



DESEMPENHO DE AMOSTRADORES DE SOLO SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA REGIÃO DE AQUIDAUANA-MS

Bruna Raquel Faria de Souza¹, Carlos Antonio da Silva Junior², Laércio Alves de Carvalho³, Douglas Martins Pereira Pellin¹, Adriany Rodrigues Corrêa¹ e Rivelly Aline Camargo de Sousa¹

¹Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade de Aquidauana, Aquidauana, MS, Brasil. E-mail: brunaraquel_souza@hotmail.com;

²Universidade Estadual de Maringá (UEM), Departamento de Agronomia, Maringá, PR, Brasil. E-mail: carlos-junior89@hotmail.com.

³Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UEMS), Cidade Universitária de Dourados, Dourados, MS, Brasil.

Recebido em: 03/01/2014 – Aprovado em: 04/04/2014 – Publicado em: 12/04/2014

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar atributos físicos do solo, utilizando-se diferentes amostradores, sob diferentes coberturas vegetais na região do baixo Pantanal de Mato Grosso do Sul. O estudo foi realizado na área experimental do Campus da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade de Aquidauana-MS. Os tratamentos consistiram no estudo do solo sob cinco diferentes tipos de amostradores de solo: trado tipo rosca com impacto (A1), trado tipo rosca sem impacto (A2), trado tipo castelo (A3), trado tipo encaixe (A4) e trado tipo Umland (A5), sob três diferentes coberturas vegetais: 1) feijoeiro, 2) Eucalipto e, 3) mata nativa. O delineamento estatístico adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x3x4, com quatro repetições. Os atributos avaliados foram: densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), densidade máxima do solo ($Ds_{máx}$), umidade gravimétrica (UG), umidade ótima para compactação (UOC) e densidade relativa do solo (Drs). A Ds e a Pt apresentaram diferenças significativas, mostrando que o tipo do amostrador realmente é capaz de causar efeito na amostra indeformada de solo. Os amostradores A3 e A4 apresentaram as amostras com menores Ds. Para a Pt o A3 e A4 apresentaram os maiores valores nas amostras coletadas, tendo uma correlação com a Ds onde os mesmos apresentaram menores densidades. A área de mata obteve os menores valores para a Ds e $Ds_{máx}$, porém para as variáveis UOC e Dsr apresentaram maiores valores. A Dsr para as áreas estudadas mantiveram valores ideais (abaixo de 0,86), pois acima disso são considerados prejudiciais ao desenvolvimento das culturas.

PALAVRAS-CHAVE: Compactação do solo; densidade máxima; *Eucalyptus* spp.; floresta nativa; *Phaseolus vulgaris*; teste de proctor.

SOIL SAMPLERS PERFORMANCE UNDER DIFFERENT PLANT CANOPIES IN THE REGION OF AQUIDAUANA-MS

ABSTRACT

The objective of this work was to determine physical attributes of the soil, using various samplers under different plant canopies in the region of wetland (Brazilian Pantanal) of Mato Grosso do Sul. The study was conducted in the experimental area of the Campus of the State University of Mato Grosso do Sul (UEMS), in the municipality of Aquidauana, MS, Brazil. The treatments consisted in the study of soil under five different types of soil samplers: screw-type auger with impact (A1), auger screw-type without impact (A2), auger type-castle (A3), auger type socket (A4) and auger type-Uhland (A5), under three different plant canopies: 1) bean, 2) eucalyptus and, 3) native forest. The statistical design was completely randomized design in factorial 5x3x4, with 4 replications. The attributes evaluated were: bulk density (Bd), total porosity (Tp), maximum bulk density of soil (Bd_{max}), gravimetric moisture (GM), optimum moisture for compaction (OMC) and relative bulk density of the soil (Bds). The Bd and the Tp showed significant differences, showing that the sampler type really is capable of causing an effect in the undeformed configuration sample of soil. The A3 and A4 samplers showed samples with lower Bd. For Tp the A3 and A4 presented the highest values in samples collected, and a correlation with the Bd where they showed lower density. The forest area has the lowest values for the Bd and Bd_{max} , but for the OMC and Bds presented higher values. The Bds to the studied areas maintained optimal values (below 0.86), as above, are considered harmful to the development of cultures.

KEYWORDS: maximum bulk density; proctor test; soil compaction; *Phaseolus vulgaris*; *Eucalyptus* spp.; native forest.

INTRODUÇÃO

Para avaliar a compactação do solo são utilizados alguns atributos físicos como a resistência à penetração (RP) e densidade do solo (DS). Porém, esses atributos variam muito de solo para solo dificultando o estabelecimento de valores limitantes similares para todos os tipos de solo. Por exemplo, para um mesmo valor de DS um solo argiloso pode estar muito compactado, enquanto para outro tipo de solo com textura mais grosseira, esse valor pode indicar solo extremamente solto (BEUTLER et al., 2008). HÅKANSSON & LIPIEC (2000) afirmam que essas propriedades não podem ser diretamente utilizadas para comparar o estado de compactação de solos diferentes.

