

DENSIDADE DO SOLO E DENSIDADE RELATIVA – INDICADORES DA QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO AMARELO SOB DIFERENTES MANEJOS DE PASTAGENS E MATA NATIVA***DENSITY OF SOIL AND RELATIVE DENSITY – INDICATORS OF PHYSICAL QUALITY OF A YELLOW LATOSOL UNDER DIFFERENT MANagements.***

Gustavo Dias Custódio¹; Adriana Aparecida Ribon²; Kathleen Lourenço Fernandes³; Victor Talles Lourenceti Hermógenes⁴; Leonardo Rodrigues Barros⁵

^{1,2,4,5}Ciência do Solo, Universidade Estadual de Goiás – UEG, Palmeiras de Goiás – GO – Brasil;

¹gustavodiascustodio@gmail.com; ²aaribon@yahoo.com.br; ⁴victor_lourenceti@hotmail.com;

⁵leonardo92@hotmail.com

³Clencia do Solo, Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Jaboticabal – SP, Brasil, kathleen_agro@hotmail.com

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar a densidade do solo, a umidade gravimétrica, a densidade máxima e a densidade relativa de um LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso, nos diferentes sistemas de manejo de pastagens e mata nativa. Foram estudados os seguintes sistemas de manejo de pastagens: ILPF (Integração lavoura pecuária floresta); IPF (Integração pecuária floresta); ILP (Integração lavoura pecuária); P (Área de pastagem); MN (mata nativa); PIQ (Piquete rotacionado). O experimento foi organizado em delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, onde as parcelas eram os diferentes sistemas de manejo e as sub parcelas quatro camadas do solo 0 – 0,10m; 0,10 – 0,20m; 0,20 – 0,30m e 0,30 – 0,40m. A densidade do solo foi avaliada pelo anel de bordas cortantes, quando já foi aferida a umidade do solo. A densidade máxima foi verificada pelo ensaio de Proctor, e a densidade relativa foi obtida pela relação entre a densidade do solo e a densidade máxima. Os sistemas de manejo não influenciaram na densidade relativa do solo. Os valores de densidade relativa foram todos acima dos níveis críticos considerados na literatura.

Palavras chaves: compactação; densidade máxima; sistemas de integração.

Abstract

This study aimed to evaluate the soil density, gravimetric moisture, maximum density and relative density of a Oxisol Distrocoeso under different management of pastures and native forest systems. The following pasture management systems were studied: IAFP (Integration livestock farming forest); IPF (Integration livestock forest); ILP (Integration livestock farming); P (pasture area); MN (Forest); PIQ (rotated Picket). The experiment was arranged in a completely randomized design in subdivides plots, where plots were the different management systems and sub plots were four soil layers 0 to 0.10m; 0.10 to 0.20m; 0.20 to 0.30 and m from 0.30 to 0.40m. Bulk density was evaluated by the ring sharp edges when it was already measured soil moisture. The maximum density was verified by the Proctor test, and the relative density was obtained by the ratio between the bulk density and maximum density. The management systems did not influence the relative density of the soil. The values of relative density were all above critical levels considered in the literature.

Key words: compression; maximum density; system integration.

Recebido em: 13/02/2015.

Aceito em: 31/03/2015.

Introdução

A explosão populacional impôs ao Brasil uma crescente preocupação com o aumento da produção agrícola. Todavia, diversos problemas são observados quando se exige essa maior produção, entre eles estão: produção de forma sustentável, problemas sanitários, com surtos de várias pragas e doenças, dívidas financeiras, preços de insumos e a degradação de vastas áreas cultivadas com pastagens (MACEDO; ARAÚJO, 2012). Atualmente cerca de 80% das pastagens brasileiras, encontra-se em algum nível de degradação (NASCIMENTO, 2011), que inclui os danos causados pela compactação dos solos.

Como alternativas para minimizar estes problemas têm surgido novas práticas culturais, que se baseiam no cultivo simultâneo de espécies. Os sistemas em associação de lavoura, pecuária e floresta, tem sido utilizado desde os primórdios da agricultura, mas foi na década de 60 e 70, que o processo foi intensificado (KICHEL et al., 2012). E ainda hoje não é amplamente utilizado devido ao tradicionalismo e resistência à adoção de novas tecnologias dos produtores (BALBINO et al., 2012a).

O sistema de integração lavoura pecuária floresta, consiste na associação de espécies em esquema de rotação, consórcio ou sucessão, e pode ter variação como integração lavoura pecuária, integração pecuária floresta e integração lavoura floresta (BALBINO et al., 2012a). Os sistemas favorecem a quebra do ciclo das doenças, pragas e plantas daninhas (VILELA et al., 2011); minimizam os custos de produção, como observado por Andrade et al. (1989); aumenta a deposição de MOS (Matéria Orgânica do solo), que contribui para melhora química e física do solo (VILELA et al., 2003); possibilita a aplicação em grandes, pequenas e médias propriedades; aumento do bem estar animal; redução da pressão para abertura de novas áreas; aumento na produtividade de leite, carne, grãos, forragem e madeira, entre outros (BALBINO et al., 2012a). Um dos destaques para os sistemas de integração é a possibilidade de

recuperação de pastagens degradadas e a recuperação da qualidade física do solo (MACEDO; ARAÚJO, 2012).

