



Densidade relativa e resistência do solo à penetração como indicadores da qualidade física em sistemas integrados de produção⁽¹⁾

Wellington de Azambuja Magalhães⁽²⁾; Onã da Silva Freddi⁽³⁾; Vinicius Marchioro⁽⁴⁾; Guilherme Camargo Oliveira⁽⁴⁾; Flavio Jesus Wruck⁽⁵⁾, Renan Francisco Rimoldi Tavanti⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) e Fundação AGRISUS.

⁽²⁾ Doutorando; Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT); Cuiabá, MT; wellingtonagro@gmail.com; ⁽³⁾ Professor Ajunto; UFMT. Campus de Sinop; ⁽⁴⁾ Graduando em Agronomia; UFMT. Campus de Sinop. ⁽⁵⁾ Pesquisador da EMBRAPA Arroz e Feijão; UFMT. Campus de Sinop. ⁽⁶⁾ Mestrando em Agronomia; UFMT. Campus de Sinop.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Amarelo sob sistemas integrados de produção no norte de Mato Grosso. O experimento foi instalado em janeiro de 2009 na Unidade de Referência Tecnológica (URT) da EMBRAPA Agrossilvipastoril na Fazenda Gamada, município de Nova Canaã do Norte, MT. Os tratamentos consistiram de cinco sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) nos seguintes arranjos florestais: Eucalipto em linha simples, linha dupla e linha tripla (Eucalipto I, II e III respectivamente), Teca em linha tripla e Pau-balsa em linha tripla. As amostras indeformadas de solo foram coletadas no sentido transversal das espécies florestais com auxílio de cilindros metálicos. Houve maior densidade do solo nos sistemas de ILPF com Teca e Pau-balsa. A resistência do solo à penetração foi maior no sistema com Teca em linha tripla. Independente dos sistemas analisados, os valores das propriedades físicas em geral indicaram os sistemas de integração não alteraram o estado de compactação do solo.

Termos de indexação: estrutura do solo, ILPF, Proctor.

INTRODUÇÃO

Com o aumento pela demanda por alimentos e a busca pela preservação ambiental, produtores rurais e pesquisadores tem buscado desenvolver novas tecnologias que atendam às necessidades do campo e da cidade sem haver a necessidade da expansão das áreas cultiváveis. A implantação de árvores em meio a áreas de atividade agropecuária fez surgir um novo conceito de sistema integrado, são os chamados sistemas Agrossilvipastoris ou integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).

No processo de instalação e condução do sistema ILPF ocorrem profundas mudanças na dinâmica solo-planta, como maior aporte de matéria orgânica pelas plantas e dejetos de animais, maior ciclagem de nutrientes e menor revolvimento do

solo. Entretanto, são escassos os trabalhos que abordam diretamente a ação deste sistema nas propriedades físicas do solo, principalmente na inferência de indicadores da qualidade física do solo.

A densidade do solo (D_s) é uma das principais ferramentas para melhor compreensão do estado físico atual do solo. No entanto a interpretação de dados relativos à densidade se torna de difícil mensuração, pois um valor de D_s para um solo de textura argilosa pode caracterizar-se como compactado, e este mesmo valor para um solo de textura arenosa, pode indicar um solo extremamente solto (Beutler et al., 2008). Neste sentido, surgiu o “grau de compactação” ou “densidade relativa” partindo-se da necessidade de se encontrar um indicador para caracterizar o estado de compactação do solo em relação à máxima compactação possível para esse mesmo solo. A D_s e a resistência à penetração (RP) são indicadores da compactação do solo, estando essa diretamente relacionada com o crescimento radicular e retenção de água no solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Amarelo sob sistemas integrados de produção no norte de Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Unidade de Referência Tecnológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-Agrossilvipastoril), Fazenda Gamada, município de Nova Canaã do Norte, MT, Brasil. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima tipo Aw, tropical chuvoso, com nítida estação de seca.

