

***INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO SIMPLIFICADO PARA O
DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE FÍSICA DE LATOSSOLO
VERMELHO SOB DIFERENTES MANEJOS***

***LEAST LIMITING WATER RANGE SIMPLIFIED IN
DIAGNOSING THE PHYSICAL QUALITY OF RED LATOSOL
UNDER DIFFERENT LAND***

***ÉRIKA ANDRESSA DA SILVA¹, MARIANY ISABELA SOARES
DOMINGUES², PEDRO ANTÔNIO NAMORATO BENEVENUTE³***

RESUMO

A avaliação da qualidade do solo exige o estabelecimento de indicadores e valores críticos ou de referência para estes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho muito argiloso sob diferentes usos do solo, utilizando um modelo simplificado do intervalo hídrico ótimo (IHO), cuja modelagem empregou apenas dados de umidade volumétrica obtidas nos potenciais matriciais relacionados à capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha permanente (θ_{PMP}). Para o estudo, amostras indeformadas de solo foram coletadas em quatro repetições, nas camadas de 0-5 cm e 20-25 cm de fragmento florestal, campo de milho, cafezal e pastagem. Amostras foram submetidas ao potencial matricial de -6 kPa em unidades de sucção para obtenção da CC, também referida como microporosidade do solo, e ao potencial matricial de -1500 kPa em câmaras de Richards para obtenção do PMP. Após o equilíbrio ser alcançado em cada potencial matricial, as amostras foram submetidas ao teste de resistência à penetração. O IHO foi obtido a partir do ajuste do teor de água em função da densidade do solo. O modelo simplificado do IHO permitiu distinguir os efeitos dos usos do solo sobre sua qualidade física. O solo sob pastagem apresentou o menor IHO.

Palavras chave: água disponível; indicador de qualidade física; modelagem.

ABSTRACT

Assessing soil quality demands the establishment of indicators and critical or reference values for these. The aim of this study was to evaluate the structural quality of a very clayey Red Latosol (Ustox) under different land uses using like quality index a simplified model least limiting water range (LLWR), whose modeling has employed only data of the volumetric content obtained in the matrix potential related to field capacity (θ_{FC}) and permanent wilting point (θ_{PWP}). For the study, undisturbed soil samples were collected in four repetitions, at

depths of 0-5 cm and 20-25 cm of a forest fragment, a maize field, a coffee plantation and a cattle pasture. Samples was subjected to matric potential of -6kPa in suction units to obtain FC, also referred to as microporosity of soil, while the other four samples matric potential of -1500 kPa in Richards chambers to obtaining of the PWP. After equilibrium being reached in each matric potential, the samples were subjected to the penetration resistance test. The LLWR was obtained from the adjustment of the water content as a function of soil density. The simplified model of the LLWR allowed distinguishing the effects of land use on their physical quality. The soil under pasture showed the lowest LLWR.

Keywords: available water; physical quality indicator; modeling.

INTRODUÇÃO

O conceito de qualidade do solo está relacionado ao cumprimento de suas funções. Em ambientes naturais, as funções do solo podem ser consideradas principalmente ambientais, uma vez que desempenham um papel importante nos ciclos da água e nutrientes, na vida ecológica, sustentando a biodiversidade. Nos ecossistemas agrícolas solos devem desempenhar funções produtivas.

A avaliação da qualidade do solo exige o estabelecimento de indicadores e valores críticos ou de referência para estes (ARSHAD; MARTIN, 2002). Alguns indicadores clássicos da qualidade física do solo, ainda amplamente empregados, incluem a densidade do solo, porosidade e capacidade de água disponível (REYNOLDS et al., 2009). Mas, nos últimos anos, outros indicadores têm sido propostos, como o Intervalo hídrico ótimo (IHO) (SILVA, KAY e PERFECT, 1994), que representa uma evolução do conceito de água disponível.