A propriedade denominada densidade relativa do solo (Dsr) tem sido utilizada para caracterizar o estado de compactação, que é menos influenciada pelas características dos minerais no solo e independe do tipo e granulometria do solo (HÅKANSSON & LIPIEC, 2000). Essa consiste na divisão da densidade do solo atual pela densidade máxima do solo obtida pelo teste de Proctor (CARTER, 1990). Dessa forma, a utilização da Dsr é uma forma de evitar essas diferenças entre os solos, permitindo compará-los quantitativamente, segundo ARVIDSSON & HÅKANSSON (1991).

Em 1933, Ralf Proctor publicou uma série de artigos nos quais pela primeira vez se enuncia um dos mais importantes princípios da mecânica dos solos, o de que

a compactação do solo é dependente da energia aplicada e da umidade do solo no momento da compactação (VARGAS, 1977). Desses estudos surgiu o ensaio de Proctor que é uma metodologia facilmente executável, de baixo custo e conceitualmente fácil de ser entendida. No entanto, a sua utilização para fins de estudo da dinâmica dos solos agrícolas é recente (FIGUEIREDO et al., 2000).

Com a utilização do teste de Proctor na obtenção da Ds referência, verifica-se que valores de Dsr acima de 0,86 são considerados elevados e prejudiciais ao desenvolvimento das culturas (LINDSTRON & VOORHEES, 1994).

Sabendo que a Dsr é uma importante ferramenta para caracterizar o estado de compactação de um solo, e que a mesma consiste na divisão da densidade do solo atual pela densidade máxima do solo, é de suma importância coletar o solo da melhor maneira possível, de maneira que a amostra indique de fato a verdadeira densidade atual do solo, para que os resultados representem a real situação da área em questão.

A amostragem do solo é o primeiro passo para o conhecimento e manutenção da qualidade química e física do solo da área, e dessa forma, para que realize uma correta recomendação do manejo do solo, visando uma boa produtividade das culturas. Contudo, a maior fonte de erros de uma análise de solo está na amostragem inadequada, o que pode conduzir a resultados falsos (FRÁGUAS, 1992).

Diante do exposto, testou-se a hipótese de que os diferentes tipos de amostradores de solo interferem no resultado da densidade do solo e, conseqüentemente, na obtenção da porosidade total, implicando na forma em que o solo deverá ser manejado. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes amostradores de solo, através da determinação da densidade do solo e porosidade total, identificando a menor interferência nos valores dos atributos físicos do solo. Além disso, determinou-se a densidade máxima e densidade relativa do solo sob diferentes coberturas vegetais, visando auxiliar na tomada de decisão sobre o tráfego de máquinas e animais na área.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em campo, na área experimental do Campus da Unidade Universitária de Aquidauana, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, MS. Geograficamente, a região localiza-se entre as coordenadas 20°27' de Latitude S e 55°40' de Longitude W. O solo é classificado como Latossolo Amarelo, textura franco-arenosa. O clima da região, segundo classificação de Köppen, pertence ao tipo Aw, (tropical úmido), com precipitação média anual de 1.200 mm e temperaturas máximas e mínimas de 33 °C e 19,60 °C respectivamente, no ano de 2011.

Os tratamentos consistiram no estudo do solo sob cinco diferentes tipos de amostradores de solo (Figura 1-A): trado de rosca e de impacto, trado de rosca, trado Castelo, trado de encaixe e trado tipo Uhland, para obtenção de amostras indeformadas, em três sistemas com distintas coberturas vegetais: área cultivada com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), área de reflorestamento com Eucalipto (*Eucalyptus spp*) e, área de mata nativa.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x3x4.

A amostragem do solo foi realizada em novembro de 2011. Coletaram-se amostras indeformadas na camada de 0,00 a 0,10 m, com quatro repetições para cada amostrador de solo, nas três áreas escolhidas. Também foram coletadas amostras na camada de 0,00 a 0,20 m, de forma aleatória e deformada com posterior homogeneização do solo, para que este representasse a área, sem haver repetições, devido ao ponto negativo que o ensaio do Proctor apresenta, pois é muito trabalhoso e necessita de grande quantidade de solo para determinação da curva de compactação, o que dificulta sua realização. Cada amostra representou uma área de 300 m².