A maior deposição de MOS oferecida pelo sistema é capaz de favorecer a agregação do solo, contribuindo para recuperação da qualidade física do mesmo (BALBINO et al., 2012ab; VILELA et al., 2003). Estudos de Carneiro et al. (2009) e Loss et al. (2011) evidenciaram a melhor qualidade física do solo em sistemas de integração lavoura pecuária floresta, indicando menores índices de compactação do solo.

A compactação do solo é um processo evolutivo caracterizado pelo aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total, pelo rearranjo estrutural das partículas do solo (REICHERT et al., 2010). Seu estado atual é mensurado por diversos atributos do solo, entre eles a densidade do solo, a densidade máxima e a densidade relativa.

A densidade do solo é dada pela diferença entre a massa do solo e um volume conhecido, onde a amostra foi coletada (FERREIRA, 2010). Já a densidade máxima é dada pela máxima compactação do solo, em uma umidade crítica (KLEIN, 2006). Vários estudos trabalham com a densidade do solo e a densidade máxima (REINERT et al., 2008; FERREIRA, 2010; BRAIDA et al., 2006).

Todavia, a densidade do solo é altamente influenciada pelo sistema de manejo adotado e pela textura do solo (AGUIAR, 2008). Neste sentido, surgiu a densidade relativa, que é uma relação entre a densidade do solo e a densidade máxima, que indica a compactação do solo não considerando a textura do solo e a MOS (KLEIN et al., 2009).

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a densidade do solo, a umidade gravimétrica, a densidade máxima e a densidade relativa, de um LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso, nos diferentes sistemas de uso e manejo de pastagens e mata nativa.



Material e Métodos

O experimento foi realizado na propriedade Luz da Vida, localizada no Município de Campestre-GO (Lat. máx. 16°46,472' e Log. min. 49°44,966'), com tipo climático Cwa, segundo a classificação climática de Köppen, para a região centro oeste do Brasil (clima subtropical/clima tropical de altitude). As análises das propriedades físicas estudadas: Densidade do Solo (DS) e Umidade Gravimétrica (UG) foram realizadas no Laboratório de solos da Universidade Estadual de Goiás, Campus Universitário de Palmeiras de Goiás-GO, já as análises de Densidade Máxima (DM) e Umidade Ótima ou crítica (U_{OT}) (Teste de Proctor Normal) foi realizado no Laboratório de Física do Solo do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde.

O solo em estudo foi classificado como um LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico (EMBRAPA, 2013), textura argilosa, com valores de argila, silte e areia de 357 g Kg⁻¹, 107 Kg⁻¹, 536 g Kg⁻¹, respectivamente. O estudo das variáveis foi organizado em um delineamento em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, sendo os tratamentos principais os cinco sistemas de uso e manejo de pastagens e mata nativa e os tratamentos secundários quatro camadas do solo (0-0,1m; 0,1-0,2m; 0,2-0,3m; 0,3-0,4m), com três repetições, totalizando 72 amostras. Cada parcela apresentou aproximadamente 1800 m². Os tratamentos foram:

- ILPF: Área com Integração lavoura pecuária floresta, com eucalipto no espaçamento de 3,0x1,5m há 6 anos e implantação do consórcio soja braquiária no sistema barreira e milho braquiaria;
- IPF: Área com Integração pecuária floresta, com eucalipto e capim braquiária; no espaçamento de 3,0x1, 5m com 6 anos de implantação;
- ILP: Área de semeadura da soja sobre preparo convencional após dessecação da pastagem (*Brachiaria decumbens* com oitos de implantação) e plantio de milho após colheita da soja;

- P: Área de pastagem com capim braquiária destinada a pastoreio de animais com 8 anos;
- MN: mata nativa (área de preservação permanente natural);
- PIQ: Piquete rotacionado com capim Mombaça destinado a pastoreio de animais.

As amostras para análise das propriedades físicas foram coletadas em janeiro de 2013 de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2011). Os anéis, de volume conhecido foram cravados nas camadas de 0-0,1m; 0,1-0,2m; 0,2-0,3m; 0,3-0,4m. As amostras foram devidamente embaladas, identificadas e acondicionadas até a chegada ao laboratório. Em laboratório foram levadas para estufa, 105 °C por 24 h. As amostras nos anéis possibilitaram os cálculos da densidade do solo e a umidade gravimétrica.

A unidade gravimétrica do solo foi calculada conforme Fórmula 1, que se baseia na massa de solo úmido e na massa de solo seco em estufa.

$$Ug = \frac{Mu - Ms}{Ms}$$

(1)

Sendo: Ug = Umidade gravimétrica, g g⁻¹; Mu = Massa do solo úmido, g; Ms = Massa do solo seco em estufa, g.