O termo IHO refere-se à umidade do solo sob condições tais que, em teoria, as restrições físicas ao desenvolvimento das plantas são mínimas (BLAINSKI et al., 2009). A amplitude do IHO depende da estrutura e textura do solo (TORMENA, SILVA e LIBARDI, 1998). Quando o solo possui estrutura ideal para o desenvolvimento das plantas, os limites superior e inferior do IHO são respectivamente capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), que correspondem ao teor de água disponível (SILVA et al., 2014). No entanto, quando a estrutura do solo é degradada, esses limites são substituídos por

porosidade de aeração (θ_{PA}) e resistência á penetração (θ_{RP}), reduzindo o IHO (LIMA et al., 2012; SERAFIM et al., 2013).

O IHO demonstrou alta sensibilidade para avaliação das mudanças estruturais causadas pelo uso e manejo da terra, tendo sido validado em diferentes classes de solos, sendo, portanto, uma boa ferramenta para o diagnóstico da qualidade física do solo (SERAFIM et al., 2013; CHEN, WEIL e HILL, 2014; SAFADOUST et al., 2014).

No entanto, na modelagem padrão do IHO, são utilizados dados de umidade volumétrica determinadas em uma ampla gama de potenciais matriciais (-4, -6, -10, -33, -100, -500 e -1500 kPa), o que torna a análise muito demorada, juntamente com um grande esforço de amostragem na coleta de campo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho muito argiloso sob diferentes usos, utilizando como índice de qualidade um modelo simplificado IHO, cuja modelagem empregou apenas dados de umidade volumétrica obtidas nos potenciais matriciais relacionados aCC e PMP.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrições das áreas experimentais

O estudo foi realizado no município de Lavras, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. O clima local é definido como Cwa (sistema de classificação climática de Köppen), mesotérmico com verão chuvoso e inverno seco; com precipitação média anual normal de 1530 mm e temperatura média anual normal de 19,4 ° C (DANTAS, CARVALHO e FERREIRA, 2007).

As áreas experimentais estão sob Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) classificado conforme Santos et al. (2018). Foram selecionadas quatro áreas sobre este solo para estudo, sendo uma área de fragmento florestal e três sob manejo: pastagem, lavoura de café e de milho.

A pastagem de capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) foi estabelecida no verão de 2007, sendo intensivamente pastejada desde então com pouca reposição de nutrientes. No momento da amostragem, os sinais iniciais de

degradação das pastagens puderam ser vistos, como menor rendimento de forragem e infestação de plantas daninhas.

A área de vegetação natural correspondeu a um fragmento de Mata Atlântica sazonal, semi-decídua e secundária, com sinais de perturbação antrópica, como a infestação de capim exótico (*Melinis minutiflora*).

A plantação de café (*Coffea arabica* cv. Icatu Vermelho) foi estabelecida em 1998 e o espaçamento adotado foi de 3,0 m entre linhas de plantas e 0,7 m entre plantas na mesma linha. A plantação de milho foi conduzida em sistema plantio direto. A caracterização física e química para as camadas avaliadas (0-5 cm e 20-25 cm) de cada sistema de manejo encontram-se na tabela 1.

Tabela 1- Caracterização física e química do solo nas camadas avaliadas de cada sistema de manejo.

Uso Solo	pH	SB	t	T	P	MOS	Areia	Silte	Argila	Dp
		-----	cmol _c dm ⁻³	-----	mg dm ⁻³	-----	g kg ⁻¹	-----		Mg m ⁻³
0-5 cm										
Cafeeiro	5,7	4,7	4,8	9,7	10,2	46	146	80	774	2,75
Floresta	4,8	0,7	1,5	9,5	0,8	37	171	132	697	2,82
Milho	5,3	3,0	3,2	8,6	51,9	46	98	101	801	2,85
Pastagem	6,0	3,7	3,8	6,9	2,0	43	157	79	764	2,76
20-25 cm										
Cafeeiro	5,1	1,4	2,0	9,3	1,1	37	163	64	773	2,76
Floresta	5,0	0,4	1,4	9,2	0,8	33	165	108	727	2,84
Milho	4,6	0,5	1,2	7,6	9,1	29	87	83	830	2,96
Pastagem	5,6	2,1	2,2	5,3	0,8	38	158	64	778	2,77

SB: soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺); t: CTC efetiva (SB + Al³⁺); T: CTC potencial (SB + H+ Al³⁺); P: fósforo; MOS: matéria orgânica do solo; Dp: densidade de partículas.