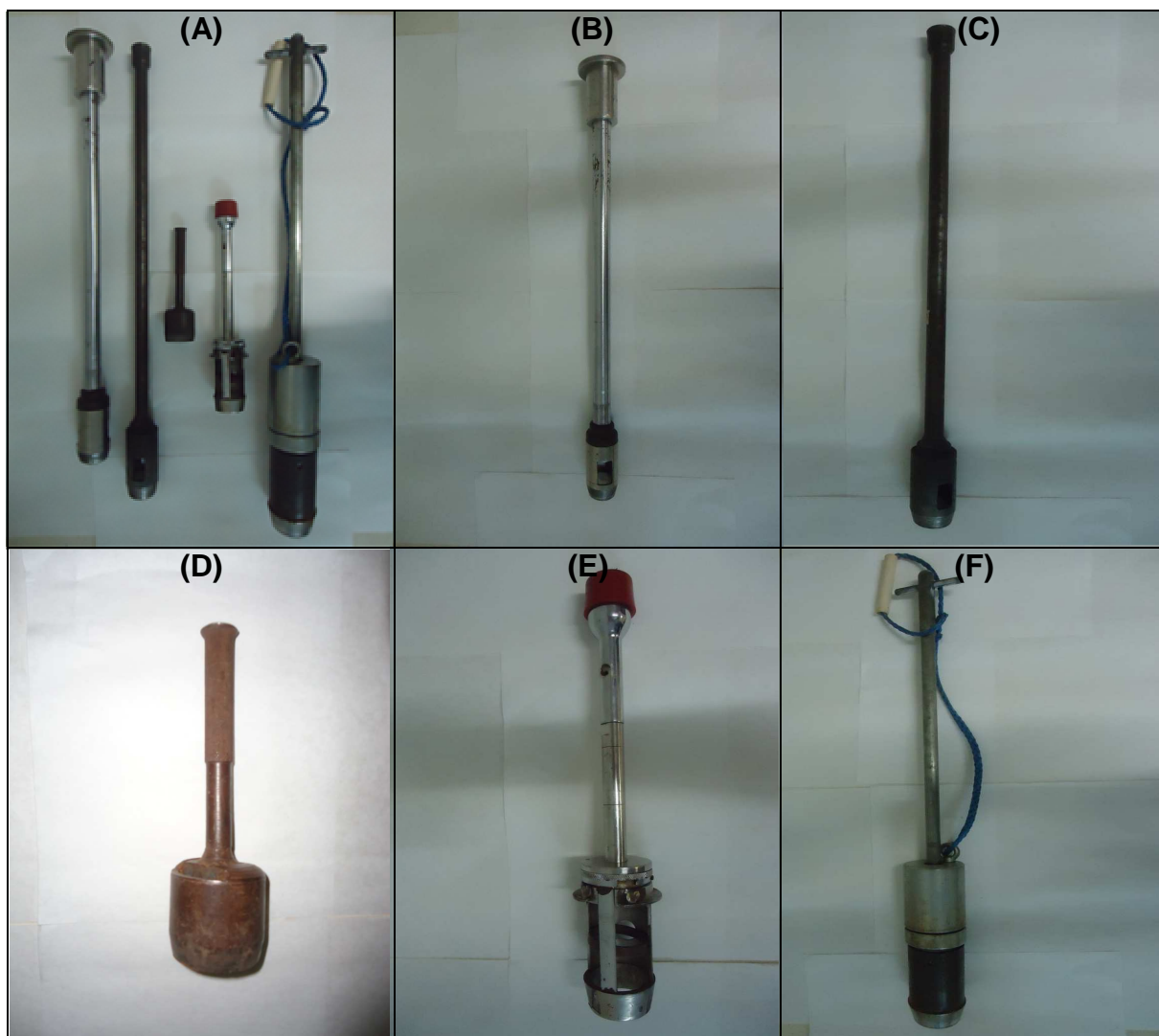


FIGURA 1: Diferentes tipos de amostradores utilizados para coleta de solo indeformada.

A descrição para cada amostrador utilizado segue abaixo:

Amostrador 1: trado tipo rosca com impacto, com peso total de 5,495 kg, 122 cm de altura, local de impacto do equipamento com 9,8 cm, forjado de aço inoxidável, coletor com dois orifícios de 4 cm, localizados opostamente, a fim de

facilitar a retirada do anel do compartimento, cuja capacidade é de um anel cilíndrico com volume de 100 cm^3 (Figura 1-B);

Amostrador 2: trado tipo rosca sem impacto, com peso total de 4,100 kg, 81,5 cm de altura, constituído de ferro, coletor com dois orifícios de 4 cm, posicionados opostamente, com capacidade para um anel cilíndrico com volume de 100 cm^3 (Figura 1-C);

Amostrador 3: trado tipo castelo, com peso total de 741 g, 21 cm de altura, constituído de ferro, com capacidade para um anel cilíndrico com volume de 100 cm^3 , conhecido popularmente por “Castelo” ou “Castelinho” (Figura 1-D);

Amostrador 4: trado tipo encaixe, com peso total de 1,405 kg, 46,8 cm de altura, material de aço inoxidável, com borracha anti-impacto de 3 cm de comprimento, o local de entrada do anel é na lateral do copo coletor com 7,3 cm de comprimento acompanhado de uma barra de aço para fechar a abertura, o coletor comporta um anel de preservação (7 mm) e dois tipos de anéis (com volume de 100 cm^3 ou de 50 cm^3), fabricado pela SONDATERRA® este equipamento possui o cabo desmontável em duas hastes rosqueáveis de 40 cm cada, para atingir até 1 m de profundidade, sem necessidade de abertura de trincheira (Figura 1-E).

Amostrador 5: trado tipo Uhland, peso total de 11,720 kg, 88 cm de altura, uma base com haste guia para peso com 70 cm de comprimento, um peso de 7 kg e um cabo extrator, com anel espaçador de alumínio (2,2 cm de altura), fabricado pela SONDATERRA® em aço carbono com coletor cuja capacidade é de um anel espaçador e um cilindro de alumínio, com volume de 270 cm^3 (Figura 1-F).