Em janeiro de 2009 a área foi dessecada com herbicida glifosato ($1,26 \text{ kg ha}^{-1}$ do i.a.) e então realizada abertura de sulcos para o plantio das espécies florestais, com espaçamento de 20 m entre os renques para implantação de atividades

agrícolas e pecuária. Os tratamentos constaram de cinco sistemas de uso do solo constituídos com sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com diferentes arranjos e densidades de árvores, os quais estão descritos detalhadamente na **Tabela 1**. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de textura argila.

A faixa de 20 m entre os renques de árvores foi ocupada por lavoura nos anos iniciais. Em janeiro de 2009 foi realizada a semeadura de arroz como 1ª safra, seguido pelo plantio de braquiária apenas como cobertura do solo. Na safra 2009/2010 foi realizada a semeadura de soja como 1ª safra e arroz na 2ª safra. Na safra 2010/2011 houve semeadura de soja na 1ª safra e milho na 2ª safra. A partir de março de 2011 a pastagem foi introduzida em meio à lavoura de milho, a qual foi pastejada a partir de junho de 2011. A taxa de lotação média da área foi de 3,7 animais ha⁻¹, com ganho de 1,04 kg dia⁻¹ animal⁻¹, nas fases de recria e terminação.

Com o intuito de avaliar a variabilidade das propriedades físicas do solo sob diferentes ambientes proporcionados pelo sistema ILPF, considerou-se cinco posições de amostragem dentro de cada tratamento. As posições de amostragem ficaram definidas no sentido transversal aos renques das espécies florestais sendo: a 10 m das árvores (P1), a 5 metros (P2), sob as árvores (P3), e novamente a 5 m (P4) e a 10 m (P5) (**Figura 1**).

Tabela 1. Descrição dos sistemas integrados de produção.

Sistema	Arranjo Florestal
Eucalipto I	Eucalipto (<i>Eucalyptus urograndis</i>) em linha simples: 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (250 árvores ha ⁻¹).
Eucalipto II	Eucalipto em linha dupla: 3 m x 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (434 árvores ha ⁻¹).
Eucalipto III	Eucalipto em linha tripla: 3 m x 3 m x 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (577 árvores ha ⁻¹).
Teca	Teca (<i>Tectona grandis</i>) em linha tripla: 3 m x 3 m x 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (577 árvores ha ⁻¹).
Pau-Balsa	Pau-balsa (<i>Ochroma pyramidale</i>) em linha tripla: 3 m x 3 m x 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (577 árvores ha ⁻¹).

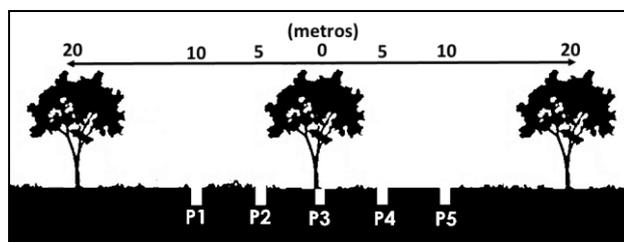


Figura 1 – Pontos de amostragem nos sistemas integrados de produção.

Em maio de 2013, retirou-se uma amostra indeformada por posição de amostragem nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, considerando-se três repetições por sistema de produção, num total de 150 amostras indeformadas. As amostras indeformadas foram obtidas por meio de cilindros metálicos de 0,049 m de diâmetro e 0,05 m de altura para determinação da Ds e RP.

A RP foi determinada por meio de um penetrômetro eletrônico estático com velocidade constante de penetração de 10 mm min⁻¹ e cone com ângulo de 30°. A RP média foi obtida a partir dos 180 valores centrais, desprezando-se um centímetro de cada extremidade da amostra.

A densidade do solo foi obtida através do peso do solo dividido pelo volume do cilindro e a densidade de referência do solo foi determinada em amostras deformadas coletadas na camada de 0,00-0,20 m e passadas em peneiras de 4 mm. Para tal, foi utilizado o teste de Proctor com reutilização do material (Nogueira, 1998), conforme normas da ABNT-NBR 7182 (1986). A densidade relativa do solo (Dsr) foi obtida pela divisão da densidade do solo pela densidade de referência e multiplicado por 100, sendo o resultado em porcentagem.