Para a caracterização química (Tabela 1), foram determinados os valores de pH em água e os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, P, H+Al, Al³⁺, segundo Donagema et al. (2011). Para a determinação dos cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺), foi realizada a extração com solução de KCl 1 mol L⁻¹ (proporção solo:solução 1:10) sendo Ca²⁺ + Mg²⁺ e o Ca²⁺ determinados por complexometria. O Mg²⁺ foi obtido pela diferença do Ca²⁺ + Mg²⁺ e o Ca²⁺. O Al³⁺ foi determinado por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹ como titulante e azul de bromotimol como indicador. Potássio trocável (K⁺) e P assimilável foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ (proporção solo: solução 1:10). O K⁺ foi determinado por

fotometria de chama e o P assimilável foi determinado por colorimetria. A acidez potencial do solo (H + Al) foi extraído com solução de acetato de cálcio ($\text{Ca}(\text{OAc})_2$) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7 e determinada por titulação com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. Já o pH em água, foi determinado potenciométricamente na suspensão solo-líquido de 1:2,5, com tempo de contato de 1 hora com agitação da suspensão antes da leitura.

Amostragem e Análises laboratoriais

Após a remoção cuidadosa da vegetação e da serrapilheira da superfície do solo, os anéis de solo (diâmetro de 6,35 cm e altura de 2,5 cm) foram coletados, nas camadas de 0-5 cm e 20-25 cm, com um amostrador de Uhland e, em seguida, envoltos em filme plástico e rotulados. Os anéis de solo foram preparados no laboratório, sendo que o excesso de solo foi cuidadosamente aparado, para que o volume de solo correspondesse ao volume do cilindro.

O excesso de solo retirado dos anéis foi passado em peneira de 2 mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA), que foi utilizada para fazer a caracterização física do solo (Tabela 1).

Para determinação da textura foi utilizada metodologia da pipeta (DONAGEMA et al., 2011) e densidade de partículas pelo método do balão volumétrico modificado (GUBIANI, REICHERT e REINERT, 2006).

A microporosidade foi determinada como sendo o volume de água retido a -6 kPa na unidade de sucção; enquanto macroporosidade foi calculada como a diferença entre porosidade total e microporosidade (DANIELSON; SUTHERLAND, 1986). O teor de água no PMP foi determinado como a água retida a -1500 kPa nos extratores de placa porosa (CASSEL; NIELSEN, 1986). Após atingirem o equilíbrio em cada potencial, as amostras foram pesadas e, em seguida, foi determinada a resistência à penetração (RP) utilizando um penetrômetro eletrônico descrito por Tormena, Silva e Libardi (1998). Em seguida, as amostras foram secas em estufa a $\pm 105 \text{ }^\circ\text{C}$, por 24 h, para a determinação da umidade volumétrica (θ) e densidade do solo (D_s) (BLAKE; HARTGE, 1986).

Para a determinação do Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), foram ajustados modelos matemáticos para a curva de retenção de água (CRA) e a curva de

resistência do solo à penetração (CRS). A CRA foi expressa pela relação entre θ e Ψ , incorporando a D_s ao modelo (SILVA, KAY e PERFECT, 1994) (Equação 1):

$$\theta = a\Psi^b D_s^c \quad (1)$$

em que θ : conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ψ : potencial da água no solo em módulo (MPa); D_s : densidade do solo (Mg m^{-3}) e a , b , c : são os coeficientes obtidos no ajuste dos dados à equação 1.

