

ESTIMATIVA DE VARIAÇÕES NO COEFICIENTE RELATIVO DE DIFUSÃO DOS GASES NO SOLO COM BASE NA ANÁLISE DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA

INCREMENTAL ESTIMATE IN THE RELATIVE COEFFICIENT OF GAS DIFFUSION OF SOIL BASED ON ANALYSIS OF THE SOIL WATER RETENTION CURVE

Antonio Augusto Alves Pereira¹ Décio Eugênio Cruciani²

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi verificar a possibilidade do uso da curva de retenção de água para estimar os incrementos no coeficiente relativo de difusão dos gases no solo, D_s/Do , durante o processo de drenagem em um Cambissolo. Numa primeira etapa, utilizou-se a curva de retenção de água para obter informações sobre os incrementos no espaço aéreo, durante a drenagem do solo. Verificou-se que os maiores incrementos, no espaço aéreo no solo, ocorreram no intervalo de tensão matricial de 0 a 20kPa. Na segunda etapa da pesquisa, utilizando gás metano (CH_4), estudou-se os incrementos em D_s/Do durante a drenagem, a partir da determinação do coeficiente de difusão dos gases no solo (D_s) numa célula de difusão de duas câmaras. Essas determinações foram feitas em amostras com tensão matricial de 10kPa, 20kPa e secas ao ar, ou seja, com tensão matricial maior que 1500kPa. Os resultados obtidos evidenciaram que tanto os incrementos médios no espaço aéreo, quanto os incrementos médios em D_s/Do , foram cerca de 100 vezes maiores no intervalo de tensão matricial de 0 a 20kPa, do que no intervalo de tensão matricial de 20 a 1500kPa. Concluiu-se que, a partir da análise da curva de retenção, é possível identificar o intervalo de valores de tensão matricial em que ocorrem os maiores incrementos no espaço aéreo e em D_s/Do .

Palavras-chave: drenagem, aeração do solo, difusão de gases no solo.

SUMMARY

The aim of this study was to test the possibility of using water retention curves to assess increments in the relative

coefficient of gas diffusion in the soil, D_s/Do , during the drainage process of Inceptisol soil samples. We first used a water retention curve to obtain data on increments of air-filled pore space during the drainage of soil samples. The greatest increments were found for the matric tension interval of 0 to 20kPa. Next, we studied D_s/Do increments during the drainage process, by measuring the diffusion coefficient of methane through the soil samples (D_s) within a two-chamber diffusion cell. The D_s values were measured from soil samples under 10kPa and 20kPa matric tension values in addition to an air dried sample (matric tension greater than 1500kPa). Mean increments of air porosity and D_s/Do within the 0 to 20kPa matric tension interval were 100 times greater than increments within 20 to 1500kPa interval. We concluded that the interval of matric tension in which the greatest air porosity and D_s/Do increments occur, can be identified from the water retention curve.

Key words: drainage, soil aeration, gas diffusivity.

INTRODUÇÃO

A recuperação de áreas mal drenadas para uso agrícola deve ter como principal objetivo a melhoria das condições de aeração do perfil do solo, condição essencial ao desenvolvimento de muitas espécies vegetais de interesse comercial. Portanto, a efetividade do processo de aeração é um parâmetro mais adequado para avaliar a qualidade da drenagem do que a posição do nível freático no perfil.

¹Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Adjunto, Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, CP 476, 88045-900, Florianópolis, SC. E-mail: aaap@cca.ufsc.br. Autor para correspondência.

²Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Titular, Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo.

O movimento de gases por difusão é o principal mecanismo de aeração do solo. O fluxo difusivo de um gás através de uma superfície de área unitária, na unidade de tempo, em um sistema uniaxial, num meio homogêneo, é proporcional ao gradiente de concentração dos gases, que é a força motriz do fluxo. A lei de Fick (REICHARDT, 1996) expressa essa relação da seguinte forma:

$$j = - D_o \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1)$$

em que:

j é a densidade de fluxo difusivo ($M L^{-2} T^{-1}$);

D_o é o coeficiente de difusão do gás em um meio homogêneo ($L^2 T^{-1}$);

$\partial C/\partial x$ é o gradiente de concentração do gás na direção X ($M L^{-4}$).

