

USO DE DOIS PENETRÔMETROS NA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO

DELMONTE ROBOREDO¹, JOÃO C. DE S. MAIA², OSVALDO J. DE OLIVEIRA³,
CASSIANO G. ROQUE⁴

RESUMO: A compactação do solo é um problema que interfere no crescimento radicular e na produção vegetal. O estudo foi realizado na estação experimental do Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá (CEFET), município de Santo Antônio do Leverger - MT. O objetivo foi avaliar a resistência mecânica do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico, em função de diferentes teores de água, em duas profundidades, utilizando-se de um penetrômetro de velocidade constante e um de impacto, correlacionando-os à densidade do solo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com oito tratamentos e cinco repetições, dispostos em esquema de parcelas subdivididas, sendo quatro faixas de umidade nas parcelas: faixa 1 (0,1883 a 0,2354 m³ m⁻³); faixa 2 (0,2355 a 0,2544 m³ m⁻³); faixa 3 (0,2545 a 0,2702 m³ m⁻³), e faixa 4 (0,2703 a 0,3177 m³ m⁻³); e duas profundidades de amostragem nas subparcelas (0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m). A partir dos resultados obtidos, constatou-se que: i) os penetrômetros apresentaram correlação significativa positiva com a densidade do solo; ii) o penetrômetro de impacto apresentou os maiores valores de resistência mecânica à penetração.

PALAVRAS-CHAVE: penetrometria, compactação, umidade e densidade do solo.

THE USE OF TWO PENETROMETERS IN THE EVALUATION OF SOIL STRENGTH IN A DISTROPHIC RED LATOSOL

ABSTRACT: Soil compaction is a problem that interferes in root growth and crop production. This study was conducted in the experimental station of Centro Federal de Educação Tecnológica of Cuiabá (CEFET), in Santo Antonio do Leverger - MT, Brazil. The aim was to evaluate the cone index of the Distrophic Red Latosol in function of different water levels in two depths, by using a constant speed penetrometer and an impact one, correlating them with the soil density. The design was made of randomized blocks with eight treatments and five replications, arranged by split plots, with four bands of soil water content in the plots: range 1 (0.1883 to 0.2354 m³ m⁻³); range 2 (0.2355 to 0.2544 m³ m⁻³); range 3 (0.2545 to 0.2702 m³ m⁻³) and range 4 (0.2703 to 0.3177 m³ m⁻³), and two depths of sampling like subplots (0.05 to 0.10 m and 0.15 to 0.20 m). From the results it was found that: i) the penetrometers showed significant positive correlation with the soil density; ii) the impact penetrometer presented the highest soil strength.

KEYWORDS: penetrometer, soil compaction, soil water content, soil density.

¹ Eng^o Agrônomo, Mestre em Agricultura Tropical, Professor Efetivo, Universidade Estadual de Mato Grosso (UNEMAT), Câmpus de Alta Floresta - MT, roboredo@gmail.com

² Eng^o Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, Professor Adjunto IV, Departamento de Solos e Engenharia Rural, UFMT, jotace@terra.com.br

³ Eng^o Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá (CEFET).

⁴ Eng^o Agrônomo, Doutor em Produção, Professor Efetivo da UNEMAT, Câmpus de Alta Floresta - MT, cassianoroque@yahoo.com.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 27-8-2008

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 5-1-2010

INTRODUÇÃO

A compactação do solo tem-se constituído em um dos grandes obstáculos ao aumento da produtividade do setor agrossilvipastoril, assim como tem provocado, principalmente nas áreas mecanizadas declivosas, forte assoreamento dos recursos hídricos. Ela se tornou extremamente preocupante devido à intensificação da mecanização no Brasil, voltada à agricultura, com o uso indiscriminado de tratores pesados, com maior potência, sem dimensionamento adequado e seleção dos implementos, o que resulta em redução da produtividade. A compactação também tem afetado os solos sob pastagens, devido às altas pressões exercidas pelo pisoteio dos animais (RALISCH et al., 2008). De acordo com o mesmo autor, a compactação do solo pode ser avaliada através de vários atributos do solo. Dentre os existentes, destacam-se a densidade do solo e a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), que apesar de ser uma indicação indireta da compactação do solo, permite avaliar, comparativamente, a variabilidade estrutural do solo em diferentes sistemas de manejo utilizados na mesma classe de solo.