Para a CRP, foi realizado ajuste ao modelo não linear proposto por (BUSSCHER, 1990), com os dados de resistência à penetração em função do conteúdo de água e da densidade do solo (Equação 2):

$$RP = d\theta^e D_s^f \quad (2)$$

em que RP: resistência do solo à penetração (MPa); D_s : densidade do solo (Mg m^{-3}) e d , e , f são os coeficientes obtidos no ajuste dos dados à equação 2.

O IHO foi calculado segundo método proposto em Silva, Kay e Perfect (1994). Os limites críticos de conteúdo de água para a planta foram associados à capacidade de campo (θ_{CC}), atribuída ao θ estimado no potencial de -6 kPa ou o θ em que a porosidade de aeração é de $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (θ_{PA}), para o limite superior do IHO, e o ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), estimado pelo θ no potencial de -1500 kPa ou o θ em que a resistência à penetração de raízes é crítica (θ_{RP}), para limite inferior. Para cada valor de D_s , θ_{CC} e θ_{PMP} foram obtidos por estimativa, por meio da CRA (equação 1), enquanto θ_{PA} foi calculado conforme equação 3, e θ_{RP} obtida pela CRP, reescrita na equação 4.

$$\theta_{PA} = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) - 0,1 \quad (3)$$

$$\theta_{RP} = \left(\frac{RP}{d.D_s^f}\right)^{\frac{1}{e}} \quad (4)$$

Nesse trabalho adotou-se 2 MPa como limite crítico de RP e $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ para densidade de partículas (D_p). Determinou-se o IHO utilizando como limite superior o menor valor de θ entre θ_{PA} e θ_{CC} e, como limite inferior, o maior valor de θ entre θ_{PMP} e θ_{RP} , conforme Silva, Kay e Perfect (1994). Os ajustes da CRA e CRS foram realizados através dos algoritmos propostos em planilhas eletrônicas (Microsoft

Excel®) por Leão e Silva (2004). Os gráficos foram plotados por meio do programa Sigma Plot®10.0 (Systat software, Inc.).

Análises estatísticas

O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, considerando um esquema fatorial 4x2 (4 níveis para manejo e 2 níveis para profundidades) em 4 repetições, totalizando 32 amostras. Antes de conduzir a análise de variância (ANOVA), os dados de atributos físicos: densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilks e Hartley para avaliação das condições de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Atendidos os pressupostos da ANOVA, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott (5%), com o auxílio do programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos físicos do Solo

Para os atributos físicos Ds, micro e PT foram observadas interações entre manejos e profundidades. Macro e RP apresentaram diferenças apenas entre os usos do solo (Tabela 2).

Tabela 2 - Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) e resistência à penetração (RP) para diferentes usos e camadas do solo.

Camada (cm)	Cafeeiro	Pastagem	Milho	Floresta
Ds (Mg m ⁻³)				
0-5	1,00 Ba	1,07 Aa	1,04 Ba	0,86 Cb
20-25	1,03 Ba	1,08 Aa	1,04 Ba	0,93 Ca
PT (m ³ m ⁻³)				
0-5	0,67 Ba	0,61 Ba	0,64 Bb	0,74 Aa
20-25	0,66 Aa	0,63 Ba	0,67 Aa	0,67 Ab
Micro (m ³ m ⁻³)				
0-5	0,41 Aa	0,39 Aa	0,39 Aa	0,40 Aa
20-25	0,40 Aa	0,40 Aa	0,42 Aa	0,33 Bb
Macro (m ³ m ⁻³)				
0-5	0,26 Ba	0,22 Ba	0,25 Ba	0,34 Aa

Camada (cm)	Cafeeiro	Pastagem	Milho	Floresta
20-25	0,26 Ba	0,23 Ba	0,25 Ba	0,34 Aa
RP -6 kPa (MPa)				
0-5	0,48 Ba	0,64 Aa	0,29 Ba	0,26 Ba
20-25	0,44 Ba	0,71 Aa	0,37 Ba	0,33 Ba

