

## DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA, DENSIDADE E RESISTÊNCIA DO SOLO PARA DIFERENTES TIPOS DE SOLO EM DIFERENTES SITUAÇÕES DE CULTIVO.

Autores: GOMES JUNIOR<sup>1</sup>, D.G.; STOLF, R.<sup>2</sup>; PERES, J.G.<sup>2</sup>, REICHARDT, K.<sup>3</sup>

1: Estudante de Eng. Agrônoma, Depto de Recursos Naturais e Proteção Ambiental-DRNPA, Universidade Federal de São Carlos (Via Anhanguera, km 174. Cx.P. 153 CEP 13600-970 ARARAS-SP). E-mail: daniel.g.g.jr@gmail.com

2: Engo Agrônomo, Professor Associado IV, Depto de Recursos Naturais e Proteção Ambiental-DRNPA, Universidade Federal de São Carlos (Via Anhanguera, km 174. Cx.P. 153 CEP 13600-970 ARARAS-SP). E-mail: rubismar@cca.ufscar.br

3: Professor Titular do Laboratório de Física do Solo da Universidade de São Paulo, USP, POB 96, 13418-900 Piracicaba, SP. E-mail: klaus@cena.usp.br

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** o objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento da condutividade hidráulica de saturação ( $K_0$ ), da resistência e da densidade do solo na área experimental de textura argilosa da Universidade Federal de São Carlos, campus de Araras-SP, para quatro situações distintas de cultivo: área com produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), área com produção de soja (*Glycine max*), área com produção de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) e área de mata nativa. Foi possível observar para as três variáveis analisadas uma tendência crescente do grau de compactação áreas na seguinte ordem: mata nativa < pinhão manso < soja < cana-de-açúcar. Foram obtidas diferenças significativas (Tukey a 5%) entre as médias do local com desenvolvimento de cana-de-açúcar e o de mata-nativa para condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ : 2,5 cm/h e 23,2 cm/h, respectivamente) e para a resistência do solo para a camada de 10 cm (5,49 MPa e 1,28 MPa, respectivamente), analisando-se o emprego das variáveis estudadas para a avaliação da compactação.

**PALAVRAS-CHAVE:** condutividade hidráulica de saturação; permeâmetro de carga hidráulica constante; penetrômetro de impacto.

## DETERMINATION OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND SOIL RESISTANCE FOR DIFFERENT SOIL TYPES UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SITUATIONS.

**ABSTRACT:** The objective was to evaluate the behavior of the saturated hydraulic conductivity ( $K_0$ ), soil resistance and bulk density in a clayey experimental area of Federal University of São Carlos - campus Araras-SP, for four different management conditions: areas with sugarcane (*Saccharum officinarum*), soybean (*Glycine max*), jatropha (*Jatropha Jatropha*) and native forest. For the three variables an increasing trend was observed in the degree of compaction in the following order: native forest < jatropha < soybean < sugarcane. Significant differences (Tukey 5%) were obtained between sugarcane area and native forest area for the saturated hydraulic conductivity (mean  $K_0$ : 2.5 cm / h and 23.2 cm / h, respectively) and soil resistance (mean: 5.49 MPa and 1.28 MPa, respectively). Variables for the evaluation of compaction are discussed.