A RMSP é altamente influenciada pelo teor de água e densidade do solo (CUNHA et al., 2002; GENRO JÚNIOR et al., 2004). Ela aumenta exponencialmente com a diminuição da umidade, em razão do aumento das forças de coesão entre as partículas do solo, resultante da concentração dos agentes cimentantes (sesquióxidos de ferro e alumínio associados a materiais húmicos degradados, exsudação dos microrganismos do solo, etc.) e da redução do efeito lubrificante da água (SILVA et al., 2002).

Atualmente, os penetrômetros mais utilizados classificam-se em função do seu princípio de penetração: os penetrômetros que registram a RMSP em um dinamômetro, por ocasião da pressão exercida no conjunto contra o solo e os que penetram no solo em função do impacto de um peso que cai em queda livre de uma altura constante, provocando a penetração da haste no solo (STOLF, 1991). Este autor comparou o penetrômetro de impacto com um penetrômetro com mola dinamométrica, verificando valores semelhantes; já em solos argilosos, o penetrômetro de impacto apresentou valores superiores. BEUTLER et al. (2002) verificaram que o penetrômetro de impacto determinou valores superiores de resistência à penetração em um Latossolo Vermelho eutroférico com os maiores níveis de umidade, e que a correlação foi significativa e positiva com a densidade do solo, microporosidade e teor d'água próxima à capacidade de campo. Já BEUTLER et al. (2007) constataram que o penetrômetro de impacto determina valores superiores de resistência à penetração em solos compactados, porém os penetrômetro de anel dinamométrico e eletrônico também foram eficientes na caracterização da compactação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em um Latossolo Vermelho distrófico com diferentes teores de água e em duas profundidades, utilizando o penetrômetro de impacto e o penetrômetro eletrônico automático portátil, visando a verificar qual deles apresenta melhor correlação com a densidade do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá (CEFET), localizado a 86 km de Cuiabá, no km 329 da BR 364, Vila de São Vicente da Serra, município de Santo Antônio do Leverger - MT, com coordenadas geográficas 15°49,174' S e 55°25,033' W. O clima da área, segundo a classificação de Köppen é do tipo transição Cwa - (Cwb), com temperatura média anual de 23,3 °C e precipitação pluviométrica média anual de 2.007 mm.

O local do experimento possuía uma vegetação nativa do tipo Floresta Estacional/Savana, com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, A moderado, com textura argilosa, cuja granulometria está descrita na Tabela 1, e com declividade de 6%.

O preparo de solo da área na qual o experimento foi conduzido tem sido realizado de forma convencional, utilizando-se de uma gradagem média e duas gradagens leves, cujos órgãos ativos

têm trabalhado até a profundidade de 0,15 m, aproximadamente. Nessa área, têm sido cultivados arroz, soja, milho, sorgo e *Brachiaria brizantha*, desde 1997.

TABELA 1. Caracterização textural do solo da área experimental. **Textural characterization of the experimental area.**

Camadas	Areia Grossa 2 - 0,20 mm	Areia Fina 0,20 - 0,05 mm	Silte 0,05 - 0,002 mm	Argila <0,002 mm	Matéria Orgânica
m	-----g kg ⁻¹ -----				
0,00 - 0,15	250,0	170,0	130,0	450,0	2,52
0,15 - 0,30	240,0	170,0	120,0	470,0	1,17