Os dados coletados foram submetidos aos testes de Shapiro Wilk & Levene, ambos a 5 % de probabilidade, para verificação da normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias, respectivamente. Para análise estatística considerou-se um delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas, em que o fator principal foi os sistemas integrados, e o fator secundário as distâncias de amostragem em relação às árvores, com três repetições. Quando o teste F foi significativo as variáveis foram comparadas pelo teste "t" a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre os fatores sistemas de produção e posição de amostragem do solo para as variáveis analisadas. A Ds apresentou diferença significativa entre sistemas



de produção e também para posição de amostragem em ambas as camadas analisadas.

Os sistemas de ILPF com Teca e Pau-balsa apresentaram os maiores valores de Ds nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m quando comparado aos sistemas de ILPF com Eucalipto (**Tabela 2**). Os menores valores de Ds foram observados nos sistemas com Eucalipto em linha simples e linha tripla (Eucalipto I e III respectivamente).

Os maiores valores de Ds do solo sob os sistemas com Teca e Pau-balsa podem ser atribuídos ao maior sombreamento promovido por essas espécies florestais. Desta forma, houve menor desenvolvimento da pastagem tornando o solo mais exposto ao pisoteio dos animais. Gobbi et al. (2009) avaliaram o comportamento do capim braquiária em diferentes níveis de sombreamento e observaram redução linear na produção de matéria seca. Segundo Paciullo et al. (2011) o sombreamento natural afeta tanto a intensidade quanto a qualidade da radiação incidente promovendo menor densidade de perfilhos, principalmente sob condições de sombra intensa.

A Dsr que corresponde a relação entre a densidade do solo e a densidade máxima do solo (Silva et al., 2010) apresentou diferença apenas para posição de amostragem. Para a camada 0,00-0,10 m houve maior Dsr na posição P5, havendo decréscimo nos valores em direção à posição P1 (**Tabela 3**).

Independentemente dos sistemas de produção e posição de amostragem, percebe-se que os valores de Dsr nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m encontram-se próximos de 90 % (**Tabela 3**). Vários estudos têm sido realizados no intuito de analisar a densidade relativa ótima para a produtividade ou a densidade relativa máxima suportada pelas culturas. Beutler et al. (2008) observaram queda na produtividade de soja e milho com densidade relativa a partir de 79 % e 81 %, respectivamente. Segundo Lindstron & Voorhees (1994), valores de Dsr acima de 86 % compromete o desenvolvimento das raízes para a maioria das culturas. Os valores médios de Dsr encontrados no presente trabalho podem ser considerados elevados e prejudiciais ao desenvolvimento das culturas. Vários fatores podem ter corroborado para os elevados valores de Dsr do solo nos tratamentos, entre eles a prática de manejo nos sistemas. Durante o processo de instalação dos tratamentos não houve preparo do solo, havendo apenas abertura de sulcos para o plantio das espécies florestais. Desta forma, presume-se que área já estava compactada ao fato de estar sendo conduzida anteriormente com pastagem no sistema extensivo. Além disso, a

condução dos sistemas no início com as culturas de arroz, soja e milho envolveram a utilização de máquinas para dessecação, controle de pragas e colheita de grãos. Com isso, os sistemas integrados ao longo de quatro anos não conseguiram proporcionar melhorias nas condições físicas do solo.

Percebe-se na camada 0,00-0,10 m que os valores de RP foram maiores no sistema em arranjo florestal com Teca e menor no sistema com Pau-balsa (**Tabela 2**). Independente dos tratamentos avaliados no presente trabalho, os valores de RP observados estão acima dos valores considerados críticos ao desenvolvimento da maioria das culturas agrícolas que é de 2,0 MPa (Tormena et al; 1998). Segundo Rosolem et al. (1999), valores de 1,3 MPa de RP, reduz o crescimento das raízes seminais adventícias do milho a metade. A RP na camada 0,10-0,20 m não apresentou diferença estatística entre os sistemas em ILPF, porém a média geral de 3,54 MPa é considerada elevada para o desenvolvimento das raízes. Os altos valores de RP observados na camada 0,00-0,10 m (5,13 MPa;) podem ser atribuídos ao pisoteio dos animais ao longo de 24 meses nos sistemas de ILPF e ao não revolvimento do solo para a instalação das culturas anuais e tráfego de máquinas na área.