**KEYWORDS:** hydraulic conductivity of saturation; constant head permeameter; impact penetrometer.

## INTRODUÇÃO

De forma geral o cultivo intensivo pode levar à degradação do solo normalmente avaliada pelas alterações de seus atributos físicos. Um dos indicadores utilizados é a condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ). Considerando que os fluidos, no caso água e ar, apresentam maior condutividade em poros de diâmetro maior, tanto a condutividade hidráulica como a macroporosidade são indicadores do estado de compactação do solo, pois as pressões externas reduzem os espaços porosos maiores. Assim, valores baixos de macroporosidade resultam em baixa condutividade hidráulica, baixa aeração e aumento da resistência do solo à penetração de raízes (STOLF et al., 2011). Além de sua importância na avaliação específica da compactação, a condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ) tem sido correlacionada com atributos físicos do solo (MARQUES et al., 2008; RAMOS et al. 2011). A mesma tem sido utilizada em cálculos de fluxos no solo como os processos de infiltração de água, projetos de irrigação e drenagem, perdas de fertilizantes e de solo por erosão e de substâncias químicas por lixiviação (MESQUITA et al., 2004; REICHARDT & TIMM, 2004; WARRICK, 2002). A resistência do solo para avaliar o estado de compactação do solo tem sido uma das práticas mais empregadas por não necessitar de complementação de laboratório e pela velocidade de obtenção de dados, aproximadamente um minuto para amostrar um ponto até a profundidade de 50 cm (STOLF et al., 2012). Dessa forma há muitos trabalhos comparando Mata nativa, vegetação arbórea e sistema agroflorestal, ou seja, sistemas de baixo impacto comparados com sistemas agrícolas (IAREMA et al., 2011; CARDOSO et al., 2011; PORTUGAL et al., 2010; PORTUGAL et al., 2011; RAMOS et al., 2011; SILVA et al., 2011; MARTINS et al., 2010), bem como estudos em pastagens (CASTAGNARA et al., 2012; CARDOSO et al., 2011; SILVA FILHO et al., 2010; MOURA et al., 2012; RAMOS et al., 2010) e também culturas com tráfego intenso nas áreas de produção como cana-de-açúcar e soja (ECCO et al., 2010; MACHADO et al., 2010; SILVA et al., 2012; DEBIASI et al., 2012), todos com inclusão da resistência do solo como um dos atributos analisados.

O campus do CCA – UFSCar, Araras – SP, possui áreas com diversos tipos de manejo agrícola, inclusive área com mata-nativa que apresenta praticamente ausência de impactos ambientais. O objetivo desse trabalho é avaliar a condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) para diferentes tipos locais coletados e amostrados dentro da área do campus a fim de avaliar o seu comportamento para quatro tipos de situações distintas: área de produção de Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), área de produção de Soja (*Glycine max*), área de produção de Pinhão-manso (*Jatropha curcas*) e área de mata nativa e associar os resultados à resistência do solo amostrados com uso de penetrômetro de impacto.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ):** A marcha para a obtenção das amostras indeformadas e seu preparo para teste de  $K_0$  seguiu a metodologia descrita pela Embrapa (1979). Foram retiradas amostras indeformadas com cilindros metálicos de diâmetro 7,0 cm e altura 7,15 cm. As amostras foram conduzidas ao laboratório da determinação da condutividade hidráulica (Figuras 1 e 2)



**Figura 1.** Amostras saturadas.



**Figura 2.** Permeômetro de carga hidráulica constante – DRNPA; CCA – UFSCar – Araras – SP.

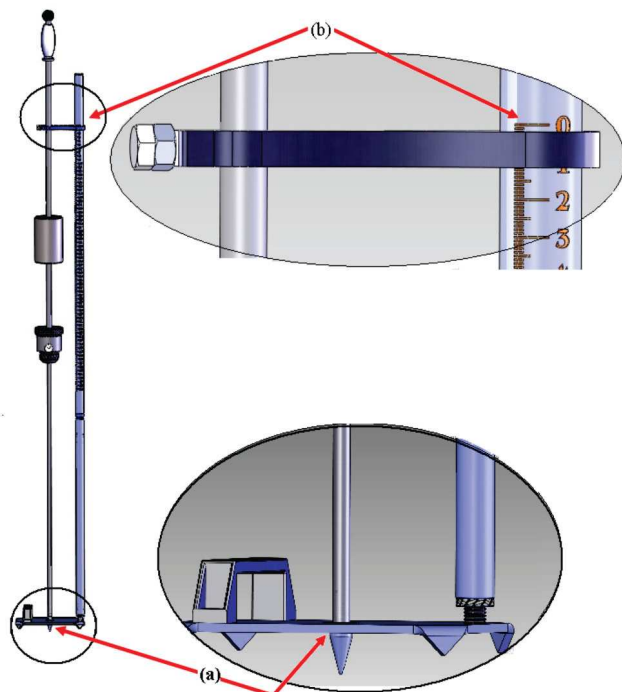
**Penetrômetro de Impacto:** Utilizou-se para medida da resistência do solo o penetrômetro de impacto Stolf et al. (1983), apresentado esquematicamente na figura 1, medindo-se até a profundidade de 50 cm. Após a obtenção dos dados de campo, os mesmos foram transformados em MPa segundo a teoria apresentada em Stolf (1991) e, em seguida, transformados em camadas de 5 em 5 cm por meio de programa computacional desenvolvido para o aparelho (STOLF et al., 2014).