A razão entre o fluxo difusivo j e o gradiente $\partial C/\partial x$ fornece o coeficiente de difusão do gás num meio homogêneo, tal como o ar, por exemplo. A presença das partículas sólidas da matriz do solo e da água, ocupando os poros, faz com que o valor do coeficiente de difusão D_s de um gás no solo seja uma fração do valor do coeficiente de difusão desse mesmo gás no ar (D_o). O coeficiente D_s depende do tipo de gás que está se difundindo, da pressão, da temperatura, do espaço aéreo do solo e, com relação a este, da forma e do nível de interligação desses poros. A difusividade do solo é normalmente representada por meio do coeficiente relativo de difusão (D_s/D_o), em que os coeficientes D_s e D_o referem-se ao mesmo gás e devem ser obtidos sob as mesmas condições de pressão e temperatura. Dessa forma, tem-se um parâmetro que não depende da pressão, da temperatura ou do tipo de gás que está se difundindo, mas apenas dos atributos do meio poroso (GLINSKI & STEPNIEWSKI, 1985).

O espaço aéreo do solo (ϵ_{ar}) e o grau de interligação desses poros, ocupados com ar, influenciam fortemente o valor do coeficiente D_s/D_o . Segundo WHITE (1968), durante a drenagem de um meio poroso, o mecanismo de dessaturação ligado a fenômenos capilares estará presente até que o ar penetre em todos os poros. Depois que esse mecanismo perde sua importância, o prosseguimento da drenagem passa a depender do mecanismo de dessaturação ligado ao fenômeno de adsorção de água sobre a superfície das partículas. A distribuição de tamanho dos poros do solo não é gradual e homogênea e, em função disso, caso haja

predominância de uma classe de tamanho de poros e este conjunto de poros for drenado, haverá aumentos significativos em ϵ_{ar} e no grau de interligação de todos os poros drenados. HODGSON & MACLEOD (1989) relataram aumentos súbitos no fluxo difusivo de oxigênio através de amostras de um Vertissolo, depois que o espaço aéreo dessas amostras superou um valor crítico. Segundo esses autores, a drenagem simultânea da água retida na entrada de alguns poros grandes entre-agregados, melhorou acentuadamente a continuidade do espaço aéreo, mesmo com pequena variação no valor total do espaço aéreo. A formação de caminhos contínuos para a difusão dos gases, ocasiona redução da tortuosidade e incremento acentuado em D_s/D_o , o que em termos práticos significa melhoria das condições para as trocas gasosas no solo. Visto que a determinação de D_s/D_o a campo ou em laboratório é demorada, trabalhosa e exige equipamentos nem sempre disponíveis (SALLAM *et al.*, 1983), buscou-se uma alternativa que permita prever suas variações, com base em informações amplamente disponíveis: a curva de retenção de água no solo e valores de tensão matricial.

O objetivo desta pesquisa foi verificar a possibilidade de uso da curva de retenção de água, para estudar os incrementos no coeficiente relativo de difusão dos gases no solo, D_s/D_o , durante o processo de drenagem de amostras de um Cambissolo.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em duas etapas, cada uma com metodologia e resultados distintos. O resultado obtido na primeira etapa, decorrente da análise da curva de retenção, serviu de base para a execução da segunda etapa, e por isso é apresentado no capítulo Material e Métodos.

1ª etapa: Obtenção e análise da curva de retenção de água representativa das amostras do Cambissolo.

O solo estudado foi um Cambissolo do sul de Santa Catarina, com 44,7% de areia; 29,5% de silte e 25,8% de argila, escolhido na região por estar sendo incorporado às áreas de produção de arroz irrigado por inundação. Por estar situado em cotas mais elevadas que os solos Hidromórficos tradicionalmente trabalhados, tem sido pesquisada a viabilidade de seu uso no inverno com culturas em rotação, desde que seja possível promover uma drenagem adequada.

As curvas de retenção de água no solo foram determinadas em amostras deformadas do Cambissolo, em um equipamento denominado porosímetro de água, descrito em PEREIRA (1995).

Devido às características do modelo de célula de difusão construída, não foi possível empregar amostras com estrutura natural para a determinação de D_s/D_o , da qual se tratará na descrição da segunda etapa da pesquisa. Por essa razão trabalhou-se com amostras deformadas em todas as etapas.