CONCLUSÕES

Houve maior densidade do solo nos sistemas de ILPF com Teca e Pau-balsa em relação aos sistemas de ILPF com Eucalipto.

A resistência do solo à penetração foi maior no sistema de ILPF com Teca em linha tripla.

Em todos os sistemas de ILPF testados o solo encontra-se com elevado grau de compactação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) e à Fundação AGRISUS pelo auxílio financeiro ao projeto. À Embrapa Agrossilvipastoril e à Fazenda Gamada pela seção da área experimental.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. São Paulo: CEE/Comissão de estudo especial, 1986.

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. **R. Biol. Ci. Terra**, 8:27-36, 2008.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R. & GARCEZ NETO, A. F. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-Braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **R. Bras. Zootec.**, 38:1645-1654, 2009.

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.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos: ensaios de laboratório**. São Carlos: USP/EESC, 1998.

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; FERNANDES, P. B.; MULLER, M. D.; PIRES, M. F. A.; FERNANDES, E. N. & XAVIER, D. F. Características produtivas e

nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesq. Agropec. Bras.**, 46:1176-1183, 2011.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesq. Agropec. Bras.**, 34:821-828, 1999.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; IMHOFF, S. & KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: van Lier, Q. J. (Ed.). **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.19-21.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:573-581, 1998.

Tabela 2 – Valores médios e erros-padrão de densidade do solo (Ds) e resistência à penetração (RP) do Latossolo Vermelho Amarelo nos diferentes sistemas integrados de produção.

Propriedade Física	Sistema				
	Eucalipto I	Eucalipto II	Eucalipto III	Teca	Pau-balsa
	Camada 0,00-0,10 m				
Ds (Mg m ⁻³)	1,35±0,02 ab	1,29±0,01 b	1,30±0,01 b	1,38±0,02 a	1,38±0,01 a
RP (MPa)	5,16±0,44 ab	5,01±0,29 ab	5,17±0,36 ab	6,27±0,83 a	4,03±0,46 b
	Camada 0,10-0,20 m				
Ds (Mg m ⁻³)	1,32±0,01 bc	1,30±0,01 cd	1,26±0,01 d	1,36±0,01 ab	1,39±0,01 a

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %. Letras minúsculas comparam na linha.

Tabela 3 – Valores médios e erros-padrão de densidade do solo (Ds), densidade relativa (Dsr), resistência à penetração (RP) do Latossolo Vermelho Amarelo nos diferentes sistemas integrados de produção.

Propriedade Física	Posição de amostragem				
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
	Camada 0,00-0,10 m				
Ds (Mg m ⁻³)	1,31±0,01 c	1,33±0,02 bc	1,34±0,02 abc	1,35±0,01 ab	1,37±0,02 a
Dsr (%)	87,33±0,78 c	88,17±0,90 bc	88,72±1,22 abc	90,05±0,97 ab	91,23±0,99 a
RP (MPa)	4,23±0,32 b	5,05±0,38 b	4,79±0,57 b	4,89±0,36 b	6,67±0,74 a
	Camada 0,10-0,20 m				
Ds (Mg m ⁻³)	1,35±0,02 a	1,32±0,02 ab	1,33±0,02 ab	1,29±0,02 b	1,34±0,02 a
Dsr (%)	89,76±1,07 a	87,48±1,11 ab	88,52±1,15 ab	85,98±0,99 b	89,76±0,92 a

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %. Letras minúsculas comparam na linha. Ds: densidade do solo; Dsr: densidade relativa do solo; RP: resistência do solo à penetração.