**Densidade do solo e porosidade total:** após a determinação da condutividade hidráulica as amostras foram secas em estufa e pesadas para determinação da densidade do solo e obtidas a densidade da partícula pelo método do picnômetro para determinação da porosidade total (EMBRAPA, 1979).

**Número de amostras e profundidade:**

a coleta de amostras de solo para obtenção da condutividade hidráulica e densidade do solo foi realizada na camada de 0 a 10 cm enquanto que a leitura da resistência do solo na camada de 0 a 50 cm com valores de 5 em 5 cm. Foram tiradas as médias de 0-5 e 5-10 cm para a resistência do solo de forma a também permitir a comparação com os outros dois atributos. Para cada área considerada foram utilizadas oito repetições. O caminhamento para retirada das amostras foi em “zigue-zague” (ou caminhamento em Z).

**Áreas amostradas:** Para a caracterização das diferentes áreas cultivadas foram realizadas as amostragens descritas em quatro locais diferentes no campus de Araras-SP (CCA/UFSCar), cada qual com um tipo de vegetação:



**Figura 3:** Desenho esquemático de um penetrômetro de impacto, no qual se ilustra a leitura de profundidade na régua com escala milimétrica (STOLF et al., 2012).

- **Área com Mata-nativa.** Cobertura vegetal Floresta Estacional Semidecidual e solo de classe textural argilosa.
- **Área com cultivo de Pinhão-manso** (*Jatropha curcas*). solo de classe textural argilosa/muito argilosa.
- **Área com cultivo de Soja** (*Glycine max*). solo de classe textural argilosa.
- **Área com cultivo de Cana-de-açúcar** (*Saccharum officinarum*). Solo de classe textural argilosa/muito argilosa.

**Análise estatística:** utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado para 4 tratamentos, 8 repetições, para comparação de média pelo teste Tukey a % 5 (BRUGNARO, 2007) e calculou-se o coeficiente de correlação entre as variáveis estudadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na seleção das áreas, levou-se em consideração que as mesmas deveriam apresentar elevado teor de argila, portanto mais sujeitas a compactação. Por essa razão todas as áreas selecionadas pertencem à classe textural argilosa (Tabela 1), sendo, portanto, susceptíveis à compactação. Em seguida, considerou-se que as áreas deveriam apresentar diferentes estágios de degradação devido a diferentes manejos de sua cobertura vegetal.

Tabela 1. Características das áreas estudadas: tipo de solo, textura e classificação textural.

<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Tipo de Solo (LIMA FILHO, 2000)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Areia (%)</b>	<b>Classe textural</b>
Mata-nativa	Nitossolo Vermelho Distroférico Latossólico (Nvdf)	48	23	Argilosa
Pinhão-manso	Argissolo Vermelho Distrófico Latossólico (Pvd)	58	29	Argilosa
Soja	Argissolo Vermelho Distrófico Latossólico (Pvd)	44	43	Argilosa
Cana-de-açúcar	Latossolo Vermelho Distroférico Típico (Lvdf)	59	21	Argilosa

Em termos de exposição a fatores antrópicos que levam à degradação do solo selecionou-se a mata nativa como a menos impactada. Em seguida tem-se o pinhão manso de vegetação arbórea, perene, em pomar, com pouco trânsito de máquinas. Na sequência, duas culturas intensivas de uso de insumos e máquinas agrícolas, soja e cana-de-açúcar foram escolhidas, sendo esta última submetida a tráfego pesado com maior intensidade. Assim, a sequência prevista do sistema menos impactado para o mais impactado é: mata-nativa < pinhão-manso < soja < cana-de-açúcar, todas em solo argiloso. Nessa sequência de sistemas de cobertura vegetal os atributos de solo condutividade, resistência e densidade do solo serão analisados em relação ao grau de compactação. Diferente da abordagem um a um as citadas variáveis serão apresentadas e discutidas em conjunto.