Às curvas de retenção de água obtidas, ajustou-se o modelo de VAN GENUCHTEN (1980), resultando a seguinte equação representativa das amostras estudadas:

$$\theta = 0,03833 + 0,47569 [1 + (0,62957\tau_m)^{24,04394}]^{-0,01094} \quad (2)$$

em que:

θ = umidade volumétrica (m^3/m^3);

τ_m = tensão matricial (kPa);

Na figura 1, está representada uma parte da curva de retenção de água, com valor máximo de tensão matricial igual a 100kPa, pois esse valor definiu o intervalo de maior importância para o presente estudo. Do valor do conteúdo volumétrico de água da amostra saturada, determinado em laboratório, subtraíram-se os valores dos conteúdos volumétricos calculados a partir da equação (2), para valores de τ_m decrescentes, tomados a intervalos de 5kPa. Os resultados obtidos com esse procedimento foram valores do incremento percentual no espaço aéreo do solo (ϵ_{ar}), a cada 5kPa de acréscimo na

tensão matricial, representados na forma de barras na figura 1.

Pode-se observar na figura 1, que para um acréscimo da tensão de 0 a 20kPa os incrementos no valor do espaço aéreo foram elevados, e a partir desses valores de τ_m , o incremento em ϵ_{ar} tornou-se bem menos acentuado, variando em torno de 1% a cada 5kPa de incremento no valor de τ_m . Isso indica que as amostras utilizadas na determinação da curva de retenção apresentavam muitos poros drenáveis a valores de τ_m entre 0 e 20kPa.

A análise dos incrementos percentuais em ϵ_{ar} , apresentados na figura 1, permitiu estabelecer a seguinte hipótese: a entrada de ar no conjunto de poros drenados no intervalo de τ_m de 0 a 20kPa e sua interligação, formando caminhos contínuos para a difusão dos gases, deverão promover incrementos acentuados em D_s/D_o durante a drenagem.

Verificação da previsão feita a partir da análise da curva de retenção

O valor de D_s foi determinado em laboratório por meio da difusão de metano (CH_4) através de amostras do Cambissolo inseridas numa célula de difusão de duas câmaras. A figura 2 mostra um esquema simplificado da célula de difusão construída para esse fim, baseada num modelo empregado por SALLAM *et al* (1983). A descrição detalhada do método utilizado nas determinações de D_s/D_o e da célula de difusão, projetada e construída para essa pesquisa, pode ser encontrada em PEREIRA & CRUCIANI (1996) e em PEREIRA (1995). O gás metano foi utilizado por ter valores de coeficiente de difusão no ar e solubilidade em água muito próximos aos do oxigênio (GLINSKI & STEPNIIEWSKI, 1985 e SHIMAMURA, 1992) e também por que o equipamento disponível de maior sensibilidade, um cromatógrafo de gás com detector de ionização por chama, era apropriado para a análise quantitativa do metano.

As determinações de D_s foram efetuadas em amostras com umidade equilibrada a valores de τ_m iguais a 10kPa, 20kPa e numa amostra seca ao ar, com quatro repetições. Para representar numericamente o valor da tensão matricial da amostra seca ao ar, adotou-se como referência o valor 1500kPa. Os valores de D_s para o metano, determinados na célula de difusão, foram corrigidos para pressão de 101,3kPa e temperatura de 0°C, para permitir a comparação com valores obtidos em outras pesquisas. A divisão dos valores de D_s obtidos pelo valor de D_o para este mesmo gás, à mesma temperatura e pressão,

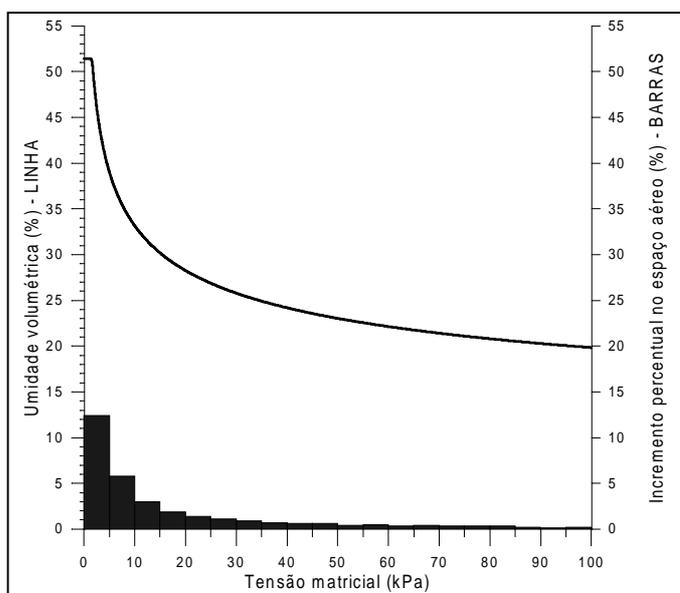


Figura 1 - Curva de retenção de água representativa das amostras do Cambissolo (LINHA) e valores de incremento percentual no espaço aéreo do solo ocorridos a cada incremento de 5kPa na tensão matricial (BARRAS). Florianópolis, 2000.