Médias seguidas por mesma letra (maiúsculas na linha comparando manejos na mesma profundidade e minúsculas na coluna comparando profundidades do mesmo sistema de manejo) não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

A Ds foi menor no solo sob floresta quando comparado aos demais usos do solo, ou seja, os solos manejados exibiram um estado de compactação maior (>Ds) em comparação ao solo sob floresta, embora os valores de Ds observados não possam ser considerados prejudiciais para o crescimento das plantas. Conforme descrito por Silva et al.(2017), Matias et al. (2009), avaliando a qualidade física de um Latossolo sob pastagem, milho e mata nativa, identificaram significativas mudanças estruturais decorrentes do uso e manejo do solo quando utilizados como ferramentas diagnósticas indicadores de qualidade física como Ds e Macro.

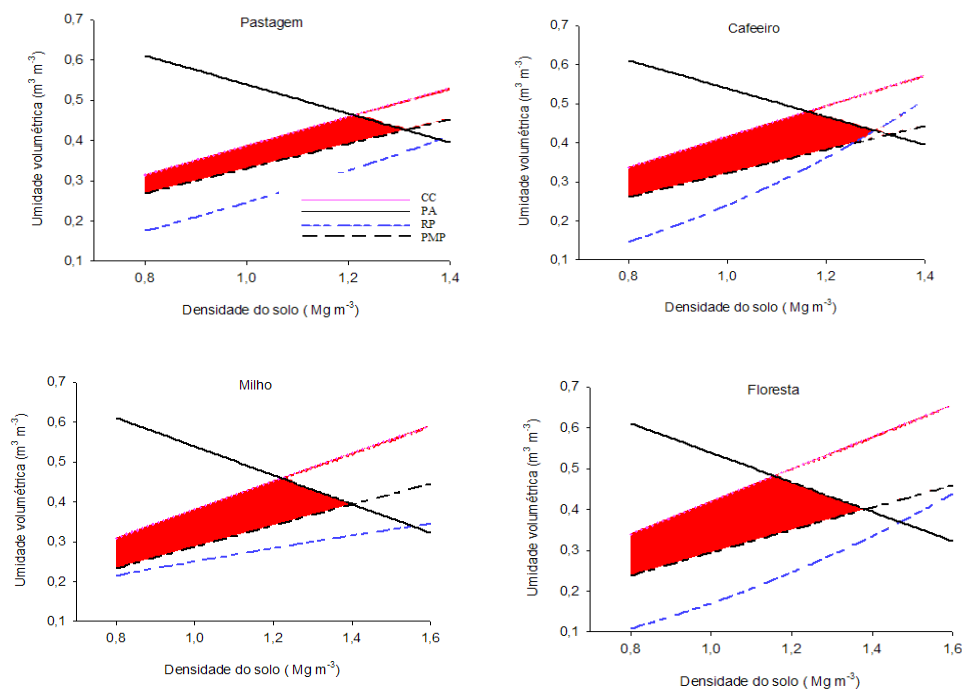
Os valores de macro, independente do uso da terra foram superiores ao nível considerado crítico ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para o desenvolvimento das plantas (ANDRADE; STONE, 2009). Macro foi superior no solo sob floresta, o que pode estar relacionada à maior massa radicular proporcionada pela vegetação e possíveis canais (bioporos) resultantes da decomposição e renovação dessas raízes (LIMA et al., 2012), associados à atividade biológica intensa da mesofauna, altos níveis de carbono orgânico, as acumulações de materiais e boas propriedades de agregação que esse ambiente não antropogênico possui naturalmente (SILVA et al., 2017). Em relação ao solo sob floresta, nos sistemas de manejo observou-se uma redução da macro e aumento dos microporos, o que provavelmente se deve ao incremento na densidade do solo observada nos solos sob cultivo.