O experimento foi instalado em uma área total de 174,72 m², subdividida em 40 unidades experimentais. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com oito tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, sendo quatro faixas de umidade, em relação à capacidade de campo (CC), nas parcelas: faixa 1 (F1 = 0,1883 a 0,2354 m³ m⁻³) (± 60% da CC); faixa 2 (F2 = 0,2355 a 0,2544 m³ m⁻³) (± 80% da CC); faixa 3 (F3 = 0,2545 a 0,2702 m³ m⁻³) (± 100% da CC) e faixa 4 (F4 = 0,2703 a 0,3177 m³ m⁻³) (10x% da CC); e duas profundidades de amostragem nas subparcelas: camada I (0,05 a 0,10 m) e camada II (0,15 a 0,20 m). A área total do experimento foi saturada, empregando quatro aspersores do tipo PA 100.

O monitoramento da umidade do solo, para a determinação do conteúdo de água momentâneo no solo, foi realizado por uma bateria de quinze tensiômetros, instalados na profundidade de 0,10 m, de acordo com a metodologia preconizada por REICHARDT & TIMM (2004), a qual representa uma tensão média no perfil de solo de 0-0,20 m (WANDER & SILVA, 2005). Adotou-se a recomendação de BEUTLER et al. (2002), que consideram que o solo está na capacidade de campo, quando a água estiver retida com uma força igual a um terço da atmosfera (0,33 atm). O cálculo da capacidade de campo foi efetuado pela eq.(1), proposta por REICHARDT & TIMM (2004), mediante leitura da coluna de mercúrio.

$$\Psi_m = -12,6h_o + h_1 + h_2 \tag{1}$$

em que,

- Ψ_m - potencial matricial, cm H₂O;
- h_o - leitura em cm da coluna de Hg;
- h₁ - altura da cuba de Hg em relação à superfície do solo, cm;
- h₂ - profundidade de instalação da cápsula porosa (cm) no solo, e
- 12,6 - constante.

A determinação da umidade e da densidade do solo foi realizada coletando amostras indeformadas nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m, utilizando anéis cilíndricos de aço inox com capacidade de 10⁻⁵ m³, extraídas com auxílio do amostrador de Kopeck.

A RMSP foi determinada pelo penetrômetro de impacto (PI) modelo IAA/Planalsucar, descrito por STOLF (1991), com um ângulo de cone de 30°. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em RMSP foi obtida pela fórmula dos holandeses, segundo STOLF (1991), descrita na eq.(2):

$$RP = \frac{(Mg + mg) + \left(\frac{M}{M + m} \frac{Mg h}{x} \right)}{A} \tag{2}$$

em que,

- RP - resistência mecânica do solo à penetração, kgf cm^{-2} ;
M - massa do êmbolo (4 kg) ($Mg = 4 \text{ kgf}$);
m - massa do aparelho sem êmbolo (3,2 kg) ($mg = 3,2 \text{ kgf}$);
h - altura de queda do êmbolo, 40 cm;
x - penetração da haste do aparelho, cm impacto^{-1} ;
A - área do cone, $1,29 \text{ cm}^2$, e
g - aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m s}^{-2}$).

Os valores de RP (kgf cm^{-2}) foram multiplicados pelo fator 0,0980665, para a obtenção da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em MPa.

O penetrômetro eletrônico automático portátil (PEA) também foi utilizado para encontrar a RMSP, desenvolvido por BIANCHINI et al. (2002). O equipamento é composto de: i) uma bateria de 45 amperes; ii) uma central de aquisição, e iii) área do cone $1,29 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ (cone pequeno) com ângulo de cone de 30° . Os dados foram coletados e armazenados na central de aquisição, transferidos para um computador, utilizando uma interface RS232 de comunicação, depois foram transferidos para uma planilha do programa Excel, versão 2003, onde os valores coletados em kPa foram transformados em MPa e estratificados em camadas de 0,05 em 0,05 m.