Na Tabela 2 são apresentados os dados médios obtidos. O teste de Tukey (5%) apenas mostrou diferença significativa para a condutividade hidráulica e resistência do solo e, nesses dois casos apenas entre os sistemas e: mata nativa e cana-de-açúcar. Contudo nota-se uma tendência de redução da condutividade, aumento da resistência e da densidade do solo na sequência dos sistemas menos para mais compactados. Essa tendência conjunta das variáveis de indicar a sequência de compactação das áreas pode ser vista nas Figuras 5, 6 e 7.

Tabela 2. Valores de condutividade hidráulica, resistência do solo e desidade do solo para as áreas de cobertura vegetal, na profundidade 0-10 cm, média de oito repetições.

Cobertura vegetal	$K_0$ (cm/h)	Resistência (MPa)	Ds (g/cm <sup>3</sup> )
Mata nativa	23,2	1,28	1,15
Pinhão Manso	14,3	1,94	1,19
Soja	13,3	2,63	1,21
Cana-de-açúcar	2,5	5,49	1,24

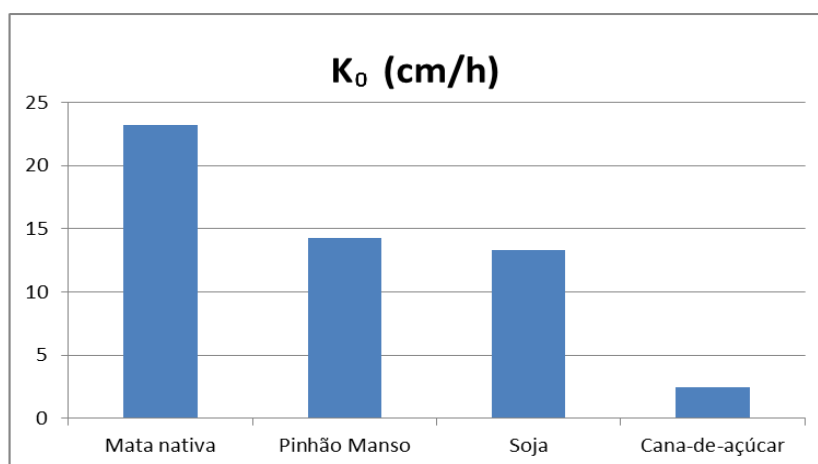


Figura 4. Histograma da condutividade hidráulica nas áreas de diferentes coberturas vegetais.

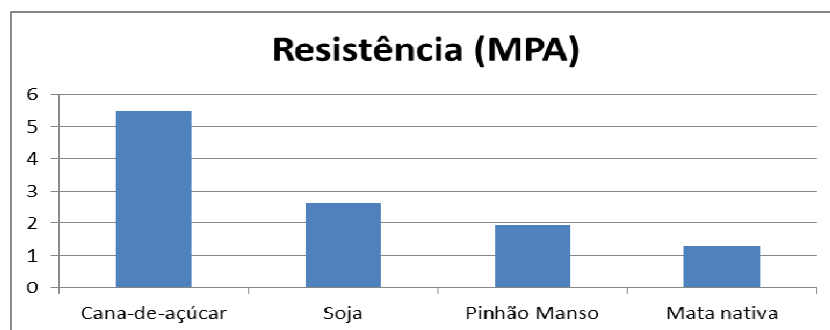


Figura 5. Histograma da resistência do solo nas áreas de diferentes coberturas vegetais.

