

DENSIDADE DO SOLO E DENSIDADE RELATIVA DE UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A DIFERENTES USOS

Elaine Novak¹, Laércio Alves de Carvalho¹, Leonardo Lima dos Santos¹, Isabella Doreto Hernando¹, Elói Panachuki²

¹Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) - Cidade Universitária de Dourados, MS - Caixa postal 351-79804-970, Dourados, Mato Grosso do Sul. elainenovak_@hotmail.com; laercio@uems.br; leo.limaengambiental@gmail.com; isadoreto@gmail.com; eloip@uems.br.

²Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) - Cidade Universitária de Aquidauana, MS. Rodovia Aquidauana/UEMS-km 12.

A compactação do solo tem se destacado em nível mundial como sendo um dos fatores limitantes da qualidade física do solo, sendo resultante da perda da estabilidade estrutural devido ao declínio da matéria orgânica do solo associada ao intenso uso. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade física com base nos valores de densidade do solo e densidade relativa em diferentes usos. Foram avaliadas dez áreas localizadas em uma propriedade privada rural no Estado de Mato Grosso do Sul, sendo sete áreas em restauração ecológica, uma remanescente de vegetação nativa e uma área de cultivo de cana-de-açúcar. Amostras indeformadas foram coletadas nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m e deformadas na camada de 0,00-0,20 m, seguindo o delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), adotando-se a comparação múltipla de médias, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Os resultados obtidos mostraram que os remanescentes de vegetação nativa e as áreas em restauração ecológica (REC1 e REC7) apresentam menores valores de densidade e densidade relativa do solo, o que pode refletir em menor compactação do solo quando comparado às demais áreas em restauração ecológica e cultivo de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Degradação, propriedades físicas, compactação do solo

The soil density and relative density of an oxisol submitted the different uses.

The soil compaction has been highlighted worldwide as one of the limiting factors of soil physical quality, with resulting loss of structural stability due to the decline of soil organic matter associated with hearty use. The objective of this work was to evaluate the physical quality based on the values of soil density and relative density in different uses. Ten areas located in a rural private property in the state of Mato Grosso do Sul were evaluated, seven areas in ecological restoration, one remnants of native vegetation and an area of sugar cane cultivation. The undeformed samples were collected in the 0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m and deformed in the 0.00-0.20 m layer, following the completely randomized design. The data were submitted to variance analysis, using a multiple comparison of means by the Scott-Knott test ($p \leq 0,05$). The results showed that the remnants of native vegetation and the areas in ecological restoration (REC1 and REC7) have lower values and the soil relative density, which may reflect in less soil compaction when compared to other areas in ecological restoration and sugar cane cultivation.

Key words: Degradation, physical properties, soil compaction

Introdução

Processos de degradação atuam sobre os diferentes compartimentos no ecossistema e, dependendo da intensidade e duração do impacto e da resiliência do ambiente a restauração poderá ocorrer de maneira natural ou necessitará de intervenção antrópica. Ao considerar que alguns dos componentes do solo requerem períodos de tempo prolongados para serem restaurados, a previsão do grau das perturbações ambientais provocadas pelo manejo inadequado das atividades agropecuárias se torna essencial. Assim, a restauração de áreas degradadas envolve uma série de medidas que buscam, inicialmente, minimizar os efeitos da degradação e, posteriormente, implantar metodologias corretivas, que visam rápida recuperação do ambiente.

Entretanto, antes da adoção das diferentes medidas mitigadoras, a adoção de técnicas que visem avaliar a qualidade do solo de forma simples e confiável ainda são objeto de investigações da qualidade do solo (Stefanoski et al., 2013), pois, buscam retratar o diagnóstico atual do solo e verificar se os métodos empregados estão adequados às condições específicas da atividade (Audeh et al., 2011) e da região, tornando possível um melhor planejamento e execução de práticas de uso e ocupação, bem como podem fornecer subsídios para avaliar a capacidade deste em funcionar dentro dos limites de um ecossistema sustentável.