A densidade do solo foi determinada conforme a Fórmula 2, que se baseia na massa seca do solo seco e o volume do anel já conhecido.

$$Ds = \frac{Ms}{v}$$

(2)

Sendo: Ds= Densidade do solo, Kg m⁻³; Ms=Massa do solo seco, Kg; v= volume do anel volumétrico, 0,67 m³.

A densidade máxima do solo foi determinada nos tratamentos em amostras deformadas coletadas na camada de 0-0,1m; 0,1-0,2m; 0,2-0,3m; 0,3-0,4m. Para tal, será utilizado o teste Proctor normal.



Para a análise no equipamento aproximadamente 5kg de solo foram peneiradas em peneira de 4,0 mm, a umidade da amostra foi medida e em seguida pulverizou-se uma pequena quantidade de água para homogeneizá-la. O solo solto foi colocado no cilindro a uma altura em que o solo depois de compactado, tenha 1/3 da altura total do cilindro. Posteriormente o ensaio consistiu em compactar a amostra, em três camadas sucessivas, com aplicação de 25 golpes.

Após plotagem dos resultados em um gráfico (umidade gravimétrica versus densidade do solo) e ajustando em seguida um polinômio de 2º grau ($D_s = aU^2 + bU + c$), obtendo a curva de compactação do solo, com a umidade ótima (U_{ot}) e densidade do solo máxima (DM), obtida pela fórmula:

$$U_{ot} = \frac{-b}{2a}, \quad DM = \frac{-(b^2 - 4ac)}{4a} \quad (3)$$

Onde:

a, b e c = parâmetros da equação; U = variáveis encontradas nos gráficos gerados pelo Excel.

A densidade relativa do solo (DR) foi obtida pela divisão da densidade do solo pela densidade máxima do solo obtida no teste de Proctor.

As médias de DS, UG e DR foram submetidas à análise estatística, pelo software ASSISTAT, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Também foram observadas as análises de regressão da curva de densidade máxima em função da umidade do solo necessária para atingi-la, com auxílio do software EXCEL.

Resultados e Discussão

Densidade do solo

As médias de densidade do solo (DS) não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para nenhuma das camadas ou sistemas de uso e manejo de pastagens e mata nativa (Tabela 1), mas pôde-se observar que a MN apresentou as menores médias para as camadas de 0 – 0,10m, 0,10 – 0,20m e 0,20 –

0,30 m, com aumento em profundidade. Para a camada de 0,30 – 0,40 m o tratamento com menor média de DS foi a Pastagem. Bicalho (2011) observou menores valores de DS para a camada de 0 – 0,20m de um Cambissolo, que os observados neste. O solo do local de estudo possui caráter coeso ao longo do seu perfil, favorecendo o aumento da DS, como também foi observado por Silva e Ribeiro (1997) ao estudarem um Latossolo Amarelo. O caráter coeso é observado em solos com adensamento natural, dado pelo empacotamento das partículas mais finas (FERREIRA, 1988).

Observa-se que os coeficientes de variação foram baixos em ambas as parcelas avaliadas. Provavelmente efeito da coesão do solo estudado, que favoreceu a homogeneização dos dados.

A ILPF apresentou médias entre 1,45 a 1,58 Kg m⁻³, sendo que a menor média foi observada na camada 0 – 0,10m e a maior na camada de 0,30 – 0,40m. Este comportamento só foi observado na MN, provavelmente devido ao peso das camadas adjacentes, que podem causar a maior compactação em sub superfície (KIEHL, 1979). Enquanto na ILPF pode ter ocorrido pelo uso de gradagem em superfície, favorecendo a redução da DS. O mesmo pode ser observado para a camada de 0 – 0,10m da ILP. Todavia o efeito da gradagem é temporário, com o cultivo e o pisoteio dos animais, o solo se estrutura novamente.

Os menores valores de DS na camada de 0 – 0,10 m da ILP e da ILPF também podem ter sido observados devido ao acúmulo de MOS que estes sistemas promovem. Prevedello et al. (2007) observaram menores valores de DS nas camadas superficiais em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com eucalipto, e também atribuíram os resultados a maior deposição de MOS.

Considerando que os valores críticos de DS, a partir dos quais há impedimento no crescimento radicular e diminuição na infiltração de água, exposto por Ferreira et al. (2010), estão



entre 1,27 e 1,57 Kg m⁻³, maior parte dos valores encontrados neste estão entre os valores críticos. Apenas as camadas 0 – 0,10m e 0,10 – 0,20m da MN apresentaram médias fora dos valores críticos. Observa-se, então, outra evidência da

coesão deste solo na DS. Neste sentido, os menores valores observados na ILPF, ILP e IPF podem evidenciar o efeito dos sistemas de integração quanto à melhoria da qualidade física do solo.

Tabela 1. Densidade do solo (DS) no LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico em função dos sistemas de manejo e uso de pastagens e mata nativa, nas camadas estudadas.