Fez-se o uso de anéis cilíndricos forjados de aço inoxidável de 49x51 mm, exceto para o amostrador tipo Uhland que é de alumínio de 70x70 mm. Usou-se uma marreta de ferro revestida com borracha, com cabo de madeira, para causar o impacto nos amostradores, e o copo coletor fosse capaz de perfurar o solo; com exceção do amostrador tipo Uhland que já vem com peso próprio para penetrá-lo no solo.

Antes de ser realizada a amostragem, o local foi limpo e nivelado, posteriormente, priorizou-se coletar no mesmo ponto com os diferentes equipamentos, distanciando apenas poucos centímetros o local de coleta de um amostrador para o outro; o coletor foi penetrado no solo até preencher o anel principal ou até a marcação da profundidade desejada que fica na haste do amostrador, evitando-se que o solo atinja a parte superior interna do coletor, de forma que não provoque alteração da estrutura do solo no cilindro.

As amostras foram retiradas do cilindro do coletor, em seguida foi realizado um corte no extremo excedente de solo na parte inferior do anel, com a espátula, deixando apenas um pouco de solo excedendo o tamanho do cilindro. Posteriormente as amostras foram embrulhadas em papel alumínio, e armazenadas em local fresco e lacrado para não perder a umidade natural. A maquiagem final da amostra foi realizada no laboratório, para evitar possível desmoronamento no transporte.

Os atributos avaliados e os métodos usados foram: densidade do solo (D_s) pelo método do anel volumétrico e porosidade total (P_t) calculada pela fórmula $P_t = [1 - (D_s/D_p)] \times 100$, usando o valor padrão de densidade da partícula (D_p) de $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$, densidade máxima ($D_{s\text{máx}}$), umidade gravimétrica (U_G), umidade ótima para compactação (U_{OC}) e densidade relativa do solo (D_{sr}).

No laboratório, o solo foi exposto ao ar para secar e posteriormente passado em peneira de 4 mm, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA), para que se realizasse o ensaio de compactação (Proctor), pois as amostras são trabalhadas com estrutura não preservada.

O ensaio de Proctor normal é realizado através de sucessivos impactos de um soquete padronizado na amostra, o qual possibilita a obtenção da densidade com que um solo tem sua compactação máxima, sob uma determinada energia de compactação e de umidade (FORTES, 2002). O ensaio seguiu o padrão normalizado pela ABNT/NBR 7182 MB 33 (ABNT, 1986), onde a curva de compactação é obtida compactando-se o solo em três camadas com cinco ou seis umidades, com intervalos de 2,5% entre os pontos, de forma que o terceiro ponto esteja o mais próximo da umidade crítica (MENTGES et al., 2007).

A determinação da densidade do solo máxima ($D_{s_{máx}}$) consistiu da adição de um pouco de água à amostra, homogeneização, adição de solo até 1/3 do cilindro de 10 cm por 12,73 cm (1.000 cm^3), submetido a 25 golpes de um soquete de 2,5 kg caindo à altura de 30,5 cm, equivalente a uma pressão de $2,6 \times 10^6 \text{ J m}^{-3}$ (SUZUKI et al., 2007). Em seguida, adicionou-se mais uma camada até atingir 2/3 e depois outra até atingir a superfície do cilindro, procedendo da mesma forma para compactação. Nos pontos seguintes, adicionou-se mais água até verificar que a D_s tenha diminuído sendo obtida a $D_{s_{máx}}$.

A densidade relativa do solo (D_{sr}) foi estimada através da fórmula: $D_{sr} = D_s / D_{s_{máx}}$.

Os dados relativos à umidade ótima para compactação (UOC), densidade máxima do solo ($D_{s_{máx}}$) e densidade relativa do solo (D_{sr}) não foram submetidos à análise de variância, por não haver repetições do ensaio nos diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais, portanto os dados foram lançados apenas em planilhas do Microsoft Office Excel 2007, em que as figuras foram plotadas.

Os dados relativos para os valores de densidade do solo e porosidade total foram submetidos à análise de variância pelo teste F, para verificação dos efeitos dos amostradores sobre os atributos físicos analisados. Quando esses efeitos foram significativos, as médias obtidas para cada amostrador foram comparadas pelo teste de Tukey e Fisher LSD a 5% utilizando-se o software Sigmaplot versão 11.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os parâmetros analisados, a densidade do solo (D_s) e a porosidade total (P_t) apresentaram diferenças significativas, mostrando que o tipo do amostrador realmente é capaz de causar efeito na amostra indeformada de solo, porém o teste de Tukey a 5% não foi capaz de verificar tais distinções, dada à proximidade das médias ou pelo número de amostragens insatisfatório para identificar as diferenças existentes entre os amostradores. Dos ajustes estatísticos, somente pelo teste de Fisher LSD ($p > 0,05$) pode-se observar satisfatoriamente as alterações causadas por cada amostrador de solo.

Nos atributos físicos D_s e P_t , apresentados nas Tabelas 1 e 2, foram observadas as diferenças que ocorreram de acordo com cada amostrador (A), indicando que os diferentes tipos de solo foram afetados pelo manejo e uso de cada um deles, por menor que tenha sido a perturbação, esta propiciou mudanças na condição destes atributos.