A degradação física do solo é fator limitante ao desenvolvimento e sobrevivência de muitas espécies florestais, devido ao comprometimento do sistema radicular ocasionado pela compactação do solo. A compactação é um dos principais processos de degradação física dos solos, sendo resultante da perda da estabilidade estrutural devido ao declínio da matéria orgânica do solo associada ao intenso uso do solo, resultando em maior densidade, diminuição da porosidade total e da macroporosidade e aumento da resistência do solo em virtude de cargas ou pressão aplicada (Cunha et al., 2009), criando um ambiente físico desfavorável ao crescimento das plantas (Giarola et al., 2007).

Dentre os inúmeros parâmetros que avaliam a qualidade física do solo, a densidade do solo (Ds) e a densidade relativa (Dr) são importantes para avaliação da compactação do solo, pois são considerados como indicadores altamente correlacionados com esta

condição física do solo. É provável que os impactos do uso intensivo de fertilizantes associada à mecanização tenha reflexos sobre a qualidade do solo, assim, compreender as alterações decorrentes de manejo empregados em área de cultivo de cana-de-açúcar, áreas em processo de restauração ecológica, que no passado foram cultivadas com pastagem e cana-de-açúcar, e em área de vegetação nativa auxiliam no entendimento processos ecológicos que preconizam a ecologia da restauração. Assim, levantamos a hipótese de que as ações de plantio de espécies nativas e regeneração natural efetuadas nas áreas em restauração estejam correlacionadas às alterações nos atributos físicos do solo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física com base nos valores de densidade do solo e densidade relativa de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no município de Rio Brillhante, Estado de Mato Grosso do Sul (21°48'S/44°32'W). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico típico, de textura argilosa (Embrapa, 2013). De acordo com o sistema de classificação de Köppen (Cwa), o clima é caracterizado como mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos. As áreas de estudo consistiram em um remanescente de vegetação nativa, com fisionomia florística de área de transição entre Cerrado e Mata Atlântica (MATA), sete áreas em restauração ecológica (REC1 a REC7, respectivamente) e uma área de cultivo de cana-de-açúcar (CN).

As áreas em restauração foram estabelecidas originalmente em formação de floresta Estacional semidecidual e substituída por pastagem (*Brachiaria brizantha*) manejadas num período de dez anos e, posteriormente por cana-de-açúcar num período de dois anos. Após este período, as áreas foram destinadas a restauração ambiental. Devido à localização os fragmentos destinados à restauração foram identificados como REC1 a REC5, com adoção de regeneração natural e plantio de espécies nativas florestais, tais como: *Myracrodruon urundeuva*, *Schinus terebinthifolia*, *Handroanthus avellanadae*, *Machaerium stipitatum* e *Dabergia miscolobium*, entre outras, na área identificada como

REC2 e regeneração natural nas demais áreas. Em todas as áreas não houve intervenção mecânica e aplicação de fertilizantes.

O plantio da cana-de-açúcar (RB86 – 7515) foi realizado com preparo convencional do solo utilizando duas gradagens (grades aradoras), uma subsolagem até a profundidade de 0,45 m e uma gradagem niveladora. Foi utilizado fertilizante mineral NPK (05-15-10) durante o plantio da cultura, e nos cortes anuais a reposição foi feita utilizando fertilizante mineral NPK (30-05-25) na linha da cultura. Nos tratos culturais da cana soca foram realizadas operações de cultivo entre linhas da cultura, visando minimizar os efeitos da compactação do solo causada pelo intensivo tráfego de máquinas na colheita. Na época de amostragem (período chuvoso 2012), a cultura de cana-de-açúcar encontrava-se no terceiro corte de colheita mecanizada.

Para determinação da Densidade do solo (D_s), amostras indeformadas foram coletadas com auxílio de amostrador de Uhland e anéis de aço (Kopecky) de bordas cortantes e volume interno de (100 cm³) nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, com cinco repetições aleatórias em cada área e camada avaliadas. Para determinação da Densidade relativa (D_r), amostras deformadas foram coletadas em cada área estudada com auxílio de um enxadão da superfície até a camada 0,20 m. As coletas seguiram o delineamento inteiramente casualizado.

Para as determinações de densidade do solo (D_s) as amostras de solo foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel. Após a saturação ter sido estabelecida as amostras foram pesadas e levadas à estufa a 105 ± 5°C, por aproximadamente 24 horas, para determinar a D_s , pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997).

