228, 1990. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1990.tb00058.x>>. Acesso em: 29/06/2008.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, **American Society of Agronomy**, 1986. 1358p.
- BRITO, A.S.; LIBARDI, P.L.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.1939-1948, 2011.
- 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 Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Flórida, v.103, p.158-164, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.10.014>>. Acesso em: 25/05/2010.
- CHAMINDU DEEPAGODA, T.K.K.; ARTHUR, E.; MOLDRUP, P.; HAMAMOTO, S.; KAWAMOTO, K.; KOMATSU, T.; DE JONGE, L.W. Modeling Air Permeability in Variably Saturated Soil from Two Natural Clay Gradients. **Soil Science Society of America Journal**, Flórida, v.77, p.362-371, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2012.0300>>. Acesso em: 23/01/2014.
- CHIEF, K.; FERRÉ, T.P.A.; NIJSSEN, B. Field testing of a soil corer air permeameter (SCAP) in desert soils. **Vadose Zone Journal**, Madison, v.5, n.4, p.1257-1263, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/vzj2006.0063>>. Acesso em: 23/10/2008.
- FAHRAN, S.; HOLSEN, T.M.; BUDIMAN, J. Interaction of soil air permeability and soil vapor extraction. **Journal of Environmental Engineering**, Virginia, v. 127, p.32-37, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2001\)127:1\(32\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2001)127:1(32))>. Acesso em: 23/09/2008.
- GUEDES FILHO, O.; BLANCO-CANQUI, H.; DA SILVA, A.P. Least limiting water range of the soil seedbed for long-term tillage and cropping systems in the central Great Plains, USA. **Geoderma**, Amsterdam, v.207-208, p.99-110, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.05.008>>. Acesso em: 20/03/2017.
- GUEDES FILHO, O.; SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A. Permeabilidade ao ar da cama de semeadura do solo em sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, p.841-851, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140169>>. Acesso em: 23/01/2016.
- HUANG, M.; ZETTL, J.D.; LEE BARBOUR, S.; PRATT, D. Characterizing the spatial variability of the hydraulic conductivity of reclamation soils using air permeability. **Geoderma**, Amsterdam, v.262, p.285-293, 2016.
- IVERSEN, B.V.; MOLDRUP, P.; LOLL, P. Runoff modelling at two field slopes: use of in situ measurements of air permeability to characterize spatial variability of saturated hydraulic conductivity. **Hydrological Processes**, Flórida, v.18, p.1009-1026, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/hyp.1455>>. Acesso em: 15/09/2008.
- IVERSEN, B.V.; MOLDRUP, P.; SCHJONNING, P.; JACOBSEN, O.H. Field Application of a Portable Air Permeameter to Characterize Spatial Variability in Air and Water Permeability. **Vadose Zone Journal**, Madison, v.2, p.618-626, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/vzj2003.6180>>. Acesso em: 15/09/2008.
- IVERSEN, B.V.; MOLDRUP, P.; SCHJONNING, P.; LOLL, P. Air and water permeability in

differently textured soils at two measurement scales. **Soil Science**, Baltimore, v.166, p.643-659, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1097/00010694-200110000-00001>>. Acesso em: 10/07/2008.

KIRKHAM, D. Field method for determination of air permeability of soil in its undisturbed state. **Soil Science Society of America Proceedings**, Flórida, v. 11, p.93-99, 1946.

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. **Elements of soil physics**. Amsterdam: Elsevier, 1999. 228p.

KUNCORO, P.H.; KOGA, K.; SATTA, N.; MUTO, Y. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water I: Relative gas diffusivity, air permeability, and saturated hydraulic conductivity. **Soil and Tillage Research**, Flórida, v.143, p. 172-179, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.02.006>>. Acesso em: 12/09/ 2015.

LIBARDI, P.L. Água no Solo. In: van LIER, Q.J. (editor). **Física do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298p.

LOLL, P.; MOLDRUP, P.; SCHJONNING, P.; RILEY, H. Predicting saturated hydraulic conductivity from air permeability: Application in stochastic water infiltration modeling. **Water Resources Research**, Flórida, v.35, p.2387-2400, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/1999WR900137>>. Acesso em: 10/07/2007.

MOLDRUP, P.; POULSEN, T.G.; SCHJONNING, P.; OLESEN, T.; YAMAGUCHI, T. Gas permeability in undisturbed soils: Measurements and predictive models. **Soil Science**, Baltimore, v.163, p.180-189, 1998.

POULSEN, T.G.; MOLDRUP, P.; SCHJONNING, P.; MASSMANN, J.W.; HANSEN, J.A. Gas permeability and diffusivity in undisturbed soil: SVE implications. **Journal of Environmental Engineering-Asce**, Baltimore, v.124, p.979-986, 1998. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1998\)124:10\(979\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1998)124:10(979))>. Acesso em: 15/06/2007.

9372(1998)124:10(979)>. Acesso em: 15/06/2007.

RAHMATI, M.; NEYSHABOURY, M.R. Soil Air Permeability Modeling and Its Use for Predicting Unsaturated Soil Hydraulic Conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.80, p.1507-1513, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2015.12.0430>>. Acesso em: 18/02/2017.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R Foundation for Statistical Computing. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna. 2015. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 20/05/2015.

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 Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.105-114, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100010>>. Acesso em: 15/05/2012.

SILVEIRA JUNIOR, S.D.; SILVA, A.P.; FIGUEIREDO, G.C.; TORMENA, C.A.; GIAROLA, N.F.B. Qualidade física de um Latossolo vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1854-1867, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600020>>. Acesso em: 25/05/2013.

SILVEIRA, L.R.; BRITO, A.S.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. Sistema de aquisição de dados para equipamento de medida da permeabilidade intrínseca do solo ao ar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.429-436, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200012>>. Acesso em: 15/01/2012.

TYNER, J.S.; WRIGHT, W.C.; LEE, J.; CRENSHAW, A.D.A. Dynamic Air Permeameter for Coarse-Textured Soil Columns and Cores. **Vadose Zone Journal**, Madison, v.4, p.428-433, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/vzj2004.0092>>. Acesso em: 03/06/2007.