A análise estatística dos dados consistiu na análise de variância e teste de Tukey a 5% para comparação das médias (obtida nas quatro faixas de umidade e nas duas camadas) e processada pelo programa estatístico SAEG versão 7.1. Foram realizados estudos de relação empregando a correlação de Pearson entre os valores da RMSP obtidos pelos penetrômetros, e destes com a densidade do solo, em cada faixa de umidade e nas camadas I (0,05 a 0,10 m) e II (0,15 a 0,20 m).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, está apresentada a análise de variância dos dados de RMSP obtida pelo penetrômetro de Impacto (PI), Penetrômetro Eletrônico automático Portátil (PEA) e a densidade do solo. Verificou-se efeito significativo nas análises dos valores, tanto para profundidade como a umidade utilizada para os dois penetrômetros empregados, e a densidade apresentou diferença significativa somente em profundidade, concordando com ROQUE et al. (2003). Os dois penetrômetros utilizados apresentaram boa eficiência, sendo que o PEA apresentou menor coeficiente de variação (C.V.), tanto em profundidade como nas umidades estudadas.

A RMSP determinada com PI e PEA, assim como a densidade nas duas camadas, em níveis crescentes de umidade, é apresentada na Tabela 3. Os resultados evidenciaram que houve diminuição da RMSP com o aumento da umidade. Diversos autores têm estudado a relação entre a RMSP com a umidade, tendo sido sugeridas diversas funções. BUSSCHER et al. (1997) concluíram que as funções exponenciais e de potência são as que melhor expressam as relações entre RMSP e umidade, quando testaram diversos modelos, sendo que, neste trabalho, a função que melhor se ajustou aos dados médios foi a do tipo exponencial com 98% para o PI e 96% para o PEA. Além da umidade, outros parâmetros, como a densidade do solo e o teor de matéria orgânica, podem influenciar na medida da RMSP oferecida pelo solo (VAZ & HOPMANS, 2001).

Em profundidade, observa-se que a RMSP foi maior na camada II, ocorrendo o mesmo com a densidade do solo. A RMSP está diretamente relacionada com a densidade do solo e a textura, e inversamente ao conteúdo de água (BEUTLER et al., 2002; CUNHA et al., 2002). O aumento da densidade do solo e da RMSP em profundidade, normalmente, está associado a uma compactação causada pelo manejo e preparo do solo, bastante plausível para a situação em estudo, em função das operações realizadas já descritas. Porém, para o caso em questão, isto é irrelevante frente à diferença constatada dos valores da RMSP obtida na segunda profundidade pelo PI e pelo PEA. Nem a textura nem a densidade do solo corroboram tal variação constatada pelo PI, demonstrando que esta metodologia tende a superestimar os valores em profundidade, interferindo diretamente nos diagnósticos de compactação do solo.

TABELA 2. Análise de variância dos dados de resistência mecânica do solo à penetração obtida pelo penetrômetro de impacto (PI), penetrômetro eletrônico automático portátil (PEA) e densidade do solo (Ds), nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m e em quatro faixas de umidade, em um Latossolo Vermelho distrófico de Mato Grosso. **Variance analysis of the data from the soil mechanical resistance to the penetration obtained by the impact penetrometer, portable automatic electronic penetrometer and soil density in the layers from 0.05 to 0.10 m and from 0.15 to 0.20 m and in four humidity strips in a Red Dystrophic Latosol of Mato Grosso.**

Fontes de Variação	Quadrados Médios		
	PI	PEA	Ds
Bloco	0,3117	0,1238**	0,0095**
Umidade (U)	4,0687**	0,1838**	0,0005
Erro (umidade)	0,4261	0,0148	0,0007
Profundidade (P)	59,243**	0,124**	0,0792**
U x P	0,1669	0,0123	0,0002
Erro (profundidade)	0,2184	0,0133	0,0008
C.V. (Umidade)	21,24	6,80	1,99
C.V. (profundidade)	15,21	6,43	2,08

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; C.V.- coeficiente de variação; Faixas de umidade estudada: F1 (0,1883 a 0,2354 m³ m⁻³); F2 (0,2355 a 0,2544 m³ m⁻³); F3 (0,2545 a 0,2702 m³ m⁻³); F4 (0,2703 a 0,3177 m³ m⁻³), e camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, em um Latossolo Vermelho distrófico de Mato Grosso.