Sistemas de Manejo	Camadas (m)			
	0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30	0,30 – 0,40
	-----Kg m ⁻³ -----			
ILPF	1,45** aA	1,51 aA	1,54 aA	1,58 aA
IPF	1,46 aA	1,61 aA	1,52 aA	1,40 aA
ILP	1,49 aA	1,57 aA	1,50 aA	1,50 aA
P	1,52 aA	1,51 aA	1,40 aA	1,30 aA
MN	1,10 aA	1,24 aA	1,27 aA	1,33 aA
PIQ	1,58 aA	1,53 aA	1,51 aA	1,50 aA

CV (%) sistemas de manejo = 7,64; CV (%) camadas = 6,03. *ILPF: Integração lavoura pecuária floresta; PIQ: Piquete; P: Pastagem; ILP: Integração lavoura pecuária; IPF: Integração pecuária floresta; MN: Mata nativa. **Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As médias observadas na IPF e IPL foram maiores que as obtidas no sistema de ILPF. Marchão et al. (2007) verificaram que em áreas de integração lavoura pecuária, há aumento na DS, em Latossolo Vermelho, devido as épocas em que há o tráfego de animais na área. O mesmo pode não ter sido observado na ILPF pelo sistema adotar os três componentes da integração que juntos proporcionam maior deposição de MOS.

A IPF, P e PIQ para todas as camadas, apresentaram maiores valores de DS em superfície, e menores em sub superfície. Estes resultados podem evidenciar a maior compactação ocasionada pelo pisoteio animal que ocorreram nestes tratamentos. Todavia observa-se que os tratamentos sobre sistemas de integração apresentaram menores médias que na P e PIQ. Tendo o PIQ apresentado as maiores médias de DS.

De acordo com Imhoff et al. (2000) o uso de capim com crescimento em touceira favorece a compactação do solo pela maior superfície do solo exposta ao pisoteio animal. Resultados que foram possíveis de se observar neste estudo no P. Os autores também apontam outras razões para

as maiores médias de DS observadas no PIQ, como: idade na forragem, taxa de lotação, umidade do solo no momento do pastejo entre outros, favorecendo valores críticos de DS em camadas superficiais (FERREIRA et al., 2010).

Resultado semelhantes aos observados neste, para o PIQ, também foram observados por Marchão et al. (2007), em Latossolo Vermelho, com capim Mombaça. Os autores também atribuíram os resultados ao hábito de crescimento da forrageira.

Umidade gravimétrica

As médias de UG são apresentadas na Tabela 2. Observou-se a ausência de diferença significativa para as médias, das camadas estudadas ou dos sistemas de manejo. O processo de compactação e a coesão deste solo possivelmente contribuíram para a diminuição do sistema poroso do solo, e assim sua capacidade de armazenar água. De acordo com Figueiredo et al. (2008) Latossolos sob pastagens, em especial



aquelas degradadas, perdem a capacidade de armazenar água e consequentemente

apresentam menores valores de umidade.

Tabela 2. Umidade Gravimétrica (UG) no LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico em função dos sistemas de manejo e uso de pastagens e mata nativa, nas camadas estudadas.

Sistemas de Manejo	Camadas (m)			
	0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30	0,3 - 0,40
	-----Kg kg ⁻¹ -----			
ILPF	0,15** aA	0,13 aA	0,14 aA	0,17 aA
IPF	0,16 aA	0,17 aA	0,19 aA	0,19 aA
ILP	0,18 aA	0,16 aA	0,18 aA	0,18 aA
P	0,15 aA	0,17 aA	0,20 aA	0,20 aA
MN	0,33 aA	0,29 aA	0,30 aA	0,24 aA
PIQ	0,16 aA	0,17 aA	0,17 aA	0,17 aA

CV (%) sistemas de manejo = 19,21; CV (%) camadas = 21,80. *ILPF: Integração lavoura pecuária floresta; PIQ: Piquete; P: Pastagem; ILP: Integração lavoura pecuária; IPF: Integração pecuária floresta; MN: Mata nativa. **Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Mesmo não havendo diferença estatística observou-se que as médias da MN foram as maiores, diminuindo em profundidade. Comportamento inversamente proporcional ao observado com as médias de Densidade do Solo (DS). O comportamento inverso entre as médias de DS e Umidade Gravimétrica (UG), também pode ser observado nos tratamentos ILP, IPF, P e PIQ. Guariz et al. (2009) estudando Latossolo Vermelho Amarelo, estudando pastagem, plantio, fragmento florestal e área florestal, também observaram o mesmo comportamento inverso entre a DS e a UG.

O tratamento ILPF não apresentou comportamento linear e nem inverso com a DS. Enquanto a DS aumentou em profundidade a UG diminuiu da camada 0 – 0,10 m para a camada de 0,10 – 0,20m, e voltou a aumentar para as demais camadas, sendo a maior média observada na última camada. Para a IPF, ILP, P e PIQ, a UG aumentou em profundidade. As maiores médias de UG observadas em profundidade podem ter sido observadas por se tratar de uma camada mais profunda, que não apresenta perda de umidade para a atmosfera pela evaporação. E devido aos menores valores de DS que favorecem melhor ambiente poroso, que favorece a UG.