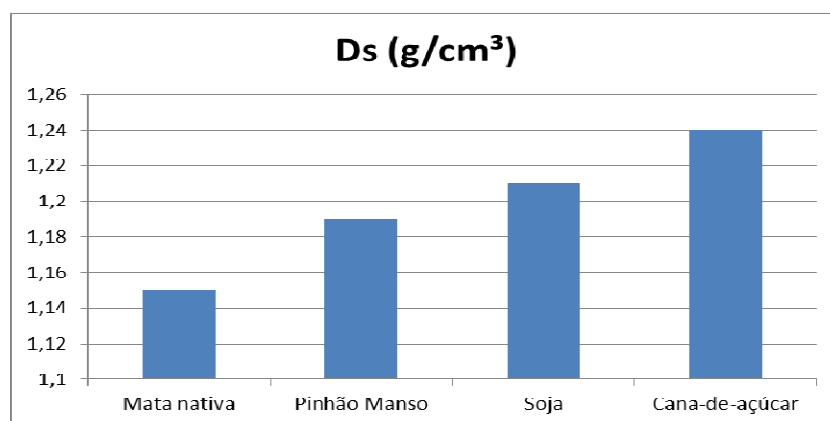
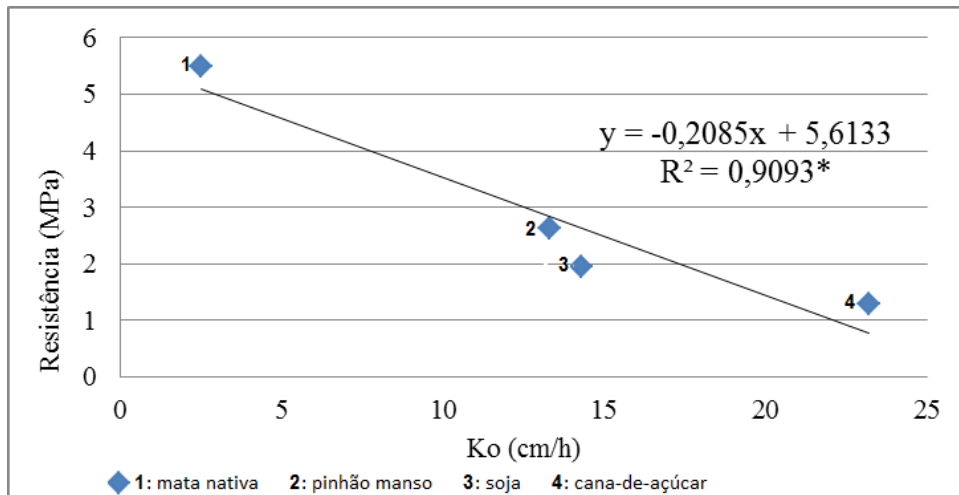
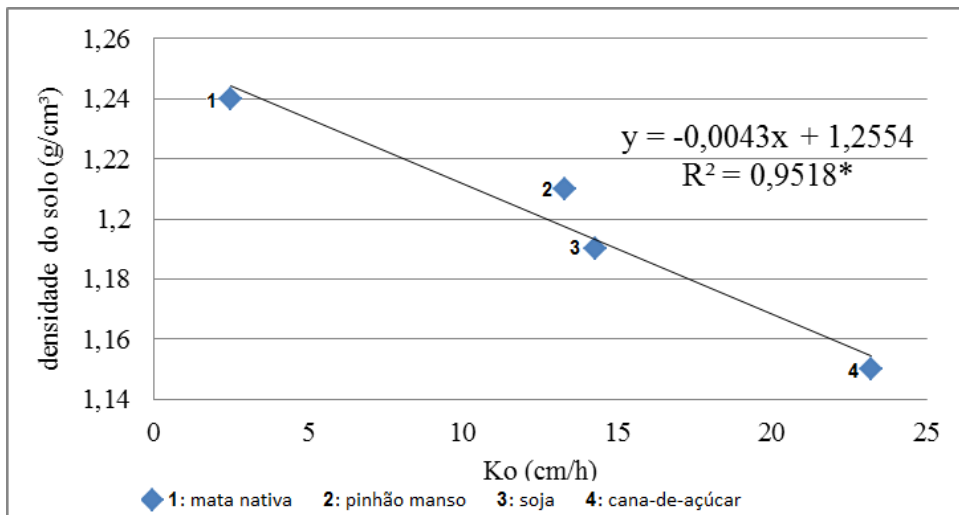