Os valores médios da densidade do solo (Tabela 3), não diferiram estatisticamente, os quais variaram de 1,29 kg dm⁻³ na camada de 0,05-0,10 m, a 1,38 kg dm⁻³ na camada de 0,15-0,20 m, ficando os mesmos dentro da faixa de densidade para os solos minerais, definidas por KIEHL (1979) como sendo de 1,1 a 1,6 kg dm⁻³, indicando desta forma que o solo não oferece um impedimento ao bom desenvolvimento da cultura. Entretanto, o consenso entre pesquisadores é muito variável quanto ao nível de densidade que causará compactação. TORRES & SARAIVA (1999) afirmaram que a densidade varia de 1,0 kg dm⁻³ em solos argilosos sob mata a 1,45 kg dm⁻³ quando muito compactado; da mesma forma, varia de 1,25 a 1,70 kg dm⁻³, respectivamente, para solos arenosos sob mata e quando compactados. Já CAMARGO & ALLEONI (1997) afirmam ser crítica para solos argilosos e franco-argilosos, a densidade de 1,55 kg dm⁻³.

Comportamento semelhante aos resultados obtidos neste trabalho foram alcançados por SILVA et al. (2008) e SANTOS et al. (2009) em estudos realizados em Latossolo Vermelho-Amarelo, nos municípios de Campo Verde - MT e Alegre - ES, avaliando diferentes camadas do solo (0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m) e (0,00-0,20 e 0,20-0,40 m), sob diferentes formas e uso do solo e sob diferentes coberturas vegetais, respectivamente. Entretanto, TORMENA et al. (2002) e TRINTINALIO et al. (2005) encontraram diferença significativa entre os valores de densidade do solo em profundidade, em estudos realizados em Latossolo Vermelho, em diferentes sistemas de preparo de solo e em diferentes sistemas de manejo nas entrelinhas de pupunheira. Entretanto, TORMENA et al. (2002) e TRINTINALIO et al. (2005) encontraram diferença significativa entre os valores de densidade do solo em profundidade, em estudos realizados em Latossolo Vermelho, em diferentes sistemas de preparo de solo e em diferentes sistemas de manejo nas entrelinhas de pupunheira.

O PI registrou, no geral, os maiores valores de RMSP, quando comparado com o PEA, corroborando BIANCHINI et al. (2005). Segundo este autor, o aumento da RMSP com a profundidade, nas mesmas condições de umidade e densidade, pode ser gerado pelo impacto da massa (4 kg) do êmbolo do PI, provocando a flambagem da haste, a qual transfere parte da energia de impacto para a parede de orifício da sondagem, superestimando os valores nas maiores profundidades. Já os menores valores obtidos pelo PEA devem-se à ponteira penetrar no solo com velocidade constante.

TABELA 3. Valores médios da RMSP (MPa) e da densidade do solo (kg dm^{-3}), nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m, em quatro faixas de umidade, em um Latossolo Vermelho distrófico de Mato Grosso. **Average values of RMSP (MPa) and of soil density (kg dm^{-3}) in the layers from 0.05 to 0.10 m and from 0.15 to 0.20 m, in a Red Dystrophic Latosol of Mato Grosso.**