Os valores de UG, assim como os de DS, também foram baixos quando comparado com outras literaturas. Marchão et al. (2007) encontraram valores de UG entre 0,28 a 0,48 Kg kg⁻¹, para sistemas de integração lavoura pecuária, Cerrado e pastagem, lavoura, para Latossolo Vermelho. Médias maiores que as observadas neste estudo. Apenas a MN apresentou valores próximos aos encontrados pelos autores. Valores possíveis de serem observados devido a coesão do solo em estudo. De acordo com Ferreira et al. (2010) as classes de solo, devido sua diversificada mineralogia, estrutura e textura podem apresentar diferentes teores de UG, mesmo em solo sob MN ou Cerrado.

As médias de UG observadas neste, para os tratamentos ILPF e ILP foram semelhantes às observadas por Prevedello et al. (2007). Os autores ao estudarem Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com eucalipto em plantio direto, com escarificação e com grade aradora, observaram o efeito do revolvimento do solo na UG. Cardoso et al. (2011) ao estudarem Neossolos Quartzarênicos, também não observaram diferença significativa entre as médias de UG encontradas sob pastagem e



Cerrado. De acordo com os autores o sistema de manejo das pastagens, e deposição de MOS destas, podem favorecer a UG, apresentando valores próximos ao encontrados em solos sem interferência antrópica. Portanto, os resultados encontrados neste estudo evidenciam que os sistemas de manejo não influenciaram na UG.

Densidade máxima

As curvas de DS em relação a umidade do solo, indicando a umidade crítica do solo em que ocorre a máxima compactação. Para o tratamento ILPF observa-se, na camada 0 –

0,10m que a DM foi dada próximo a $1,58 \text{ Kg m}^{-3}$ em uma umidade próxima de 14,88%, com R^2 de 0,87 (Tabela 3). Ou seja, a UG explicou em 87 % as variações na DM. Na camada de 0,10 – 0,20 m as variações na DM em função da UG foram justificadas em 95 %, para a camada de 0,20 – 0,30 em 98% e para a camada de 0,30 – 0,40m em 94%. Indicando que a umidade e diretamente relacionada com a DM. Não foi observado comportamento linear entre as camadas os valores de DM aumentaram até a camada de 0,20 – 0,30m e diminuíram na camada de 0,30 – 0,40m.

Tabela 3. Modelos obtidos para a densidade máxima do solo (DS) em função da umidade gravimétrica do solo (UG), do LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico para os diferentes sistemas e manejo de pastagens nas camadas de 0,0-0,1m; 0,1-0,2m; 0,2-0,3m; e 0,3 e 0,4m.

Sistema de Manejo	Prof. (m)	Modelos	Coefficiente de Determinação (R^2)	Ug Crítica	DSM Máxima
ILPF	0,0-0,1	$Ds = -0,0025U^2 + 0,0744U + 1,0248$	0,8755	14,88	1,58
ILPF	0,1-0,2	$Ds = -0,003U^2 + 0,0887U + 0,9727$	0,9586	14,78	1,63
ILPF	0,2-0,3	$Ds = -0,0037U^2 + 0,1068U + 0,882$	0,9856	14,43	1,65
ILPF	0,3-0,4	$Ds = -0,0031U^2 + 0,0953U + 0,8807$	0,9427	15,37	1,61
IPF	0,0-0,1	$Ds = -0,0024U^2 + 0,0768U + 0,9386$	0,947	16,00	1,55
IPF	0,1-0,2	$Ds = -0,0029U^2 + 0,0857U + 0,987$	0,681	14,77	1,62
IPF	0,2-0,3	$Ds = -0,0026U^2 + 0,0879U + 0,8428$	0,9855	16,90	1,59
IPF	0,3-0,4	$Ds = -0,0024U^2 + 0,0889U + 0,7364$	0,9622	18,52	1,56
ILP	0,0-0,1	$Ds = -0,0022U^2 + 0,0643U + 1,1143$	0,9535	14,61	1,58
ILP	0,1-0,2	$Ds = -0,0021U^2 + 0,0696U + 0,9675$	0,9137	16,57	1,54
ILP	0,2-0,3	$Ds = -0,0027U^2 + 0,0963U + 0,7259$	0,9709	17,83	1,58
ILP	0,3-0,4	$Ds = -0,0033U^2 + 0,1204U + 0,449$	0,9863	18,24	1,55
P	0,0-0,1	$Ds = -0,0017U^2 + 0,0668U + 0,8105$	0,9216	19,64	1,47
P	0,1-0,2	$Ds = -0,0006U^2 + 0,03U + 1,0471$	0,8005	25,00	1,42
P	0,2-0,3	$Ds = -0,002U^2 + 0,0936U + 0,3502$	0,9292	23,40	1,45
P	0,3-0,4	$Ds = -0,0018U^2 + 0,0879U + 0,3441$	0,9716	24,42	1,42
PIQ	0,0-0,1	$Ds = -0,0015U^2 + 0,0594U + 0,8637$	0,8680	19,80	1,45
PIQ	0,1-0,2	$Ds = -0,0018U^2 + 0,0712U + 0,7538$	0,9044	19,77	1,46
PIQ	0,2-0,3	$Ds = -0,0017U^2 + 0,0689U + 0,7439$	0,9789	20,26	1,44
PIQ	0,3-0,4	$Ds = -0,003U^2 + 0,1161U + 0,3797$	0,9856	19,35	1,50
MN	0,0-0,1	$Ds = -0,0005U^2 + 0,0315U + 0,7022$	0,9784	31,5	1,20
MN	0,1-0,2	$Ds = -0,0006U^2 + 0,0286U + 0,9519$	0,9437	23,33	1,29
MN	0,2-0,3	$Ds = -0,0008U^2 + 0,0375U + 0,9557$	0,9898	23,44	1,40
MN	0,3-0,4	$Ds = -0,0012U^2 + 0,0488U + 0,967$	0,9991	20,33	1,46