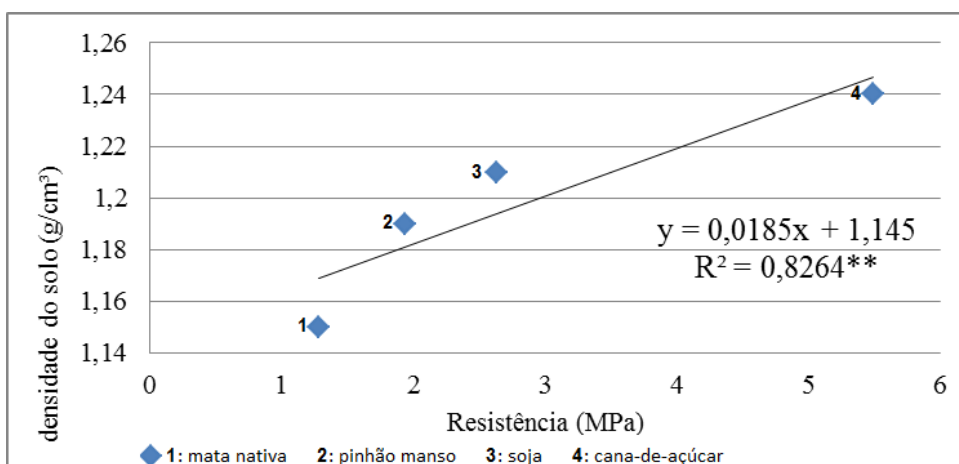
Figura 6. Histograma da densidade do solo nas áreas de diferentes coberturas vegetais



**Figura 7.** Correlação linear entre os valores obtidos de condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) e resistência do solo (MPa). (\*) significativo a 5 % de probabilidade segundo o teste F.



**Figura 8.** Correlação linear entre os valores obtidos de condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) e densidade do solo ( $g/cm^3$ ). (\*) significativo a 5 % de probabilidade segundo o teste F.



**Figura 9.** Correlação linear entre os valores obtidos de resistência do solo (MPa) e densidade do solo ( $g/cm^3$ ). (\*\*) significativo a 10 % de probabilidade segundo o teste F.

Esses resultados são um indicativo de um comportamento harmônico das variáveis, ou seja, com a redução da condutividade ocorre um aumento da resistência do solo e da densidade e, mais, esse comportamento ocorre em sequência, da área menos para a mais impactada. Para verificar essa hipótese calculou-se o coeficiente de correlação ( $R^2$ ), comprovando-a pela obtenção valores elevados e significativos do citado coeficiente segundo o teste F (Figuras 7, 8, 9).

Os dados já discutidos referem-se à profundidade de 0-10 cm. Contudo para resistência do solo foram obtidos dados até 50 cm de profundidade. Os resultados são apresentados na Figura 10. Pela figura é possível notar que os sistemas se diferenciam na sequência de menor para maior impacto: mata nativa < pinhão-manso < soja < cana-de-açúcar. Contudo, os valores de resistência vão se aproximando em profundidade até atingir cerca de 30 cm, indicando que abaixo dessa profundidade encontram-se valores de resistência natural, sem alterações antrópicas.

Especialmente penetrômetros proporcionam medidas a grandes profundidades rapidamente. A Figura 1 foi construída utilizando penetrômetro de impacto com oito repetições por curva em um total de 32 perfis. Considerando 10 valores por perfil até a profundidade de 50 cm utilizou-se um total de 320 dados para a confecção da citada figura. A rapidez e dispensa de utilização de laboratório, aliadas a programa computacional que trabalha os dados interpolando em camadas de 5 em 5, realizando média de perfis e gráficos (STOLF et al. 2014) são algumas das razões para sua adoção. Dessa forma penetrômetros encontram ampla aplicação em física de solo: mapeamento de resistência do solo, avaliação da compactação, controle de tráfego, umidade x resistência, estudos em lavouras, pastagens e florestas, recuperação de áreas degradadas, geoestatística, variabilidade espacial, uso como indicador de qualidade do solo (STOLF et al., 2012).