As diferenças nos resultados de RP obtidos no potencial matricial de -6 kPa entre os usos do solo foram significativas. Corroborando com os maiores valores de densidade do solo, o solo sob pastagem apresentou maiores valores de resistência à penetração (Tabela 2). Os valores de RP observados neste trabalho ficaram abaixo de 2 MPa, considerado por muitos autores, como sendo crítico para o desenvolvimento bem sucedido das plantas (REYNOLDS et al., 2002).

Intervalo hídrico ótimo

O IHO é representado pelas áreas coloridas nos gráficos. A θ_{CC} é o limite superior do IHO até a D_s de 1,20; 1,16; 1,20 e 1,18 $Mg\ m^{-3}$ para Pastagem, Café, Milho e Floresta, respectivamente. Após esses valores de D_s , a θ_{PA} reduz a amplitude do IHO em seu limite superior (Figura 1).

Figura 1 - Intervalo hídrico ótimo para a profundidade de 0-5 cm de um Latossolo sob diferentes usos.



Verificou-se que somente no manejo com cafeeiro, a θ_{RP} tornou-se o limite inferior do IHO, substituindo o θ_{PMP} a partir de um valor de D_s de 1,24 $Mg\ m^{-3}$. Portanto, a θ_{PA} é o fator mais limitante ao desenvolvimento das raízes das plantas. Em solos compactados, a θ_{PA} pode restringir o IHO (LAPENet al., 2004), prejudicando o crescimento e o desenvolvimento das plantas pela redução da difusão de O_2 .

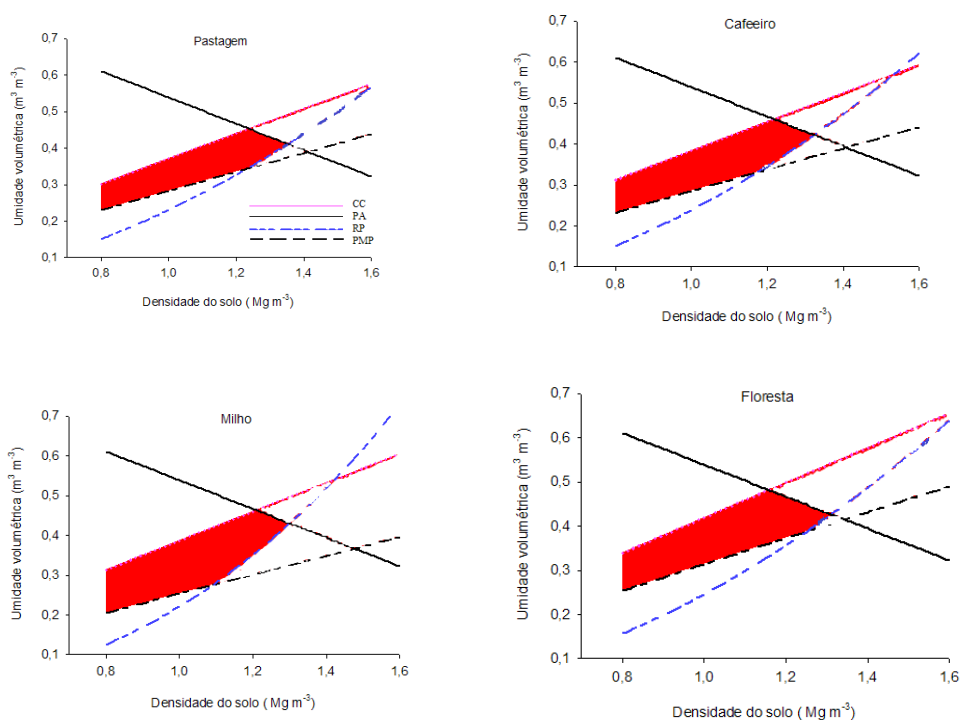
Em relação ao solo sob floresta, o solo sob pastagem apresentou o menor IHO. Ressalta-se que quanto menor o IHO, maior a probabilidade de ocorrência de limitações físicas para o crescimento das raízes no solo (SILVA; KAY, 1997). Tais resultados observados no solo sob pastagem refletem a compactação ocasionada pelo pisoteio animal. Isto porque a pressão exercida pelos cascos dos animais resulta na compactação superficial do solo com conseqüente aumento da densidade

do solo (D_s), redução da porosidade do solo e do IHO (GIAROLA, TORMENA e DUTRA, 2007). Assim, a redução na amplitude do IHO também afeta negativamente o desenvolvimento do sistema radicular das plantas cultivadas que crescem pelos espaços dos macroporos (SILVA et al., 2016).