TABELA 1. Resultados estatísticos para as médias da variável densidade do solo (Ds) de acordo com cada amostrador estudado.

Amostrador	Ds (kg dm ⁻³)	Desvio padrão	Tukey a 5%	Fisher LSD 5%
A1	1,683	0,146	ns	A
A2	1,679	0,182	ns	A
A5	1,606	0,130	ns	AB
A4	1,540	0,140	ns	B
A3	1,538	0,158	ns	B

* Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa (Fisher LSD, p<0,05). ns= não significativo (Tukey, p<0,05). A1- amostrador 1; A2- amostrador 2; A3- amostrador 3; A4- amostrador 4; A5- amostrador 5.

TABELA 2. Resultados estatísticos para as médias da variável porosidade total do solo (Pt) de acordo com cada amostrador estudado.

Amostrador	Pt (%)	Desvio padrão	Tukey a 5%	Fisher LSD 5%
A3	41,964	5,962	ns	A
A4	41,896	5,287	ns	A
A5	39,382	4,900	ns	AB
A2	36,659	6,882	ns	B
A1	36,504	5,498	ns	B

* Letras diferentes na linha indicam diferença significativa (Fisher LSD, p<0,05). ns= não significativo (Tukey, p<0,05). A1- amostrador 1; A2- amostrador 2; A3- amostrador 3; A4- amostrador 4; A5- amostrador 5.

A variação nos valores obtidos de Ds foi de 1,538 a 1,683 kg dm⁻³, sendo os amostradores A3 e A4 os que apresentaram as amostras com menores densidade do solo 1,538 e 1,540 kg dm⁻³ respectivamente e o amostrador A5 apresentou uma densidade de 1,606 kg dm⁻³ e é considerado um intermediário pois não se diferiu significativamente dos outros amostradores.

Na Pt a variação nos valores foi de 36,504 a 41,964%, sendo também os amostradores A3 e A4 aqueles que apresentaram os maiores valores de Pt nas amostras coletadas 41,964 e 41,896%, tendo eles uma correlação com a Ds onde que os mesmos apresentaram menores densidade.

A densidade do solo (Ds), contribuiu para a redução ou aumento da porosidade total do solo (Pt), uma vez que são atributos inversamente proporcionais. A Ds intensificou os efeitos causados pelo uso dos distintos amostradores na Pt, sendo esta a que melhor refletiu as diferenças no estado de conservação do solo, permitindo melhor visualização das alterações ocorridas.

Para Pt os amostradores A3 e A4 (41,964 e 41,896% respectivamente) apresentaram as maiores médias, porém não diferiram entre si, e os amostradores A2 e A1 (36,659, 36,504% respectivamente) apresentaram as menores médias, e o A5 (39,382%) manteve-se neutro, sendo igual estatisticamente a todos os avaliados.

Nos parâmetros Ds e Pt, o A3 e A4 foram os que menos modificaram a estrutura do solo, seguido do A5, que não obteve diferença em relação aos A1 e A2

que apresentaram as maiores médias em relação aos outros, porém não diferiram entre si. É provável que essa diferença tenha ocorrido pela maior facilidade do condutor em ver o momento em que o anel está totalmente preenchido por solo, através de pequenas aberturas e orifícios que há no copo coletor dos amostradores 3 e 4, não extrapolando a capacidade do anel volumétrico, que possam corroborar com prováveis interferências na estrutura física e qualidade da amostra como uma representante da área de produção agrícola; para o A3 há a necessidade de abertura de uma trincheira, mesmo quando a coleta é na camada superficial, a qual deve ser realizada cuidadosamente, tendo o zelo de retirar o copo coletor do solo, pois pode ocorrer quebra do solo nas extremidades do anel, o que implica em perda da amostra e nova abertura de trincheira; ao contrário dos amostradores 1, 2 e 5, no qual permitem a visualização apenas através de um ponto marcado, geralmente, na haste do equipamento, o A1 e A2 permitiram que fosse formada certa superfície alisada e homogênea do solo no anel, porém o A5 não diferiu de nenhum dos amostradores, apesar de ser um equipamento que também proporcionou dificuldades de manipulação e locomoção por seu peso elevado para trabalhar no campo, é possível que o maior volume do anel utilizado (270 cm^3) tenha diminuído a compressão do solo amostrado, tanto que se observou em laboratório a dificuldade no manuseio das amostras, visto que, o maior volume do anel permitiu que o solo ficasse fracamente retido no cilindro, tendo que ser manuseado com extremo cuidado para que a amostra não fosse perdida pelo desprendimento e desmoronamento do solo.

Levando-se em conta não somente a estatística, o A4 se destaca quando comparado aos outros avaliados neste trabalho, em razão da facilidade de manuseio no campo e da leveza do equipamento. Também, o A4 se diferencia dos trados tipo Uhland, por permitir a coleta de amostras no sentido vertical sem abertura de trincheiras até 1,00 m de profundidade, pela facilidade de se retirar o cilindro do interior da ferramenta e também, por permitir a coleta em trincheiras, substituindo o tradicional Castelo.