O cálculo da densidade foi realizado utilizando a seguinte equação:

$$D_s = M_{ss} / V_a \quad (1)$$

Em que, D_s = densidade do solo (g cm⁻³);
 M_{ss} = massa de solo seco em estufa a 105°C (gramas);
 V_a = volume do anel (cm³).

A densidade relativa (D_r) foi determinada através da relação entre a densidade do solo e a densidade

máxima, obtida na condição da umidade crítica, sendo determinada pelo ensaio de Proctor (Stolf et al., 2011). O ajuste da umidade foi calculado usando a equação 2:

$$D_s = aUg^2 + bUg + c, \quad (2)$$

Em que, D_s = densidade do solo (g cm⁻³); Ug = umidade do solo (kg kg⁻¹); a , b e c = parâmetros da equação.

Com a primeira derivada da equação 2, foi obtida a umidade ótima para umidade gravimétrica crítica (U_{gc}):

$$U_{gc} = -b/2a, \quad (3)$$

Em que U_{gc} refere-se a umidade gravimétrica crítica (kg kg⁻¹); a , b os parâmetros da equação.

A Densidade máxima de compactação ($D_{s_{máx}}$) foi calculada pela equação:

$$D_{s_{máx}} = - (b^2 - 4ac) / 4a, \quad (4)$$

No qual a , b e c são parâmetros da equação.

Dessa forma, a densidade relativa foi obtida pela equação:

$$D_r = D_s / D_{s_{máx}}, \quad (5)$$

Em que, D_r é a Densidade relativa; D_s a Densidade solo seco e $D_{s_{máx}}$ refere-se a densidade máxima de compactação.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk para verificação da normalidade e ao teste de Levene para verificação da homocedasticidade, sendo então, submetidos à análise de variância (ANOVA), com comparações múltiplas de médias realizadas pelo teste Scott-Knott, ($p \leq 0,05$), pelo programa SISVAR (Ferreira, 2011).

Resultados e Discussão

Com relação à D_s , nota-se que, na camada de 0,00-0,10 m, os menores valores encontrados foram nas áreas de vegetação nativa, as quais não diferiram das áreas em restauração (REC1, REC5 e REC7) e área de cultivo de cana-de-açúcar (CN) (Tabela 1).

Tabela 1. *Médias dos valores de densidade do solo (Ds) e densidade relativa (Dr) nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m nas áreas em restauração ecológica, vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar

Áreas	Ds (g cm ⁻³)	Dr	Ds (g cm ⁻³)	Dr
	0,00-0,10 m		0,10-0,20 m	
REC1	1,06 b	0,72 b	1,18 b	0,80 b
REC2	1,25 a	0,86 a	1,30 a	0,92 a
REC3	1,18 a	0,82 b	1,26 a	0,88 a
REC4	1,24 a	0,89 a	1,26 a	0,91 a
REC5	1,15 b	0,79 b	1,22 b	0,84 b
REC6	1,27 a	0,90 a	1,30 a	0,93 a
REC7	1,07 b	0,75 b	1,19 b	0,83 b
MATA	1,04 b	0,90 a	1,13 b	0,91 a
CN	1,12 b	0,79 b	1,13 b	0,88 a
CV (%)	8,56	8,9	8,56	8,9

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), REC6 (área em restauração ecológica 6), REC7 (área em restauração ecológica 7), CN (Cana-de-Açúcar), MATA (Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual).

Resultado semelhante foi obtido por Bono et al. (2013), que não observaram diferença significativa entre o solo de Cerrado e área de plantio de culturas anuais (soja) e por Portugal et al. (2008), que não encontraram diferenciação da Ds entre vegetação nativa e área de cultivo de cana-de-açúcar. Entretanto, REC2, REC3, REC4 e REC6 apresentaram os maiores valores de Ds, diferindo estatisticamente da MATA e CN. Estes resultados corroboram com os que foram observados por Selassie & Ayanna (2013), estudando os efeitos de diferentes sistemas de uso da terra em relação às propriedades físico-químicas do solo, observaram diferenças significativas nas áreas de floresta nativa e pastagem.

Tomando como base os valores críticos de Tormena et al. (2008), que afirmam que a Ds acima de 1,16 g cm⁻³ corresponde ao limite que compromete o sistema radicular das plantas e afeta a qualidade física do solo, as áreas REC2, REC3, REC4 e REC6, na camada superficial, apresentaram valores de Ds que podem causar restrições ao desenvolvimento radicular das plantas. Os altos valores de Ds nestas áreas podem estar relacionados ao tempo de utilização da área,

arquitetura do sistema radicular das espécies, a menor cobertura do solo durante o período inicial de crescimento das plantas (Silva et al., 2009).