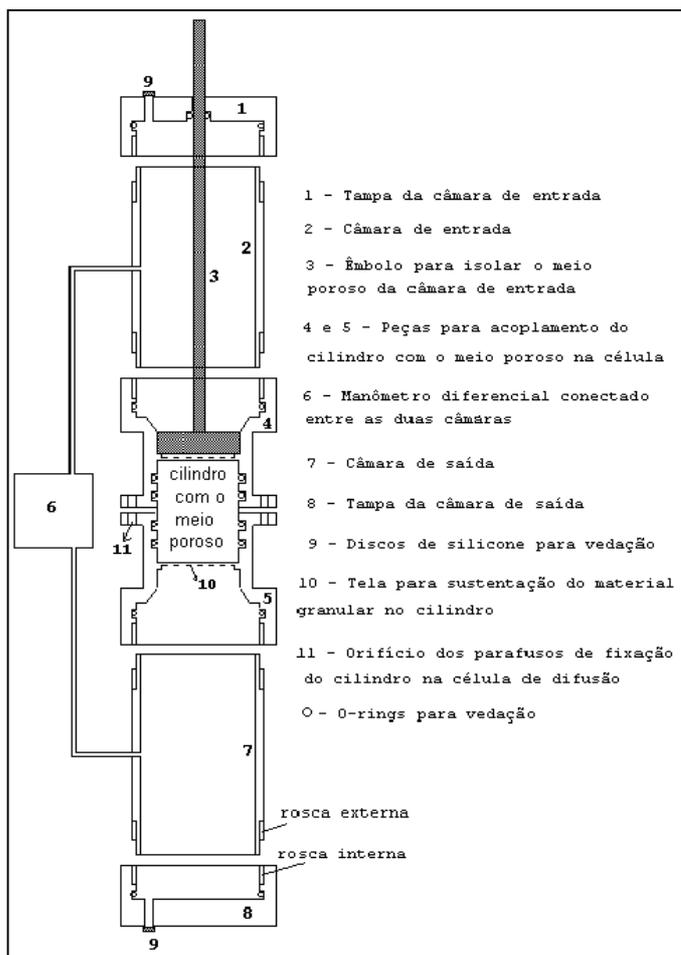


Figura 2 - Representação simplificada, em corte transversal, da célula de difusão de duas câmaras construída para a determinação de D_s/D_o .

originou o coeficiente D_s/D_o , que foi expresso em porcentagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os valores médios de densidade do solo, porosidade total e espaço aéreo das amostras utilizadas na determinação de D_s/D_o e os valores médios de D_s/D_o , determinados em laboratório, em quatro repetições. Os valores de D_s/D_o , expressos em porcentagem, mostram em que proporção o coeficiente de difusão do gás no ar (D_o) foi reduzido, devido ao aumento da resistência proporcionada pelo meio poroso. Na amostra com τ_m igual a 10kPa (menor valor de tensão matricial) e espaço aéreo ear de 15,0%, a presença de água, obstruindo poros grandes e aumentando a tortuosidade do meio, reduziu o valor de D_s para 1,10% do valor de D_o . Na

amostra com τ_m igual a 20kPa e espaço aéreo ear de 22,4%, o valor de D_s correspondeu a 3,38% do valor de D_o . Na amostra seca ao ar, o valor de D_s foi máximo, correspondendo a 11,8% do valor de D_o .

O incremento percentual médio no espaço aéreo, por unidade de acréscimo na tensão matricial, foi de 1,5% no intervalo de 0 a 10kPa, de 0,74% no intervalo de 10 a 20kPa, decrescendo para 0,0177% no intervalo entre 20 a 1500kPa. O incremento percentual médio em D_s/D_o , por unidade de acréscimo na tensão matricial, foi de 0,11% no intervalo de 0 a 10kPa, de 0,228% no intervalo de 10 a 20kPa, decrescendo para 0,00569% no intervalo entre 20 a 1500kPa. Verifica-se que tanto o incremento percentual médio no espaço aéreo, como o incremento percentual médio em D_s/D_o foram bastante elevados nos dois primeiros intervalos de tensão matricial, ficando até 100 vezes menores no intervalo de 20 a 1500kPa. Esse resultado está em acordo com a hipótese estabelecida, pois a análise da curva de retenção mostrou que, devido à distribuição de poros por tamanho desse solo, ocorrem elevadas taxas de incremento no espaço aéreo quando a tensão matricial aumenta de 0 para 20kPa. Em consequência, a taxa de incremento de D_s/D_o por unidade de acréscimo na tensão matricial também deveria ser elevada nesse intervalo de tensão matricial. Resultados obtidos por CURRIE (1984), trabalhando com agregados de 1 a 2mm de diâmetro, provenientes de um solo franco argiloso, mostraram que a drenagem do conjunto de poros entre-agregados ocasionou aumentos muito mais expressivos em D_s/D_o do que a drenagem dos poros intra-agregados. SHIMAMURA (1992), trabalhando com amostras