Através destas análises, é clara a deformação da estrutura e que isto promove mudanças na densidade e porosidade do solo. A estrutura física do solo é um dos fatores importantes envolvidos na formação e no estabelecimento das culturas, as mudanças evidenciadas nos atributos físicos afetam a movimentação de água, ar, nutrientes e raízes no perfil do solo, bem como nos atributos químicos, sendo estes dados indispensáveis para o desenvolvimento das plantas e para a tomada de decisão do agricultor e/ou pecuarista, de acordo com NETTO et al.,(2009).

De acordo com a Tabela 3 a área de mata nativa (MN) obteve os menores valores para a densidade do solo (D_s) e densidade do solo máxima ($D_{s_{máx}}$), possivelmente pelo efeito do maior teor de matéria orgânica (MO) (CAMARA & KLEIN, 2005); visto que, quanto maior o teor de MO do solo, menor é a $D_{s_{máx}}$ devido ao efeito positivo na estabilidade estrutural do solo (KLEIN, 2008), e ainda de acordo com BRAIDA et al. (2006), o acúmulo de MO reduz a $D_{s_{máx}}$, indicando que este solo se tornou mais resistente à compactação; entretanto, a importância desse efeito depende da granulometria do solo. Já para as variáveis: umidade ótima crítica (UOC) e densidade relativa do solo (D_{sr}) a mata apresentou maiores valores.

TABELA 3. Densidade do solo na condição de campo (D_s), umidade ótima para compactação (UOC), densidade máxima do solo ($D_{s\text{máx}}$) e densidade relativa do solo (D_{sr}) em diferentes sistemas de manejos e preparos de um Latossolo Amarelo.

Cobertura	UOC (kg kg^{-1})	D_s (kg dm^{-3})	$D_{s\text{máx}}$ (kg dm^{-3})	D_{sr}
Feijão	0,19	1,58	2,07	0,76
Eucalipto	0,21	1,62	2,44	0,66
Mata Nativa	0,22	1,41	1,66	0,85

A UOC obedeceu à seguinte ordem crescente Feijão, Eucalipto e Cerrado (0,19; 0,21; 0,22 kg dm^{-3} respectivamente); para a D_s a ordem foi solo sob Cerrado, Feijão e Eucalipto (1,41; 1,58; 1,62 kg dm^{-3} respectivamente). A $D_{s\text{máx}}$ seguiu a ordem crescente de Cerrado, Feijão a Eucalipto (1,66; 2,07; 2,44 kg dm^{-3} respectivamente). Na D_{sr} observa-se a seguinte ordem crescente: Eucalipto, Feijão e Cerrado (0,66; 0,76; 0,85 respectivamente).

Estudos sobre o processo de compactação do solo têm demonstrado que diferentes classes de solos apresentam comportamentos distintos quando submetidos ao processo de compactação. Isso se deve a vários fatores, tais como: energia de compactação, textura, matéria orgânica, umidade e história de tensão (MENTGES et al., 2007). Todavia, neste estudo, para a mesma classe de solo, entretanto, com diferentes tipos de coberturas vegetais, as diferenças ocorridas não foram insignificantes, mesmo porque o solo é o mesmo para as diferentes coberturas vegetais estudadas; em que o solo com mata nativa possuiu a maior UOC, visto que, é uma área sem perturbação antrópica e com acúmulo diário de material orgânico em sua superfície e paulatinamente em subsuperfície, transportado pela fauna do solo.

De acordo com DIAS JUNIOR & MIRANDA (2000) a UOC constitui-se em vantagem em relação ao tempo disponível para a realização das operações motomecanizadas necessárias para o preparo do solo, ou seja, esta informação define-nos o ponto ótimo de compactação do solo, isto é, a UOC em que não se deve tráfegar com máquinas e implementos e/ou permitir o pastejo.

A hipótese de que a matéria orgânica do solo tenha influenciado na maior UOC, pode ser confirmada pelos valores de D_s , que apresentaram diferenças relevantes entre as áreas de 1,58 kg dm^{-3} para o solo sob Feijão, 1,62 kg dm^{-3} para a área de reflorestamento de Eucalipto e 1,41 kg dm^{-3} sob Mata Nativa; provavelmente a última obteve a menor D_s por ser uma área preservada e sem fins extrativistas, possibilitando a estabilidade do meio ambiente como um todo; na área sob Feijão, apesar desta ser uma cultura que tenha uma velocidade de decomposição um tanto acelerada, por ser uma planta com metabolismo C3, e baixa relação C/N, esta ainda foi capaz de obter D_s menor que a área sob Eucalipto, atendo-se ao fato de que a colheita do feijão na área é realizada de forma manual, em que os restos do feijoeiro são mantidos no local, e outro fator relevante é que a área estava sob pousio no período da coleta de solo, ou seja, sob grande infestação de plantas não cultivadas, invasoras, que mais uma vez propiciam o aumento de resíduos orgânicos no solo, diferentemente da área sob Eucalipto, na qual a cultura ainda esta em fase inicial de desenvolvimento, sem acúmulo de serapilheira. A

susceptibilidade do solo à compactação, avaliada pelo ensaio Proctor, torna-se menor à medida que cresce a quantidade de material orgânico existente (BRAIDA et al., 2006).