ILPF: Integração lavoura pecuária floresta; IPF: Integração pecuária floresta; ILP: Integração lavoura pecuária; P: Pastagem extensiva com 8 anos de uso; PIQ: Piquete rotacionado a pastoreio de animais, implantado em 2 anos; e MN: Mata nativa.



Na IPF também não foi observado comportamento linear, como pode ser observado na Tabela 4. Os valores de DM foram próximos aos observados no tratamento anterior, mas a umidade principalmente nas últimas camadas foi maior, ou seja, é necessário maior nível de UG para que haja a DM neste tratamento. Observa-se ainda que o coeficiente de determinação para a camada de 0,10 – 0,20m foi baixo, 0,68. Portanto, a UG explicou a DM em apenas 68% para esta camada, enquanto para as demais os valores de determinação ficaram acima de 90%, estando à maioria em um ótimo nível de determinação.

Para a ILP os valores de DM também foram próximos aos observados anteriormente, entre 1,54 – 1,58 Kg dm⁻³ (Tabela 4). Os valores de umidade crítica, também foram semelhantes. As variações da DM foram justificadas para todas as camadas estudadas em mais de 90%.

O PIQ apresentou menor DM, entre 1,42 – 1,47 Kg dm⁻³, com valores de umidade crítica acima de 19% para a camada de 0 – 0,10m e de 20% para as demais camadas (Tabela 4). A relação entre os valores foi explicada em mais de 90% para as camadas de 0 – 0,10m, 0,20 – 0,30m e 0,30 – 0,40m, e em 80% para a camada de 0,10 – 0,20m.

Para a P os valores de DM também, foram mais baixos que os descritos anteriormente, variando entre 1,44 – 1,50 Kg dm⁻³. As médias de umidade crítica, por sua vez, foram maiores (Tabela 4). O solo precisa de maior umidade para atingir a compactação máxima. A relação entre os valores foi explicada em 86% para a camada de 0 – 0,10m e em mais de 90% para as demais camadas.

A MN apresentou os menores valores de DM para as camadas de 0 – 0,10m e 0,10 – 0,20m, 1,20 e 1,29 Kg dm⁻³, respectivamente, sendo necessária uma UG de 31% e 23% para atingir estes valores (Tabela 4). Com coeficiente de determinação de 0,97 e 0,94. Para as camadas 0,20 – 0,30m e 0,30 – 0,40m os valores de DM foram próximos aos encontrados na P e no PIQ,

1,40 e 1,46 Kg dm⁻³, respectivamente. A umidade crítica foi acima de 20% para estas camadas e o coeficiente de determinação foi acima de 98%, para estas camadas.

Os resultados de menor valor de DM e maior UG para atingi-la evidenciam a melhor qualidade física destes tratamentos. Possivelmente, tal fato ocorreu devido grande conteúdo de MOS depositada nestes, seja pelas folhas e galhos na MN ou pela gramínea e dejetos dos animais na P e PIQ.

Aguiar (2008) também observaram valores de DM menores em MN. Contudo para os sistemas de: integração lavoura pecuária, com café, e café a pleno solo observaram aumentos iguais para as áreas de manejo, em LATOSSOLO VERMELHO Amarelo. De acordo com os autores a quantidade de MOS tem a capacidade de promover redução na DM. Braida et al. (2006) provaram a justificativa ao apresentarem curvas de compactação do solo e observaram que quanto maior a quantidade de MOS menor a DM, em um Argissolo e Nitossolo.

Marcolin e Klein (2011) também observaram o mesmo comportamento entre a DM e a MOS. Os autores justificaram esta relação entre os atributos pela MOS promover efeito positivo na estabilidade estrutural, visto que o material orgânico apresenta menor densidade que a dos minerais do solo, proporcionando melhor ambiente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Aratani (2008) ao estudar LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico. O autor encontrou valores de DM de 1,39 Kg dm⁻³, necessitando de uma UG de 31 % para atingir este valor, em sistema de plantio direto irrigado e sequeiro, plantio direto com integração lavoura pecuária, preparo convencional e mata nativa. Justificando o menor valor observado em função da granulometria do mineral de argila predominante neste solo.