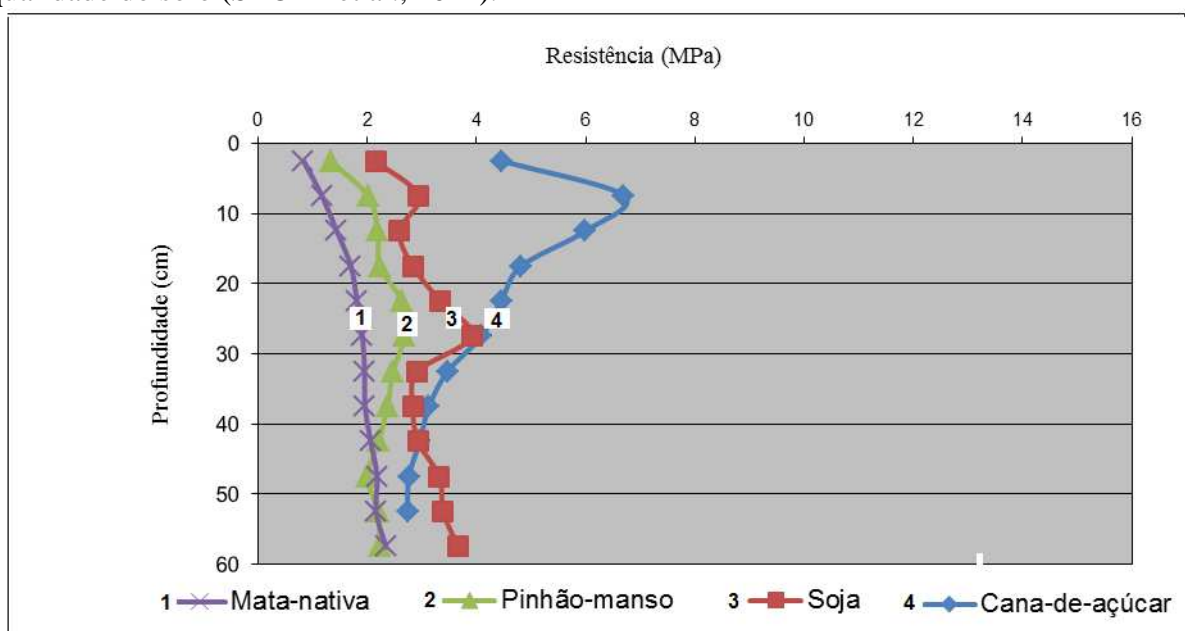


Figura 10. Resistência do solo em profundidade para diferentes coberturas vegetais.

## CONCLUSÕES

Foi possível para as três variáveis analisadas, condutividade hidráulica, resistência do solo e densidade do solo, caracterizar uma tendência crescente do grau de compactação das áreas na seguinte ordem: mata nativa < pinhão-manso < soja < cana-de-açúcar. Essa semelhança de

comportamento das três variáveis para a caracterização do estado de compactação foi corroborada pela elevada correlação linear ( $r^2$ ) entre as mesmas. Foram obtidas diferenças significativas (Tukey a 5%) entre as médias do local com desenvolvimento de cana-de-açúcar e o de mata-nativa tanto para condutividade hidráulica saturada como para a resistência do solo, respectivamente: (2,5 cm/h x 23,2 cm/h), (5,49 MPa x 1,28 Mpa.)