Para SUZUKI et al. (2007) os atributos físicos do solo como a D_s podem caracterizar o estado de compactação dos solos, porém este valor irá variar de acordo com o solo e seu estado de compactação, por isso a $D_{s_{máx}}$, é um parâmetro sumariamente importante e discutido. Como a UOC estabelece relação com a $D_{s_{máx}}$, o solo sob Mata Nativa também apresentou o melhor valor, com a menor $D_{s_{máx}}$ encontrada. Nota-se que, a suscetibilidade à compactação, avaliada pelo ensaio de Proctor, normalmente é menor quanto maior for a quantidade de material orgânico existente no solo.

A D_s é utilizada principalmente para definir níveis a partir dos quais o solo está compactado e requer medidas corretivas. Por ser a resistência do solo à penetração dependente da umidade, textura, mineralogia e matéria orgânica, a D_s tem sido utilizada como propriedade de referência para monitorar a compactação do solo (KIEHL, 1979). Mas, a D_s não fornece informações suficientes para se quantificar o grau de compactação de um solo agrícola, assim, visando normalizar os limites de D_s , tem sido utilizado o conceito de D_{sr} que é a relação da D_s com sua $D_{s_{máx}}$ obtida pelo ensaio de Proctor normal.

Segundo BEUTLER et al. (2008) a quantificação da D_{sr} , estabelece o grau ou estado de compactação do solo, que visa estabelecer um valor limitante de compactação à produtividade das culturas e, que seja similar para todos os solos minerais. Observou-se que a D_{sr} de 0,76; 0,66 e 0,85 para as áreas sob Feijão, Eucalipto e Cerrado respectivamente, mantiveram valores abaixo de 0,86, é resultado interessante, segundo os mesmos autores, pois quando acima disso, são considerados elevados e prejudiciais ao desenvolvimento das culturas, de tal maneira, que, apenas o solo sob Mata Nativa se aproximou deste valor crítico.

O estabelecimento do grau de compactação do solo é realizado através de parâmetros físicos, contudo, este altera-se de acordo com a umidade do solo, o que se observa exatamente nas figuras 2A, 2B e 2C, em que a D_s age em função do teor de água no solo, até atingir um ponto de máximo, e a partir deste, ocorre o declínio da D_s consoante a adição de água neste solo. Esse comportamento ocorre porque, em umidades baixas, a adição de água cria filmes de água ao redor das partículas minerais, reduzindo o atrito entre as mesmas, facilitando a compactação, e compactando-se o solo em vários teores de água, mas sempre com a mesma energia, e relacionando os valores de densidade obtidos com esses teores, se obtém uma curva de compactação do solo, da qual se pode calcular sua $D_{s_{máx}}$ e o teor de água em que essa ocorre (BOUKOUNGA, 2009).

A curva de compactação do solo (Figura 2A, 2B e 2C) teve o mesmo comportamento, independente da cobertura vegetal existente sob o solo.