Beutler et al. (2005) encontram valores próximos de 1,85 Kg dm⁻³ de DM para um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico e de 1,54 Kg



dm⁻³ para LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, justificando estes resultados pela diferença entre as granulometrias entre os solos. O mesmo não pode ser tão aplicado para este estudo, sob Latossolo Amarelo, todavia pode-se sugerir diferença entre as quantidades dos minerais de óxidos de ferro, alumínio e caulinita em cada tratamento, podendo justificar a diferença entre os tratamentos ILPF, ILP e IFP, com maiores valores de DM e entre os tratamentos P, PIQ e MN.

Alleoni e Camargo (1994) estudando LATOSSOLO VERMELHO Acriférico também observaram baixos valores de DM. De acordo com os autores, além da granulometria, a repulsão entre as cargas elétricas dos colóides

favorece a micro agregação máxima, interferindo nos valores de DM e na umidade crítica para atingir esta.

Densidade relativa

De acordo com Beutler et al. (2005); Marcolin e Klein (2011) a maior utilização da DM é para obtenção da DR, pela relação entre a DS e sua densidade em momento de máxima compactação. As médias de DR, deste estudo, podem ser observadas na Tabela 4. Observou-se que para nenhuma das camadas em nenhum dos sistemas de manejo estudados, houve diferença significativa de 5% de probabilidade. Como também foi observado para as médias de DS e UG.

Tabela 4. Densidade Relativa (DR) no LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso em função dos sistemas de manejo e uso de pastagens e mata nativa, nas camadas estudadas.

Sistemas de Manejo	Camadas (m)			
	0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30	0,30 – 0,40
ILPF	0,95** aA	0,99 aA	0,95 aA	0,90 aA
IPF	0,91 aA	0,92 aA	0,93 aA	0,97 aA
ILP	1,00 aA	0,96 aA	0,90 aA	0,90 aA
P	0,94 aA	1,00 aA	0,94 aA	1,00 aA
MN	0,99 aA	0,99 aA	0,97 aA	0,91 aA
PIQ	1,005 aA	1,00 aA	1,00 aA	0,99 aA

CV (%) sistemas de manejo = 19,21; CV (%) camadas = 21,80. *ILPF: Integração lavoura pecuária floresta; PIQ: Piquete; P: Pastagem; ILP: Integração lavoura pecuária; IPF: Integração pecuária floresta; MN: Mata nativa. **Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Estes resultados indicam que os sistemas de manejo não influenciaram de forma significativa na qualidade física do solo. Os valores de DR, entre 0,90 e 1,00 para os tratamentos em todas as profundidades, evidenciam alta compactação e adensamento do solo. Tendo em consideração que a DR avalia o estado de compactação do solo sem considerar a textura e a quantidade de MOS (ARATANI, 2008; BEUTLER et al., 2005; BEUTLER et al., 2008; CARVALHO et al., 2014). Pode considerar que o nível de adensamento do solo estudado, ocasionado pela coesão é alto, favorecendo ao aumento nos valores de DR.

Aguiar (2008) ao estudarem sistema de integração lavoura pecuária, com café é plantio de café em pleno sol, observou que a DR foi menor no sistema de integração. Desta forma, o autor concluiu que a DR explica o efeito do manejo e atua como indicador de qualidade do solo, retratando o efeito sobre a estrutura do solo. O autor ainda explica que maiores valores de DR indicam a DS se aproximou mais da DM, ou seja, o solo já está com alto nível de compactação, como foi possível neste estudo.

Carvalho et al. (2014) observaram em Neossolo Quartzarênico que a subsolagem na linha de plantio mais grade niveladora promoveu



os maiores valores de DR na camada de 0,15 a 0,25m, com valores entre 0,90 e 0,99. Resultados semelhantes aos observados neste estudo. Contudo os autores observaram redução na DR em profundidade, resultados não observados neste.

Klein (2006) estudando a DR em Latossolo Vermelho observaram valores entre 0,66 e 0,69, em mata nativa, e valores semelhantes para a camada 0,30 – 0,40m em áreas cultivadas. De acordo com o autor a variação da DR em profundidade deve-se as variações na DS, que por sua vez é alterada conforme o tráfego de máquinas e pelos sistemas de cultivo.

Klein (2006) ainda apontaram que a DR ótima é de 0,71 para Latossolo Vermelho e a limitante a partir de 0,88. Beutler et al. (2005) observaram como DR ótima para a produtividade de soja em LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico é de 0,84 e para LATOSSOLO VERMELHO Cauliníticos de 0,75.