Corroborando com os resultados observados neste trabalho, Leão et al. (2006), utilizando como indicador o IHO também demonstraram a sensibilidade desta ferramenta para detectar a influência do pastejo animal excessivo na estrutura do solo. Araújo et al. (2004) ao estudar um Latossolo da região do Cerrado Mineiro sob vegetação nativa e sob solo cultivado com cafeeiros, observaram que houve redução do IHO no solo cultivado em relação a condição natural (Figuras 1 e 2).

Por outro lado, na camada de 20-25 cm, após a D_s de $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$, para os diferentes usos da terra: Floresta, Café, e Pastagem, respectivamente, a θ_{RP} tornou-se o fator mais restritivo para o desenvolvimento das plantas. Para o milho, a θ_{RP} tornou-se o fator mais restritivo do IHO no valor de D_s de $1,15 \text{ Mg m}^{-3}$ (Figura 2). A resistência à penetração é a propriedade física que mais frequentemente reduz o IHO (TORMENA et al., 2007; ZOU et al., 2000).

Figura 2 - Intervalo hídrico ótimo para a profundidade de 20-25 cm de um Latossolo sob diferentes usos.



Em ambas as camadas (0-5 cm e 20-25cm) com o aumento da D_s , observou-se que ocorre um acréscimo no θ_{PMP} (figuras 1 e 2), sendo este fato atribuído ao aumento do número de partículas disponíveis para a retenção de água por unidade de volume de solo, decorrente do processo de compactação (van den Berg et al., 1997).

A retenção de água pode ser elevada pelo aumento da densidade do solo, devido à redistribuição do tamanho dos poros, incrementando os microporos, que retêm a água com maior intensidade (GUEDESFILHO, BLANCO-CANQUI e SILVA, 2013). Segundo Resende et al. (2014), uma compactação leve também poderia aumentar a água disponível para as plantas, pois uma maior proximidade entre as partículas do solo resulta em poros menores com maior capilaridade do que os poros maiores típicos de Latossolos com macroestrutura granular.

CONCLUSÕES

O modelo simplificado do intervalo hídrico ótimo (IHO), cuja modelagem empregou apenas dados de umidade volumétrica obtidas nos potenciais matriciais relacionados à capacidade de campo (θ_{CC}) e ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) se mostrou eficiente para distinguir os efeitos dos usos do solo sobre sua qualidade física.

A redução do IHO foi mais acentuada no solo sob pastagem, demonstrando sua maior degradação sob esse uso e manejo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R.S.,STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13 (4), 382-388, 2009.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa.**Revista Brasileira Ciência do Solo**, 28(2), 337-345, 2004.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture Ecosystems & Environment**, 88 (2), 153-160, 2002.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to common water content. **Transactions of ASAE**, 33 (2), 519-524, 1990.

CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field Capacity and Available Water Capacity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods**. 2. ed. Madison: ASA/SSSA, 901-926, 1986.

CHEN, G., WEIL, R.R., HILL, R.L. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. **Soiland Tillage Research**, 136 (1), 61-69, 2014.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, 31(6):1862-1866, 2007.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L.; POROSITY. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods**. 2. ed. Madison: ASA/SSSA. 443-461, 1986.

DONAGEMA, G. K., CAMPOS, D. V. B., CALDERANO, S. B., TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. (2a ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, 35(6):1039-1042, 2011.

GUEDESFILHO, 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**, 207-208(1), 99-110, 2013.

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31, 863-873, 2007.