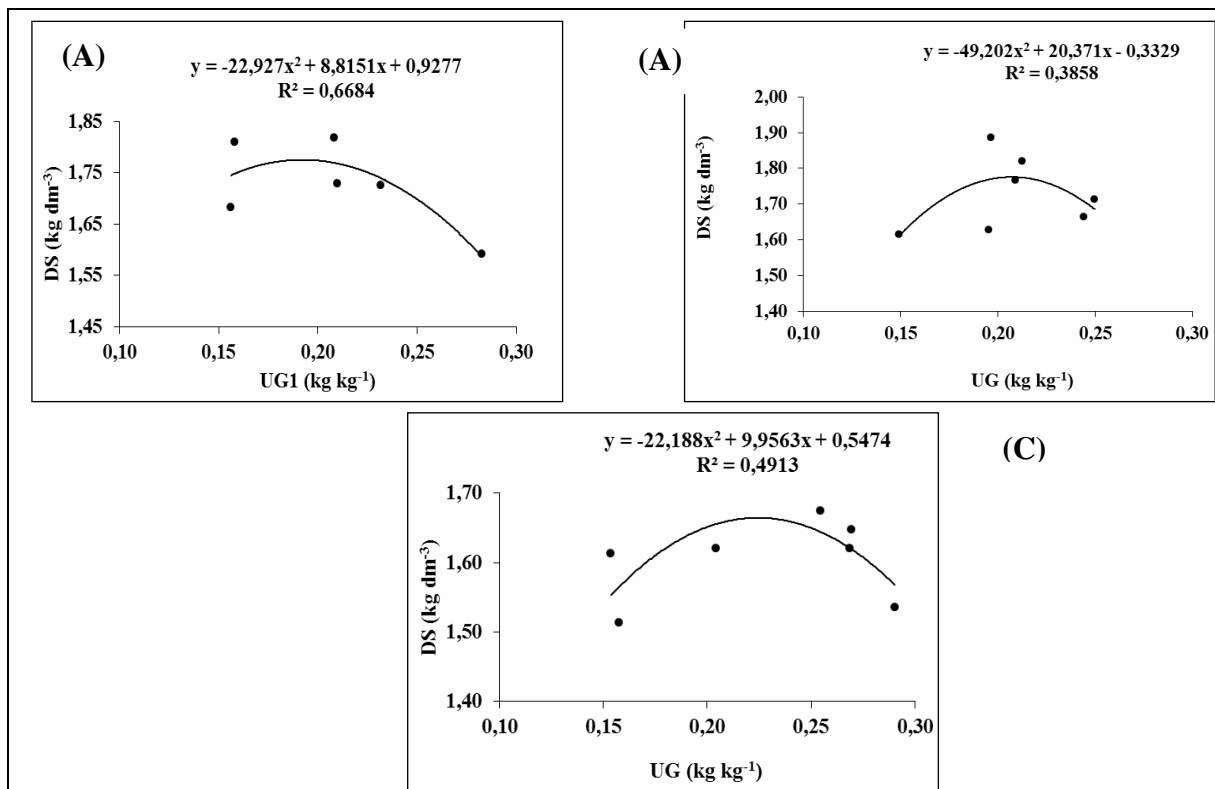


FIGURA 2. Curvas de compactação, densidade do solo em função a umidade gravimétrica em áreas cultivadas com feijão (*Phaseolus vulgaris*) (A), Eucalipto (*Eucalyptus spp*) (B) e área de mata nativa (Cerrado) (C).

Para a obtenção das curvas de compactação do solo, os valores da Ds e da umidade gravimétrica obtidos através do ensaio de Proctor normal, foram plotados nos eixos das ordenadas e das abscissas, respectivamente. Analisando as curvas de compactação, observa-se que independente da cobertura vegetal existente na área há uma relação exponencial, em que o teor de água aumenta proporcionalmente em relação à Ds, até atingir um ponto máximo, a partir deste valor e, a seguir, a densidade do solo estabelece uma relação inversamente proporcional à umidade, devido à baixa compressibilidade da água.

O ensaio de Proctor mostrou-se eficiente, para obter a curva de compactação do solo, e ter conhecimento sobre a umidade que se deve manter o solo sem tráfego, preservando o solo em busca da manutenção da produtividade, BEUTLER et al. (2008), porém, o ponto negativo é que este é muito trabalhoso e necessita de grande quantidade de solo para determinação da curva de compactação, o que dificulta sua realização, é por estes motivos que, BOUKOUNGA (2009) considera que o ensaio é pouco usual nos laboratórios de análises de solo (exige cerca de 10 kg de solo). Ainda a energia empregada no ensaio Proctor é superior àquela produzida pelas máquinas e animais que transitam sobre o solo, isto é, a energia é superior à normalmente observada no campo, citam BRAIDA et al. (2006).

CONCLUSÕES

- 1) Os amostradores testados interferiram significativamente nos valores de densidade do solo e porosidade total.
- 2) O método de coleta utilizando os amostradores A3, A4 e A5 apresentaram maior eficiência, já que permite minimizar os erros provenientes do operador na amostragem de campo.
- 3) Os valores de densidade do solo máxima obedeceram à seguinte ordem decrescente Eucalipto > Feijão > Mata Nativa, enquanto as umidades ótimas de compactação seguiram a seguinte ordem crescente de valores Feijão < Eucalipto < Mata Nativa.
- 4) Nenhuma cobertura vegetal apresentou solo com Drs acima de 0,86, o que para alguns autores é considerado um valor crítico e prejudicial ao desenvolvimento das plantas cultivadas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 7182: Solo. **Ensaio de compactação - ABNT**. 1986. NBR 3. Rio de Janeiro, 1986. 11p.
- ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. A Model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, n. 2, p. 319-332, 1991.
- BEUTLER, A.N.; FREDDI, O.S.; LEONE, C.L.; CENTURION, J.F. Densidade do solo relativa e parâmetro "S" como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n.1, p. 27-36, ago. de 2008.
- BOUKOUNGA, J. C. **Propriedades físico-mecânicas de um argissolo sob diferentes sistemas de manejo e preparos do solo**, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009, 89 p.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.
- CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 813-819, 2005.
- CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 70, n. 1, p. 425-433, 1990.
- DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E. É. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 337-346, abr. 2000.

FIGUEIREDO, L. H. A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 487-493, 2000.

FORTES, R. M. Compactação. 12p. 2002. Disponível em: <http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/estradas2/3_COMPACTACAO.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2012.

FRÁGUAS, J. C. Amostragem de solo para análise em vinhedos. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – CNPUV**, Bento Gonçalves-RS, n. 8, 1992. 4p (Comunicado Técnico Embrapa).

HÅKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 71-85, 2000.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia: Relações solo-planta. 1. ed. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: EDIUPF, 2008. 212p.

LINDSTRON, M.J.; VOORHEES, W.B. **Response of temperate crops to soil compaction**. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C. Soil compaction in crop production. London, Elsevier, 1994. p.265-286. (Developments in Agricultural Engineering, 2).

MENTGES, M. I.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade máxima pelo ensaio de Proctor normal para seis solos em diferentes manejos e sua relação com o teste de compressão uniaxial. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: conquistas e desafios da ciência do solo brasileira, 2007, Gramado-RS, 5p.

NETTO, I.T.P.; KATO, E.; GOEDERT, W.J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1441-1448, set./out. 2009.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT; J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, ago. 2007.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. 1. ed. São Paulo: USP, 1977. 509 p.