



Resistência à penetração como indicadora de alterações estruturais no solo decorrentes de implementos para manejo do solo ⁽¹⁾.

Adriano Gonçalves de Campos⁽²⁾; Martha Cristina Pereira Ramos⁽³⁾; Vívia Ribeiro de Oliveira Preto⁽⁴⁾; Maurilio Fernandes de Oliveira⁽⁵⁾; Bruno Montoani Silva⁽⁶⁾; Diego Antônio França de Freitas⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

⁽²⁾ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA), da Universidade Federal de São João Del-Rei - Campus Sete Lagoas (UFSJ-CSL), bolsista UFSJ/FAUF; Sete Lagoas, MG; E-mail: adriano campos@yahoo.com.br; ⁽³⁾ Mestranda do PPGCA, da UFSJ-CSL, bolsista CAPES; E-mail: marthinha.ramos@yahoo.com.br; ⁽⁴⁾ Graduanda em Engenharia Agrônômica / Bolsista do CNPq; UFSJ; E-mail: vivianpreto@live.com; ⁽⁵⁾ Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo, E-mail: maurilio.oliveira@embrapa.br; ⁽⁶⁾ Professor Doutor do Departamento de Ciências Agrárias (DCIAG) da UFSJ-CSL; E-mail: montoani@ufs.edu.br; ⁽⁷⁾ Professor Doutor do Departamento de Ciências Agrárias UFV – Florestal, MG; E-mail: diegofranca@ufv.br.

RESUMO: A adoção de tecnologias de conservação do solo em associação com a intensificação dos manejos de produção agropecuária tem induzido a um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores, a compactação do solo, seja em sistemas de plantio direto ou em sistemas de plantio convencional. Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento da resistência do solo sobre a influência dos sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho Distrófico, numa área submetida, por 20 anos consecutivos cultivados, sistematicamente, com milho durante todo o período, sempre semeada na segunda quinzena do mês de outubro, a seis diferentes sistemas de manejo, na Embrapa Milho e Sorgo. Deste modo, o experimento foi conduzido em blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos em três repetições, sendo realizada uma análise para cada uma das camadas (0 - 5, 5 - 10, 10-15 - 20, 20 - 25, 25 - 30, 30 - 35, 35 - 40, 40 - 45 e 45 - 50 cm). Os resultados evidenciaram que de modo geral, os maiores valores de resistência à penetração foram observados para o plantio direto, seguido pela grade aradora. Já os menores valores de resistência à penetração foram encontrados nos sistemas de manejo área de cerrado e arado de aiveca.

Termos de indexação: penetrometria, qualidade do solo, compactação do solo.

INTRODUÇÃO

A implantação de novas tecnologias visando uma maior produtividade, normalmente leva a uma intensificação dos sistemas de produção, podendo ocasionar distintas formas de degradação do solo a médios e longos prazos, mesmo integradas às técnicas de conservação do solo. Nos dias atuais depara-se com um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores em diversas regiões, que são os níveis de compactação do solo, tanto em

sistemas de plantio direto como nos de plantio convencional.

De maneira geral, a compactação do solo além de ser uma barreira mecânica ao crescimento e desenvolvimento radicular, afeta os processos de aeração, altera as propriedades físicas do solo, podendo acarretar um aumento da resistência mecânica à penetração e densidade do solo (Bertol et al., 2000), limitando assim o crescimento vegetativo e comprometendo o rendimento das culturas (Dias Junior, 2000).

A avaliação da resistência do solo à penetração, ou penetrometria é uma metodologia interessante para se avaliar, comparativamente, a variabilidade estrutural do perfil do solo (Ralisch & Tavares Filho, 2002).

De acordo (Tormena & Roloff 1996), para caracterizar a compactação provocada pelo uso e manejo do solo, o penetrômetro de impacto tem sido constantemente utilizado no setor agrícola, em razão do baixo custo, da ausência de calibração frequente e do fato de os resultados não dependerem do operador.

Herrick & Jones (2002) constataram que o penetrômetro de impacto pode ser indicado em todas as aplicações recomendadas para os penetrômetros estáticos manuais e preconizado quando a constância de operação do penetrômetro estático é questionável. Porém, esses mesmos autores concluíram que os penetrômetros estáticos eletrônicos possuem uma melhor padronização do método.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi analisar o comportamento da resistência do solo sobre a influência dos sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho Distrófico, numa área submetida, por 20 anos consecutivos, a seis diferentes sistemas de preparo.



MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento de campo localiza-se na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, MG. Encontra-se nas coordenadas geográficas com latitude 19°28'S, longitude 44°15'W e altitude de 732 m. O clima da região se enquadra no tipo (Cwa), segundo a classificação de Köppen. A classe de solo predominante foi classificada como Latossolo Vermelho distrófico (Santos et al., 2006).

O experimento foi implantado em 1995 e a área é cultivada, sistematicamente, com milho durante todo o período, sempre semeada na segunda quinzena do mês de outubro. As adubações e tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura do milho.

Tratamentos e amostragens

Os tratamentos estudados foram: Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco/Grade Aradora (AD/GA), Plantio Direto (PD) e uma área de Cerrado Nativo (AC) utilizada como referência. Cada parcela experimental possui 20 x 16 m, sendo utilizada para amostragem a área central de cada parcela, deixando sete metros de bordadura de cada lado. O experimento foi conduzido em blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos em três repetições.

A resistência à penetração de raízes no solo (RP) foi determinada utilizando-se o penetrômetro de Impacto (modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF), a partir da superfície do solo até a profundidade de 50 cm, sendo uma amostragem em cada parcela experimental, seguindo metodologia adaptada descrita por (Stolf, 1991).

Os dados foram tabulados com apoio do programa computacional de Stolf (1991) para a leitura dos cálculos, tendo sido os valores obtidos em kgf cm^{-2} multiplicados pela constante 0,098 para transformação em unidades MPa (Stolf et al., 1983). Com o auxílio da planilha, os dados foram discretizados em 10 classes de camadas do solo (0 - 5, 5 - 10, 10-15 15 - 20, 20 - 25, 25 - 30, 30 - 35, 35 - 40, 40 - 45 e 45 - 50 cm).

Atributos físicos Avaliados

Determinou-se a resistência à penetração por meio de um penetrômetro de impacto (modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF),

A umidade atual do solo tomada como média nos perfis, nos tratamentos GA, AA, AD, AD/GA, PD e AC apresentaram os seguintes valores médios 30,78, 30,75, 31,73, 26,97, 30,18 e 28,94 % g g^{-1} ,

respectivamente, obtidas por meio de amostras de solo deformadas segundo o método gravimétrico padrão da estufa (Embrapa, 2011). Os resultados obtidos de resistência à penetração foram classificados com auxílio da **tabela 1**.

Análise estatística

Os dados de RP foram submetidos a análise de variância e após atendidos os pressupostos, as médias foram submetidas ao teste de Scott- Knott. Para realização de análises estatísticas foi utilizado o software R, pacote ExpDes (Ferreira et al., 2013). Realizou-se uma análise para cada camada de solo.

Tabela 1 - Classes de resistência do solo à penetração.

Classe	Resistência a penetração
	MPa
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01-0,1
Baixa	0,1-1,0
Moderada	1,0-2,0
Alta	2,0-4,0
Muito Alta	4,0-8,0
Extremamente Alta	> 8,0

Adaptadas de Soil Survey Staff (1993), citadas por (Arshad et al., 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **tabela 2** apresenta os dados de resistência do solo à penetração nos diferentes sistemas de manejo avaliados; esses dados mostram que na camada 0-5 cm os sistemas de manejo não diferiram estatisticamente. Provavelmente pela presença contínua de cobertura vegetal, que age de modo conjunto para a manutenção de teores mais elevados de umidade na camada superficial do solo no Sistema de PD, proporcionando uma redução dos valores de resistência mecânica à penetração e desempenhando papel significativo nas propriedades físicas do solo (Castro Filho et al., 1998, Pedrotti et al., 2001).

Para a camada 5-10 cm houve diferença entre os manejos de solo, em que PD e GA mostraram maior RP. O PD também apresentou o maior valor de RP para as camadas 10-15, 15-20 cm, valores classificados como altos conforme a **tabela 1**, possivelmente por causa do intenso tráfego de máquinas, implementos agrícolas de grande porte utilizado nos plantios, tratos culturais e colheita e também do não revolvimento do solo (Beutler et al., 2001).



Resultados semelhantes foram observados por (Tavares Filho et al., 2001) e (Stone & Silveira 2001); que concluíram que os sistemas com plantio direto e cultivo contínuo com milho e o sistema plantio direto e cultivo em rotação com milho e feijão apresentaram os maiores valores de resistência à penetração em camada até 15 cm de profundidade. (De Maria et al., 1999) também relataram maiores valores de RP sob plantio direto, em comparação com preparo convencional até 30 cm de profundidade. Valores críticos de RP para a cultura milho situam-se na faixa entre 1,5 a 2,5 MPa (Taylor et al., 1966; Tormena et al., 1999) e Nesmith (1987) e. Contudo, é importante ressaltar que, valores superiores de resistência à penetração em plantio direto, na ordem de até 5,0 MPa, são admitidos (Ehlers et al., 1983) pois as raízes crescem por canais contínuos deixados pela fauna do solo e pelo sistema radicular decomposto.