GUBIANI, P. I., REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37(1): 1-10, 2013.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26 (4), 857-867, 2002.

LAPEN, D. R., TOPP, G. C., GREGORICH, E. G.; CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. **Soil and Tillage Research**, 78 (2), 151-170, 2004.

LEÃO, T.P., SILVA, A.P., MACEDO, M.C.M., IMHOFF, S., EUCLIDES, V.P.B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil and Tillage Research**, 88, 279–285, 2006.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P. Da.A simplified Excel® algorithm for estimating the least limiting water range of soils. **Scientia Agrícola**, 61 (6), 649–654, 2004.

LIMA, V.M.P.; OLIVEIRA, G.C., SERAFIM, M.E., CURI, N.; EVANGELISTA, A.R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(1), 71-78, 2012.

MATIAS, S. S. R., BORBA, J.A., TICELLI, M., PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agrônômica**, 40(3), 331-338, 2009.

RESENDE, M., CURI, N., REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. (6a ed.). Lavras: Editora UFLA, 2014.

REYNOLDS, W.D., BOWMAN, B.T., DRURY, C.F., TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, 110(1-2), 131-146, 2002.

REYNOLDS, W.D., DRURY, C. F., TAN, C. S., FOX, C. A.; YANG, X. M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, 152(3-4), 252–263, 2009.

SAFADOUST, A., FEIZEE, P., MAHBOUBI, A.A., GHARABAGHI, B., MOSADDEGHI, M.R., AHRENS, B. Least limiting water range as affected by soil texture and cropping system. **Agricultural Water Management**, 136 (1), 34–41, 2014.

SANTOS, H. A., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A., CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. (5a ed.). Brasília: Embrapa Solos, 2018.

SERAFIM, M.E., OLIVEIRA, G.C., VITORINO, A.C.T., SILVA, B.M.; CARDUCCI, C.E. Qualidade física e intervalo hídrico ótimo em Latossolo e Cambissolo, cultivados com cafeeiro, sob manejo conservacionista do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37(3), 733–742, 2013.

SILVA, É. A., BENEVENUTE, P. A. N.; MELO, L. B. B. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos de curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e “índice S”. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, 11(4), 49-54, 2017.

SILVA, E.A.; SILVA, S.H.G.; OLIVEIRA, G.C.; CARDUCCI, C.E. Root spatial distribution in coffee plants of different ages under conservation management system. **African journal of agricultural research**, 11 (49), 4970-4978, 2016.

SILVA, B.M., SILVA, É.A. DA, OLIVEIRA, G.C. DE, FERREIRA, M.M., SERAFIM, M.E. Plant-available soil water capacity: Estimation methods and implications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38, 464–475, 2014.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Effect of soil water content variation on the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, 6, 884-888, 1997.

SILVA, A.P., KAY, B.D., PERFECT, E. Characterization of the Least Limiting Water Range of Soils. **Soil Science Society of American Journal**, 58 (6), 1775–1781, 1994.

TORMENA, C.A., ARAUJO, M.A., FIDALSKI, J., COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31, 211-219, 2007.

TORMENA, C.A., SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22 (4), 573–581, 1998.

VAN DEN BERG, M; KLAMT, E.; VAN REEUWIJK, L.P.; SOMBROEK, W.G. Pedo transfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferral soils and related soil. **Geoderma**, 78:161-180, 1997.

ZOU, C., SANDS, R., BUCHAN, G., HUDSON, I. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal Soil Research**. 38, 947–958, 2000.

AUTORES:

Érika Andressa da Silva, Graduada em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Mestre e Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras. Docente da Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG) – Campus Passos. E-mail: erika.silva@uemg.br.

Mariany Isabela Soares Domingues, Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Bolsista de Iniciação Científica CNPq. E-mail: mariany.domingues1@estudante.ufla.br

Pedro Antônio Namorato Benevenuto, Graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras. Doutorando em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras. E-mail: benevenutepedro@gmail.com