Os resultados de Ds na área de vegetação nativa (MATA) e área de cultivo de cana-de-açúcar (CN) não diferem estatisticamente nesta camada. Este fato pode estar relacionado ao revolvimento do solo da área cultivada que promoveu maior aeração e, conseqüentemente, diminuição da densidade.

Neste trabalho, não foram comparadas as médias dos valores de Ds entre as duas camadas estudadas, porém, segundo Carneiro (2010), é comum o aumento da densidade do solo ao longo do tempo e de seu perfil em condições naturais, considerando a diminuição do teor de matéria orgânica e técnicas de preparo nele realizados. Em áreas agrícolas, o uso intensivo de implementos agrícolas em condições inadequadas de umidade pode provocar a degradação da estrutura do solo, levando à compactação subsuperficial, fato que explica os altos valores de densidade do solo na camada 0,10 m-0,20 m em CN.

Entre as áreas em restauração ecológica, REC1, REC5 e REC7 não diferem estatisticamente da vegetação nativa. As áreas REC2, REC3, REC4 e REC6 apresentaram os maiores valores de Ds, não diferindo estatisticamente de CN. Assumindo os valores considerados críticos por Tormena et al. (2008), todas as áreas em restauração ecológica e área de cultivo de cana-de-açúcar apresentam restrições para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas nesta camada.

Os resultados de Ds encontrados neste trabalho estão de acordo com os observados por Bicalho (2011), que constataram valor médio da Ds significativamente maior em área cultivada comparada a solo de floresta nativa, e os resultados encontrados por Baquero et al. (2012), que obtiveram resultados similares de Ds, comparando solo cultivado com cana-de-açúcar e mata nativa. Souza et al. (2012), avaliando a qualidade do solo em áreas impactadas, encontraram diferença estatística de Ds em solo de vegetação nativa e em áreas em desmatamento, interagindo para os dados obtidos neste trabalho (Tabela 1).

A densidade relativa do solo (Dr) tem sido utilizada para caracterizar o estado de compactação, sendo menos influenciada por alguns atributos, como tipo de

minerais, granulometria e teor de matéria orgânica do solo (Klein, 2006). Nota-se que, na camada de 0,00-0,10 m, os valores de D_r variaram de 0,72 a 0,90 g cm^{-3} , com os menores valores encontrados nas áreas em restauração ecológica (REC1, REC3, REC5 e REC7), as quais não diferiram estatisticamente de CN, o que indicam níveis aceitáveis de compactação. Os maiores valores foram encontrados em REC2, REC4, REC6 e MATA. Valores obtidos neste trabalho estão próximos aos encontrados por Munareto et al. (2010), que variaram de 0,67 g cm^{-3} a 0,84 g cm^{-3} em diferentes sistemas de manejo. Viana et al. (2011), encontraram valores de D_r de 0,66 e 0,82 g cm^{-3} para mata nativa e cana-de-açúcar, respectivamente na camada de 0,00-0,10 m.

O baixo valor de D_r encontrado em CN pode ser justificado pelo preparo do solo com escarificação, o que pode minimizar os efeitos da compactação, corroborando com Costa et al. (2009), que constataram que o revolvimento do solo com arado e grade ou escarificador reduz o teor de carbono de compostos orgânicos, a estabilidade de agregados, a densidade e a capacidade de campo em comparação com o sistema de plantio direto. Vários trabalhos propõem valores similares de índice crítico para D_r . Segundo Torres e Saraiva, (1999) valores de 0,84 g cm^{-3} a 0,87 g cm^{-3} e Beutler et al, (2005; 2008) afirmam que a D_r entre 0,80 g cm^{-3} a 0,84 g cm^{-3} correspondem aos valores limite que comprometem o sistema radicular das plantas.

Em relação à D_r na camada de 0,10-0,20 m, os resultados indicam que REC1, REC5 não apresentam restrições ao desenvolvimento radicular das plantas, diferindo estatisticamente das demais áreas estudadas. As áreas REC2, REC3, REC4, REC6, MATA E CN apresentam fatores de D_r considerados críticos.