## REFERÊNCIAS

- BRUGNARO, C. Análise de variância e teste de Tukey. Universidade Federal de São Carlos (UFScar), 2007. Download: <http://www.cca.ufscar.br/wp-content/uploads/2011/09/Tukey.xls>
- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURY, N.; FERREIRA, M.M.; FRANÇA, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. R. Bras. Ci. Solo, 35:613-322, 2011.
- CASTAGNARA, D.D.; KAWARTTE JUNIOR, N.; ZOZ, T.; PIANO, J.T.; ROSSOL, C.D.; OLIVEIRA, P.S.R.; SAIDELET, E.P.. Atributos físicos de Latossolo Vermelho sob pousio ou cultivado com forrageiras tropicais sob pastejo. Biosc. J., 28:150-158, 2012.
- DEBIASI, H. & FRANCHINI, J.C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. Ci. Rural, 42:1180-1186, 2012.
- ECCO, M.; CARVALHO, L., FERRARI, L. Variabilidade espacial da resistência do solo a penetração em área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2008/2009. Agrarian, 5:263-269, 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1979. 255p.
- IAREMA, A.A.; FONTE, L.E.F.; FERNANDES, R.B.A.; SHAEFER, C.E.G.R.; PEREIRA, L.C. Qualidade física e química do solo em áreas de exploração florestal no Mato Grosso. R. Árvore, 35:737-744, 2011.
- LIMA FILHO, S. A. Levantamento pedológico Detalhado do Centro de Ciências Agrárias (CCA/ARARAS) Da Universidade Federal de São Carlos (UFScar), Relatório Técnico, 17p. 2000.
- MACHADO, W.; TELLES, T.S.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F.; ALVES, G.B.; BORGES, J.L.B. Physical properties of a rhodic haplustox under two sugarcane harvesting systems. R. Bras. Ci. Solo, 34:1803-1809, 2010.
- MARQUES, J. D. de Oliveira.; TEIXEIRA, W. G; REIS, A. M.; JUNIOR, O. F. C.; MARTIS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturando utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais do baixo Amazonas. Acta Amazonica, v.38, n.2, p.193-206, 2008.
- MARTINS, C.A.S.; PANDOLFI, F.; PASSOS, R.R.; REIS, E.F.; CABRAL, M.B.G. Avaliação da compactação de um Latossolo Vermelho Amarelo sob diferentes coberturas vegetais, Biosci. J., 26:79-83, 2010
- MARTINS, C.A.S.; PANDOLFI, F.; PASSOS, R.R.; REIS, E.F.; CABRAL, M.B.G. Avaliação da compactação de um Latossolo Vermelho Amarelo sob diferentes coberturas vegetais, Biosci. J., 26:79-83, 2010
- MESQUITA, M. da GLÓRIA. B. de FREITAS.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, Maio/Junho, 2004.
- MOURA, J. B.; MARASCA, I.; MENESES, L. A. S.; PIRES, W. M.; MEDEIROS, L. C.. Resistência a penetração do solo em pastagem cultivada com *Brachiaria decumbens* sob aplicação de dejetos líquidos suínos e cama de frango. Global Sci. Technol., 5:162-169, 2012.



PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. R. Bras. Ci. Solo, 34:575-585, 2010.

RAMOS, F.T.; MONAR, Y.C.; NUNES, M.C.M.; CAMPOS, D.T.S.; RAMOS, D.T. Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. R. Caatinga, 23:112-120, 2010.

RAMOS, T.; GONÇALVES, M. A; MARTINS, J. C.; PIRES, F; PEREIRA, L. S. Propriedades hidráulicas do solo para as diferentes classes texturais. Revista de ciências agrárias, v.34, n.2, p.252-264, 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 1ª ed, Barueri, SP: Manole, 2004. 478 p.

SILVA FILHO, E.P.; COTTAS, L.R.; MARINI, G.B.S. Avaliação da compactação dos solos em áreas de pastagens e florestas em Porto Velho-Rondônia. Bol. Geogr., 28:145-155, 2010

SILVA, D.C.; SILVA, M.L.N.; CURY, N.; OLIVEIRA, A.H.; SOUZA, F.S.; MARTINS, S.G.; MACEDO, R.L.G.. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. R. Estudos Amb., 13:77-86, 2011.

SILVA, W.R.N.; NUNES, M.C.M.; CALDEIRA, D.A.S.; ARANTES, E.M.; SOUZA, L.H.C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes manejos. R. Agrotecnol., 3:49-61, 2012.

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 n. 1))

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo, R. Bras. Ci. Solo, , 15:229-235, 1991.

STOLF, R.; THURLER, A. M.; BACCHI, O.O.S. ; REICHARDT, K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. R. Bras. Ci. Solo, v. 35, p. 447-459, 2011.

STOLF, R.; MURAKAMI, J.H.; MANIERO, M.A.; SILVA, L.C.F.; SOARES, M.R. Incorporação de régua para medida de profundidade no projeto do penetrômetro de impacto Stolf. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v.5, n.36, p.1476-1482, 2012.

STOLF, R. ; Murakami, J.H. ; BRUGNARO, C. ; SILVA, L. G. ; SILVA, L. C. F. . Penetrômetro de impacto Stolf - Programa computacional de dados em excel-VBA. R. Bras. Ci. Solo, v.38, n.3, p. xxx-xxx, 2014 (prelo). Download do programa: [http://www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar\\_ARTIGOS/100\\_Penetrometro\(Stolf,R\).xls](http://www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar_ARTIGOS/100_Penetrometro(Stolf,R).xls)

WARRICK, A.W. (Ed.). 2002. Soil Physics Companion. CRC Press. Boca Raton, USA, 389p.