Tabela 2 - Resistência à penetração (MPa) em um Latossolo Vermelho distrófico, em diferentes profundidades e sistemas de manejo, (Grade Aradora = GA, Arado de Aiveca = AA, Arado de Disco = AD, Arado de Disco/Grade Aradora = AD/GA, Plantio Direto = PD, Cerrado Nativo = AC).

Prof.(cm)	Manejo do solo						CV (%)
	GA	AA	AD	AD/GA	PD	AC	
0-5	0,65 a	0,56 a	0,56 a	0,56 a	0,79 a	0,56 a	29,57
5-10	2,01 a	0,56 c	1,45 b	0,56 c	2,32 a	0,56 c	21,43
10-15	1,92 b	0,56 c	1,86 b	0,73 c	2,44 a	0,56 c	13,33
15-20	1,78 b	0,99 c	1,81 b	1,85 b	2,42 a	0,56 c	19,55
20-25	1,73 a	1,39 b	1,98 a	1,86 a	2,01 a	0,67 c	11,99
25-30	1,73 b	1,6 b	2,08 a	1,80 b	1,86 b	1,14 b	20,45
30-35	1,55 b	1,70 b	2,09 a	1,62 b	1,63 b	1,40 b	11,63
35-40	1,50 b	1,71 b	2,07 a	1,55 b	1,53 b	1,37 b	7,54
40-45	1,23 a	1,71 a	1,72 a	1,48 a	1,25 a	1,60 a	14,52
45-50	1,23 a	1,41 a	1,70 a	1,38 a	1,08 a	1,64 a	16,62

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Nas camadas a partir de 30 cm de profundidade, o manejo do solo oferece baixa influência sob a RP, pois em todos os manejos, foi observado um comportamento semelhante, com variação de 1,14 a 2,09 MPa, que de acordo com a **tabela 1** de classe de resistência do solo a penetração, esta amplitude se enquadra na faixa de moderada a alta. (Ralisch et. al., 2008) trabalhando com sistema de plantio direto, sistema convencional, pastagem e floresta, observaram que acima de 30 cm de profundidade, somente pastagem e floresta alteram e proporcionaram menores valores de resistência à penetração.

CONCLUSÕES

De modo geral, os maiores valores de resistência à penetração foram observados para o plantio direto, seguido pela grade aradora.

Já os menores valores de resistência à penetração foram encontrados nos sistemas de manejo área de cerrado nativo e arado de aiveca.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo apoio financeiro, a Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ) pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor e ao apoio financeiro e a Embrapa Milho e Sorgo.

REFERÊNCIAS

- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America. 1996. p. 123-141 (SSSA Special publication 49).
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J. M.; REIS, E. F. dos; DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. *Ciência Rural*, v.30, n.1, p.91-95, 2000.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, N. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. N.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.1 p.167-177, 2001.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, n.3 p.527-538, 1998.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.703- 709, 1999.
- DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. In: Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.55-94, 2000.
- EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F. & BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Till. Res.* 3:261-275, 1983.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.



- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: Experimental Designs package. R package version 1.1.2. 2013.
- HERRICK JE & JONES TL (2002) A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. Soil Science Society of America Journal, 66:1320-1324.
- NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultisol. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, v.51, p.183-186, 1987.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.3, p.521-529, 2001.
- RALISCH, R; TAVARES FILHO, J. Compactação do solo em sistema de plantio direto – causas, efeitos e prevenção. In: Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, 8, 2002, Águas de Lindóia. Resumos... Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2002. p.125-127.
- RALISCH, R; MIRANDA, T.M; OKUMURA, R.S.; BARBOSA, G.M.de C.; GUIMARÃES, M de F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L.C. Resistência a penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.4, p.381-384, 2008.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. Dos; OLIVEIRA, V. A. De; OLIVEIRA, J. B. De; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.306 p.
- STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI Neto, V.L. Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso. STAB, 1:18-23, 1983. [(Reeditado: Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim, 1)]
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.15, n.2,p.229-235, 1991.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.2, p.395-401, 2001.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (Zea mays) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.3, p.725-730, 2001.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. Soil Till. Res., 52:223-232, 1999
- SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, USDASCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p. (Handbook, 18).
- TAYLOR, H.M. et al. soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. Soil Sci., Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.
- TORMENA CA & ROLOFF G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 20:333-39, 1996.