Comparando os dados obtidos de D_s e D_r , pode-se observar que REC2, REC4, REC6 e MATA valores acima dos limites considerados críticos em ambas as camadas, refletindo, desta forma, em maior compactação do solo. O remanescente de vegetação nativa (N2), mesmo apresentando valores de D_r considerados críticos, não apresenta restrição física ao desenvolvimento radicular das plantas, pois

apresenta baixa D_s e $D_{s_{\text{máx}}}$ e alto teor de matéria orgânica.

Com a equação da curva de compactação do ensaio de Proctor é possível obter matematicamente a densidade do solo máxima ($D_{s_{\text{máx}}}$), bem como, a umidade ótima para compactação com aquele nível de energia aplicada (Marcolin e Klein, 2011).

As médias dos valores de umidade ótima de compactação (U_{gc}) e $D_{s_{\text{máx}}}$ do solo nas diferentes áreas estudadas variaram de 0,28 a 0,33 kg kg^{-1} e 1,24 a 1,47 g cm^{-3} , respectivamente (Tabela 2), diferindo dos valores encontrados por Ramos et al. (2013), avaliando a compactação de Latossolo Vermelho-amarelo. Para solos argilosos, Klein (2006) observou uma variação da $D_{s_{\text{máx}}}$ de 1,49 a 1,52 g cm^{-3} , em solo muito argiloso (660 g kg^{-1} argila), Klein (2008) encontrou $D_{s_{\text{máx}}}$ de 1,55 g cm^{-3} , enquanto que em solo arenoso (320 g kg^{-1} argila) foi de 1,77 g cm^{-3} .

As curvas de compactação do solo nas diferentes áreas estudadas estão sendo mostradas na Figura 1. Verificou-se o ajuste das curvas ao modelo quadrático com coeficiente de determinação (R^2) com valores variando de 0,81 a 0,92. O ponto de máximo da curva indica o valor da densidade máxima do solo ($D_{s_{\text{máx}}}$) e do teor de água crítico (TAC) à compactação.

Nota-se que o remanescente de vegetação nativa, apresentou menor valor de $D_{s_{\text{máx}}}$, corroborando com

Tabela 2. Umidade gravimétrica crítica (U_{gc}) e Densidade máxima do solo ($D_{s_{\text{máx}}}$) determinada pelo ensaio de Proctor

Áreas	U_{gc}	$D_{s_{\text{máx}}}$	Equação	R^2
REC1	0,30	1,47	$D_s = -32,134u^2 + 19,585u - 1,515$	0,92
REC2	0,28	1,45	$D_s = -13,848u^2 + 7,7052u + 0,3733$	0,85
REC3	0,29	1,43	$D_s = -7,8142u^2 + 4,06076u + 0,748$	0,89
REC4	0,29	1,39	$D_s = -11,005u^2 + 6,3549u + 0,4712$	0,91
REC5	0,30	1,47	$D_s = -19,359u^2 + 10,881u + 0,0835$	0,86
REC6	0,30	1,40	$D_s = -12,987u^2 + 7,7805u + 0,2216$	0,81
REC7	0,28	1,43	$D_s = -13,029u^2 + 7,3501u + 0,3886$	0,91
MATA	0,33	1,24	$D_s = -5,0727u^2 + 3,3692u + 0,6794$	0,91
CN	0,28	1,45	$D_s = -21,709u^2 + 12,328u - 0,2952$	0,86

Rec1 (área em restauração ecológica 1), Rec2 (área em restauração ecológica 2), Rec3 (área em restauração ecológica 3), Rec4 (área em restauração ecológica 4), Rec5 (área em restauração ecológica 5), Rec6 (área em restauração ecológica 6), Rec7 (área em restauração ecológica 7), CN (Cana-de-açúcar), MATA (Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual). Unidade de medida: U_{gc} (kg kg^{-1}); $D_{s_{\text{máx}}}$ (Mg m^{-3}).