Camadas (m)	Faixas de Umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				Média
	0,1883 a 0,2354 (F1)	0,2355 a 0,2544 (F2)	0,2545 a 0,2702 (F3)	0,2703 a 0,3177 (F4)	
PI - RMSP (MPa)					
0,05 a 0,10 (I)	2,64	2,00	1,44	1,34	1,86 B
0,15 a 0,20 (II)	5,05	4,60	4,09	3,42	4,29 A
Média	3,84 a	3,30 ab	2,77 bc	2,38 c	3,07
PEA - RMSP (MPa)					
0,05 a 0,10 (I)	1,97	1,72	1,65	1,62	1,74 B
0,15 a 0,20 (II)	1,99	1,86	1,83	1,72	1,85 A
Média	1,98 a	1,79 b	1,74 b	1,67 b	1,79
Ds (kg dm^{-3})					
0,05 a 0,10 (I)	1,29	1,30	1,30	1,29	1,29 B
0,15 a 0,20 (II)	1,38	1,38	1,39	1,37	1,38 A
Média	1,33 a	1,34 a	1,35 a	1,33 a	1,34

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). RMSP - resistência mecânica do solo à penetração; PI - penetrômetro de impacto; PEA - penetrômetro eletrônico automático portátil; Ds - densidade do solo.

A diferença de valores de RMSP entre o PI e PEA é devida ao princípio de funcionamento dos aparelhos, sendo que no PI realiza-se uma série de cálculos para se obter a RMSP (STOLF, 1991), enquanto no eletrônico se exerce uma força contra o aparelho e obtém-se diretamente a RMSP (BEUTLER et al., 2007). Além disso, o penetrômetro de impacto registra a máxima RMSP por unidade de profundidade, enquanto os eletrônicos, com velocidade constante de penetração (30 mm seg^{-1}), determinam o valor médio de resistência (BEUTLER et al., 2007).

Os valores obtidos pelos dois penetrômetros divergiram grandemente, sendo que o PI apresentou sempre valores superiores ao PEA, principalmente na camada II, que apresentou uma RMSP média de 4,29 MPa, valor este muito acima do valor considerado como crítico ao crescimento radicular das plantas (TORMENA et al., 1998), que é de 2,0 MPa, podendo ser devido ao efeito da flambagem da haste, conforme observado por BIANCHINI et al. (2005).

Os penetrômetros apresentaram uma correlação de 0,74 (Tabela 4), indicando que os maiores valores são obtidos com as maiores compactações do solo, mas de ordens de magnitudes diferenciadas, sendo obtidos resultados semelhantes por BEUTLER et al. (2002) e ROQUE et al. (2003), quando correlacionaram penetrômetros de anel dinamométrico e de impacto, obtendo correlações positivas e significativas acima de 0,79. Já a correlação dos penetrômetros foi positiva com a Densidade, entretanto somente o PI apresentou correlação positiva muito forte ($r > 0,91$). Resultados semelhantes foram encontrados por BEUTLER et al. (2002) e BEUTLER et al. (2007), que encontraram altas correlações entre a resistência à penetração e a densidade do solo.

TABELA 4. Correlações de Pearson entre os valores de resistência mecânica do solo à penetração determinada com o Penetrômetro de Impacto e o Penetrômetro Eletrônico Automático Portátil e desses com a densidade do solo, em um Latossolo Vermelho distrófico, no Estado de Mato Grosso. **Pearson Correlations among the values of soil mechanical resistance to the penetration determined with the Impact Penetrometer and the Portable Automatic Electronic Penetrometer, and the correlations of these with the soil density in a Red Dystrophic Latosol in the State of Mato Grosso.**

Penetrômetros	Impacto	Eletrônico	Densidade do Solo
Impacto	-	0,74	0,91
Eletrônico	-	-	0,42

Finalmente, constata-se que, ao emprego do PEA, está associada menor variabilidade dos resultados, o que é interessante para se avaliar um meio já naturalmente muito variável.

CONCLUSÕES

O penetrômetro de impacto obteve os maiores valores de resistência mecânica do solo à penetração e também foi o penetrômetro que apresentou melhor correlação com a densidade do solo, pois obteve correlação positiva muito forte ($r = 0,91$) entre os seus valores obtidos com a densidade do solo, enquanto o penetrômetro eletrônico automático acusou correlação positiva moderada ($r = 0,42$).