Beutler et al. (2008) observam que a DR é um ótimo parâmetro para avaliação da qualidade física do solo. Com valores de 0,79 e 0,81 a partir dos quais há decréscimo na produtividade de soja e milho, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Girardello (2010) observam valores de DR acima de 0,86, considerado como solos do Rio Grande do Sul para LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sem escarificação para a camada de 0,05 – 0,10 m. Os demais tratamentos estudados pelo autor, escarificação com profundidade fixa e escarificação com profundidade variada,

apresentaram valores abaixo de 0,86. Para a camada 0,05m os valores foram próximos de 0,68.

Os valores considerados como limite para os Latossolos e Neossolos estudados acima foram todos abaixo dos encontrados neste estudo. Não foram encontrados dados de DR limitante e/ou ótima referentes aos Latossolos Amarelos na literatura. Portanto pode-se indicar que o adensamento do solo estudado, dado pela coesão, afetou os valores de DR, visto que foram observados em diversos sistemas de manejo com menores valores que os observados neste.

Conclusões

Os sistemas de manejo estudados, integração lavoura pecuária floresta, lavoura pecuária, pecuária floresta, pastagem, piquete, não influenciaram na densidade do solo, umidade gravimétrica, na densidade máxima e na densidade relativa do solo.

O Latossolo Amarelo devido seu caráter coeso, contribuiu para essa ausência de significância entre os dados.

Todos os valores de densidade relativa observados para o Latossolo Amarelo estudado, nos diferentes sistemas de uso e manejo de pastagens e mata nativa, foram acima dos valores considerados como limitantes para a produtividade da cultura.

Referências

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Departamento de Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Estadual de Viçosa, Viçosa, Mg, 2008.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos de Latossolos ácricos do norte paulista. **Scientia Agrícola**, v. 51, n. 2, p. 321-326, 1994.
- ANDRADE, C. M. S.; VALENTIM, J. F. Adaptação, produtividade e persistência de *Arachis pintoii* submetido a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.3, p.439-445, 1989.



- ARATANI, R. G. **Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas no estado de São Paulo**. 2008. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP 2008.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado Nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P. et al. **Agricultura sustentável por meio da intensificação lavoura pecuária floresta (iLPF)**. n. 138. Piracicaba – SP: Informações Agronômicas, International Plant Nutrition Institute, 2012.
- BALBINO, L. C.; KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D. J. et al. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. In: BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura pecuária floresta**. 2ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012a. p.12-18.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. et al. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29, p. 843-849, 2005.
- BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. S.; LEONE, C. L. et al. 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.2, p.27-36, 2008.
- BICALHO, I. M. Um Estudo da Densidade do Solo em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer, Goiânia-Go**, v. 7, n. 12, dez. 2011.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.605, 614, 2006.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N. et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.613-622, 2011.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F. et al. Atributos físico, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.
- CARVALHO, L. A.; REZENDE, I. S.; PANACHUKI, E. et al. Variáveis físicas do solo e produtividade de cana de açúcar sob sistemas de preparo na reforma de canavial. **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer, v.1, n.1, 2014.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2011. 230 p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 01-27.
- FERREIRA, M.M. **Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos brasileiros**. Viçosa, MG. UFV, 1988. 79p. (Tese D.S.)
- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de Sistemas de Manejo de Pastagens nas Propriedades Físicas do Solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, out. /dez. 2010.



GIRARDELLO, V. C. **Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto submetido a escarificação de sítio específico e rendimento da soja**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

GUARIZ, H R; A CAMPANHARO, W; PICOLI, M H S. et al. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. 2009, Natal. **Anais....** Natal: Inpe, 2009. p. 7709 - 7716.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.7, p.1493-1500, 2000.

KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D. J.; ZIMMER, A. H. et al. Sistemas de integração lavoura pecuária floresta. In: BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta**. 2ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p.2-9.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo-SP: Agronomia Ceres, 1979. 264p.

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.5, n1, p.26-32, 2006.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p.2475-2481, 2009.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011.

MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R. Sistemas de integração lavoura pecuária: alternativas para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura pecuária floresta**. 2ed. Brasília, DF: Embrapa,

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C. SILVA, E. M. da. et al. Qualidade Física de um LATOSSOLO VERMELHO sob Sistemas de Integração Lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42, n. 6, p. 873-882, jun. 2007.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, n.2, p.349-354, 2011.

NASCIMENTO, R. M. dos. **Rendimento de Soja Consorciada com Eucalipto, em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. Brasília-DF, Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2011. 48f. (Monografia de Graduação).

PREVEDELLO, J.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. et al. Efeito do manejo do solo nas propriedades físicas e no desenvolvimento inicial de *Eucalytus grandis*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, 2007, Gramado – RS. **Anais...** Gramado-RS, 2007. 5p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S. et al. Mecânica do solo. In: VAN LIER, Q. de J. **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 30-102.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.1805-1816, 2008.



SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana de açúcar no estado de Alagoas: Atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.4, p.677-684, 1997.

VILELA, L. et al. Benefícios da Integração Lavoura Pecuária. In: KLUSTHCOUCKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração Lavoura-Pecuária**. 1ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2003. p.143-181.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M. et al. Sistemas de integração lavoura pecuária, na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1127-1138, 2011.