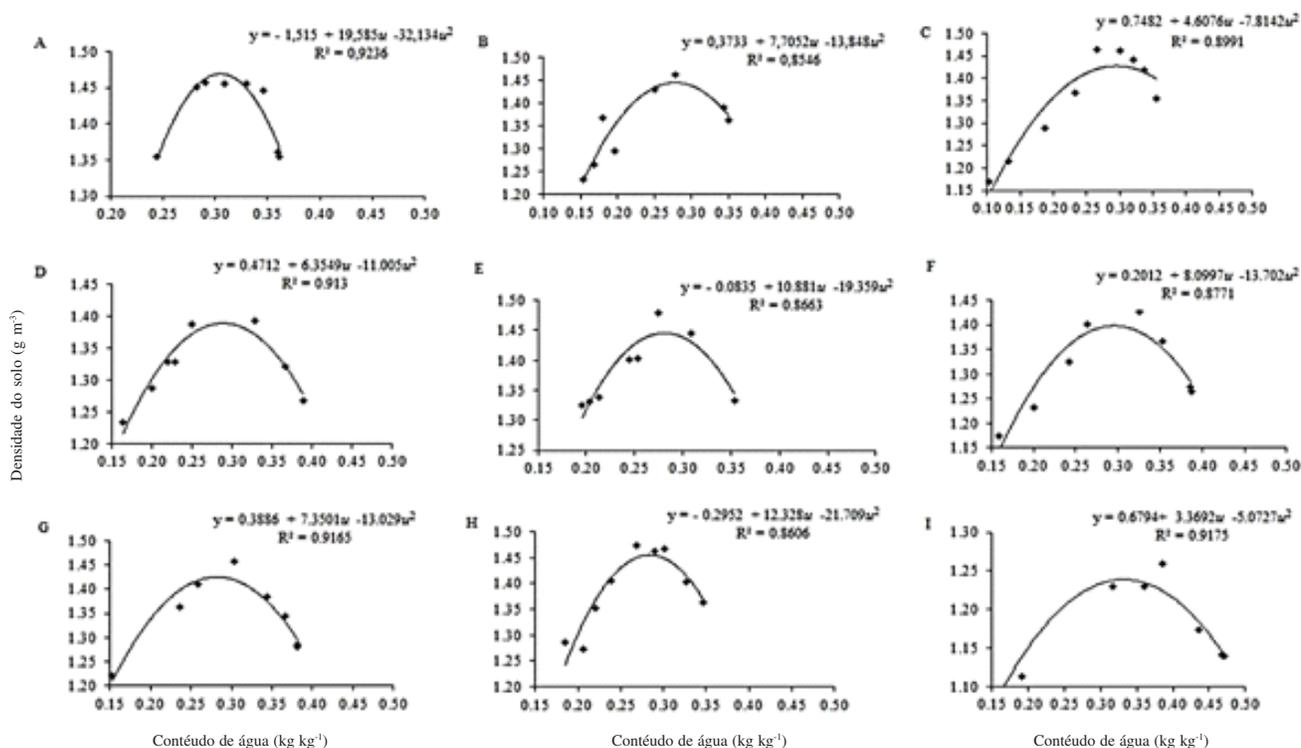


Figura 1- Curva de compactação do solo determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0,00-0,20 m nas áreas em restauração ecológica, remanescente de vegetação nativa e área de cana-de-açúcar. (A) REC 1 (área em restauração ecológica 1), (B) REC 2 (área em restauração ecológica 2), (C) REC 3 (área em restauração ecológica 3), (D) REC 4 (área em restauração ecológica 4), (E) REC 5 (área em restauração ecológica 5), (F) REC 6 (área em restauração ecológica 6), (G) REC 7 (área em restauração ecológica 7), (H) CN (Cana-de-açúcar), (I) MATA (Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual).

Rossetti et al. (2012), estudando os atributos físicos do solo de Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo e com Ortigara et al. (2014), trabalhando com propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas. Segundo Rossetti e Centurion (2015), os menores valores de $D_{s_{máx}}$ em solo de mata nativa pode ser justificado pela elevada quantidade de folhas e material orgânico em decomposição, o que dificulta a compressão do solo, dissipando a energia de compactação. Por outro lado, o alto valor de $D_{s_{máx}}$ observado na área de cultivo de cana-de-açúcar pode estar relacionado à diminuição do teor de matéria orgânica do solo e aumento do tráfego de máquinas que podem potencializar o processo de compactação do solo (Jesus et al., 2015).