O penetrômetro de impacto possui restrições de uso em maiores profundidades, devendo ser empregado até 0,10 m no tipo de solo estudado.

AGRADECIMENTO

À equipe do CEFET de São Vicente da Serra, na pessoa do Sr. Diretor, Prof. Dr. Ademir José Conte, pelo total apoio recebido na execução da pesquisa de campo.

REFERÊNCIAS

- BEUTLER, A.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. Atributos físicos do solo e produtividade da soja após um ano de integração lavoura-pecuária em área sob plantio direto. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.1, p.146-151, 2007.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; SILVA, L.M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.22, n.2, p.191-199, 2002.
- BIANCHINI, A.; CUNHA, C.A.; MAIA, J.C.S. Comparação da resistência do solo à penetração obtida por meio de penetrômetro eletrônico e impacto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. *Anais...* Canoas: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005. 1 CD-ROM.
- BIANCHINI, A.; MAIA, J.C.S.; MAGALHAES, P.S.G.; CAPELLI, N.; UMEZU, C.K. Penetrógrafo eletrônico automático. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.2, p.332-336, 2002.
- BUSSCHER, W.J.; BAVER, P.J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.43, n.3/4, p.205-207, 1997.
- CAMARGO, O.A. de.; ALLEONI, L.R.F. *Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas*. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.
- CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHAES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa - MG, v.10, n.1-4, 2002.

- GENRO JÚNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v.28, n.3, p.477-484, 2004.
- KIEHL, E.J. *Manual de edafologia*. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.
- RALISCH, R.; MIRANDA, T.M.; OKUMURA, R.S.; BARBOSA, G.M.de C.; GUIMARÃES, M. de F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L.C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.4, p.381-384, 2008.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. *Solo, planta e atmosfera*. Barueri: Manole, 2004. 478 p.
- ROQUE, C.G.; CENTURION, J.F.; ALENCAR, G.V.; BEUTLER, A.N.; PEREIRA, G.T.; ANDRIOLI, I. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. *Acta Scientiarum: Agronomy*, Maringá, v.25, p.53-57, 2003.
- SANTOS, L.N.S. dos; PASSOS, R.R.; CARDOSO, L.C.M.; SANTOS, L.; GARCIA, G.O.; CECÍLIO, R.A. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais em ALEGRE (ES). *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v.6, n.2, p.140-149, 2009.
- SILVA, A.P.da; IMHOFF, S.C.; TORMENA, C.A.; LEÃO, T.P. Avaliação da compactação de solos florestais. In: GONÇALVES, J.L. de M.; STAPE, J.L. (Ed.). *Conservação e cultivo de solos para plantações florestais*. Piracicaba: IPEF, 2002. p.352-372.
- SILVA, G.J.; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E.C. de; MAIA, J.C.S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, n.32, p.2.135-2.143, 2008.
- 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*, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.
- TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.B.; COSTA, A.C.S. da; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, 2002.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v.22, p.573-581, 1998.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. *Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja*. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 59 p.
- TRINTINALIO, J.; TORMENA, C.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; MACHADO, J.L.M.; CONSTANTIN, J. Alterações nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho distrófico por diferentes manejos na entrelinha da cultura da pupunha (*Bactris gasipaes Kunth*). *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.27, n.4, p.753-759, 2005.
- VAZ, C.M.P.; HOPMANS, J.W. Simultaneous measurement of soil strength and water content with a combined penetrometer-moisture probe. *Soil Science Society of América Journal*, Madison, v. 65, n.1, p.4-12, 2001.
- WANDER, A.E.; SILVA, O.F.da. Cultivo do feijão irrigado na região noroeste de Minas Gerais. In: EMBRAPA Arroz e feijão. dezembro 2005. (Sistema de Produção, 5). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/autores.htm#osmira>>. Acesso em: 15 ago. 2008.