Tabela 1 - Valores médios de densidade do solo, porosidade total, espaço aéreo e do coeficiente relativo de difusão dos gases no solo (D_s/D_o), das amostras do Cambissolo, submetidas a três níveis de tensão matricial, em quatro repetições. Florianópolis, 2000.

Variável	Tensão matricial (kPa)		
	10	20	1500 (seco ao ar)
Densidade do solo (g/cm^3)	1,26	1,21	1,26
Porosidade total (% em volume)	50,7	52,6	50,9
Espaço aéreo (% em volume)	15,0	22,4	48,6
D_s/D_o (%)	1,10	3,38	11,8

Obs: Valores de D_s e de D_o corrigidos para pressão de 101,3 kPa e temperatura de 0 °C (PEREIRA, 1995).

de areia de granulometria diferente, verificou que o valor de D_s/D_o mantinha-se próximo de zero até que o espaço aéreo atingisse um valor crítico, e a partir daí a relação ear versus D_s/D_o tornava-se crescente e linear. Esses resultados confirmam que há um conjunto de poros importantes para o estabelecimento de caminhos contínuos com ar no meio poroso, e que sua drenagem é mais efetiva para o incremento de D_s/D_o que a dos demais poros.

Visto que D_s/D_o é um indicador da condição existente para o processo de aeração, pode-se inferir que nas posições do perfil do Cambissolo estudado, nas quais o valor da tensão matricial permanece menor que 20kPa, mesmo após o rebaixamento do nível freático, deverá haver restrições para que o processo de aeração ocorra satisfatoriamente. Com base nessa afirmação, pode-se adotar equipamentos de medição do potencial da água no solo, tais como tensiômetros, para monitorar a eficiência de redes de drenagem visando à melhoria das condições para a aeração do solo.

CONCLUSÕES

Nos intervalos de tensão matricial em que foram identificadas as maiores taxas de incremento no espaço aéreo, a partir da análise da curva de retenção de água do solo, ocorreram também os maiores incrementos no valor do coeficiente relativo de difusão D_s/D_o .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CURRIE, J.A. Gas diffusion through soil crumbs: the effects of compaction and wetting. *Journal of Soil Science*, v.35, p.1-10, 1984.
- GLINSKI, J., STEPNIEWSKI, W. *Soil aeration and its role for plants*. Boca Raton : CRC, 1985. 229p
- HODGSON, A.S., MACLEOD, D.A. Use of oxygen flux density to estimate critical air-filled porosity of a vertisol. *Soil Sci Am J*, Madison, v.53, p.355-361, 1989.
- PEREIRA, A.A.A. **Estudo das variações na difusividade do solo aos gases durante processos de drenagem**. Piracicaba – SP, 1995. 132p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, E.S.A. Luiz de Queiróz, USP, 1995.
- PEREIRA, A.A.A., CRUCIANI, D.E. Modelo de célula de difusão de duas câmaras para determinação do coeficiente de difusão do solo para gases. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, 1996, Campinas, SP. *Anais...* Brasília : ABID, 1996. p.614-628. 652p.
- REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas** 2. ed. Piracicaba : USP/ESALQ, Depto de Física e Meteorologia, 1996. 513p.
- SALLAM, A.; JURY, W.A., LETEY, J. Measurement of gas diffusion coefficient under relatively low air-filled porosity. *Soil Sci Soc Am J*, Madison, v.48, p.3-6, 1983.
- SHIMAMURA, K. Gas diffusion through compacted sands. *Soil Science*, v.153, p.274-279, 1992.
- WHITE, N.F. **The desaturation of porous materials**. Fort Collins, 1968. 113p. Tese (PhD –Civil Eng.) - Civil Engineering Dept, Colorado State University, 1968.
- VAN GENUCHTEN, M.TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci Soc Am J*, Madison, v.44, p.892-898, 1980.