Desta forma, parece sensato afirmar que embora o tempo de restauração seja relativamente curto, o desenvolvimento da cobertura vegetal e a ausência da

compressão causada por implementos agrícolas foram fatores cruciais para melhoria da qualidade física do solo da maioria das áreas em restauração ecológica estudadas.

Conclusões

1. O remanescente de vegetação nativa e as áreas em restauração ecológica REC1 e REC7 apresentam menores valores de D_s e D_r , o que pode refletir em menor compactação do solo, fato que pode indicar que o tempo de resiliência, o manejo do solo e a estrutura edáfica podem influenciar no comportamento dos atributos físicos do solo.

2. Nas áreas em recuperação REC4 e REC6 verificou-se que o solo apresenta uma condição de compactação que pode comprometer o desenvolvimento radicular das plantas.

Literatura Citada

- AUDEH, S. J. S. et al. 2011. Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6(3):34-48.
- BAQUERO, J. E. et al. 2012. Soil physical properties and sugar cane root growth in a red Oxisol. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 36:63-70.
- BEUTLER, A. N. et al. 2005. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29:843-849.
- BEUTLER, A. N. et al. 2008. Densidade do solo relativa e parâmetro “S” como indicadores da qualidade física para culturas anuais. *Revista de Biologia e Ciência da Terra (Brasil)* 8:27-36.
- BICALHO, I. M. 2011. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. *Enciclopédia Biosfera, Goiânia, GO, Centro Científico Conhecer* 7(12):1-9.
- BONO, J. A. M; MACEDO, M. C. M; TORMENA, C. A. 2013. Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37:743-753.
- CARNEIRO, S. P. 2010. Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do cerrado. Tese de Doutorado. Belo Horizonte, MG, Instituto de Geociências. 125p.
- COSTA, A. et al. 2009. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33:235-244.
- CUNHA, J. P. A. R.; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. 2009. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. *Acta Scientiarum Agronomy* 31(3):371-375.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ, Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 212p.
- EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília, DF, EMBRAPA. 342p.
- FERREIRA, D. F. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (Brasil)* 35 (6):1039-1042.
- GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. 2007. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31:863-873.
- JESUS, G. L. et al. 2015. Produção de eucalipto, atributos físicos do solo e frações da matéria orgânica influenciadas pela intensidade de tráfego e resíduos de colheita. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39(4):1190-1203.
- KLEIN, V. A. 2006. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. *Revista Ciências Agroveterinárias (Brasil)* 5:26-32.
- KLEIN, V. A. 2008. Física do solo. Passo Fundo, RS, Universidade de Passo Fundo. 212p.
- MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. 2011. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. *Acta Scientiarum. Agronomy* 33(2):349-354.
- MUNARETO, J. D. et al. 2010. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45(12):1499-1506.
- ORTIGARA, C. 2014. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38:619-626.
- PORTUGAL, A. F. et al. 2008. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háptico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32:249-258.
- RAMOS, F. T. et al. 2013. Curvas de compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo: Com e sem reúso de amostras. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(2):129-136.
- ROSSETI, K. V. et al. 2012. Atributos físicos nos tempos de adoção de manejos em Latossolo cultivado com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:367-376.

- ROSSETI, K. V.; CENTURION, J. F. 2015. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequência sob diferentes manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19(3):252-258.
- SELASSIE, Y. G.; AYANNA, G. 2013. Effects of different land use systems on selected physico-chemical properties of soils in northwestern Ethiopia. *Journal of Agricultural Science* 5(4):112-120.
- SILVA, L. G. et al. 2009. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44 (6):613-620.
- SOUZA, Y. I. F. et al. 2012. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo em mata nativa e área desmatada na bacia do rio Cuiá, em João Pessoa, PB. In: Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação (CONNEPI), 7. Palmas, Tocantins.
- STEFANOSKI, D. C. et al. 2013. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17 (12):1301-1309.
- STOLF, R. et al. 2011. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35:447-459.
- TORMENA, C. A. et al. 2008. Quantification of the soil physical quality of a tropical Oxisol using the index. *Scientia Agricola Journal* 65(1):56-60.
- TORRES, E.; SARAIVA, O. F. 1999. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina, PR, EMBRAPA SOJA. Circular Técnica n. 23. 58p.
- VIANA, E.T. et al. 2011. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35:2105-2114. ●