



CALIBRAÇÃO DAS HASTES INSTRUMENTADAS DO PROTÓTIPO MEDIDOR DE RESISTÊNCIA AO ROMPIMENTO DO SOLO

Thiago Martins Machado¹ & Kléber Pereira Lanças²

RESUMO: A compactação do solo é um problema que atinge a maioria das áreas agricultáveis do Brasil, sendo provocada por diversos fatores, tais como o excesso de carga e o tráfego intenso de máquinas, uso de pneus inadequados para o valor de carga aplicada e com pressões de inflação fora do recomendado, tráfego de máquinas com o teor de água do solo não recomendado e vários outros problemas. Existem disponíveis vários modelos e sistemas de mensuração da compactação do solo no Brasil; porém, os sensores desses equipamentos necessitam de processamento e interpretação dos dados, sendo muitas das vezes processos lentos e de baixa capacidade operacional. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver e calibrar um protótipo, capaz de realizar a leitura da resistência do solo ao rompimento, através de três hastes, em diferentes camadas, armazenando esses dados. O equipamento foi desenvolvido para ser montado na parte frontal do trator possibilitando o seu movimento vertical para introdução no solo, controlado pelo sistema hidráulico central do trator. As partes constituintes do protótipo frontal são o chassi, as hastes, as células de carga, o coletor de dados e um GPS. O protótipo frontal do trator envia os dados de força no solo lidos pelas células de carga, sendo armazenados e sincronizados com os arquivos vindos do GPS. A calibração do equipamento foi realizada nas pistas de Ensaio do NEMPA – Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agrícolas, utilizando como calibrador um penetrômetro, para avaliar a compactação do solo, no qual os valores médios de índice de cone (IC) foram inseridos no coletor de dados obtendo uma correlação linear de $r = 0,90$ com os dados do protótipo, considerada aceitável nesta primeira fase. O protótipo e os demais sistemas automatizados foram funcionais, sendo possível mensurar a resistência mecânica do solo, armazenar e demonstrar os trajetos em que houve compactação do solo maior que 2 MPa.

PALAVRAS-CHAVE: Compactação, índice de cone, penetrômetro.

INSTRUMENTED ROD CALIBRATION OF A PROTOTYPE SOIL MECHANICAL RESISTANCE MEASUREMENT PROTOTYPE

ABSTRACT: The soil compaction is a problem that reaches most of the Brazilian tillable areas and it can be caused by many factors, like the use of overweight agricultural machinery, the intense and, inappropriate use of tires load, to exceed recommended inflation pressures, the machinery traffic on soil with not recommended water content conditions, and many others. There are many types of models and systems that measures soil compaction in Brazil, but the sensors of these equipment require data processing and interpretation, what can result in a low operational capacity. The objective of this research was to calibrate a prototype capable of measuring soil resistance in three different layers and of storing soil mechanical resistance data. The equipment was developed to be attached to the front of the tractor to allow the rod vertical introduction into the soil, and it is controlled by the central hydraulic system of the tractor. The frontal prototype constituents are chassis, rods, load cells, data collector, and a GPS. The tractor's frontal prototype sends the data of soils pressure read by the load cell, which is stored and synchronized with the files generated by the GPS. The equipment calibration was realized on the NEMPA Agroforestry Machinery and Tire Testing Center/FCA, using the detector apparatus as a calibrator compression, a penetrometer in which the values of cone index (CI) were entered into the data collector for comparison, with an correlation of $r = 0.90$ considered acceptable for a first prototype. The prototype and other automated systems were functional, it is possible to measure the mechanical strength of the soil, store and show the paths that had soil compaction.

KEYWORDS: Compression, cone index, penetrometer.

¹Prof. Dr. Auxiliar - UFMT - Campus de Sinop - MT. E-mail: tm.machado@hotmail.com

²Prof. Dr. Titular - UNESP/FCA - Campus de Botucatu - SP. E-mail: kplancas@fca.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

O emprego de máquinas e implementos de maior massa, tem buscado um maior rendimento operacional e proporcionado a utilização de máquinas, muitas vezes com peso excessivo, rodado subdimensionado, submetendo os solos a tensões cada vez mais elevadas, agravando os problemas de compactação.

A compactação do solo, caracterizada pela redução do espaço poroso quando este é submetido a uma pressão externa, pode ser considerada como um dos principais problemas em áreas intensamente mecanizadas e um dos fatores primordiais da degradação de sua estrutura (MOSADDEGHI et al., 2007).

Segundo Benedetti et al. (2010), a resistência do solo a penetração apresenta uma alta correlação com o teor de água e com a densidade do solo.

A presença de camada de solo compactada pode significar sérios problemas ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas em geral. Uma das formas de diagnóstico da sua presença é através do uso de penetrômetros ou penetrógrafos que exigem tempo considerável para a obtenção de dados, conforme relatado por Adamchuk e Molin (2006).

A automação da coleta de dados de resistência do solo à penetração é a opção mais adequada para o levantamento da compactação de solos, no âmbito da agricultura de precisão; no entanto, penetrógrafos automáticos com sistema dedicado de aquisição de dados, não estão disponíveis no mercado nacional, sendo necessário desenvolvimento experimental para que um modelo comercial que possa ser apresentado (BIANCHINI et al., 2001).

A partir da década de 90, com a implementação do GPS (Sistema Posicionamento Global por satélites) aliado a disponibilidade de equipamentos e máquinas agrícolas com eletrônica embarcada, possibilitou gerar os primeiros trabalhos no Brasil sobre agricultura de precisão (MOLIN, 2013)

Segundo (MOLIN, 2009) a Agricultura de Precisão é um sistema de gerenciamento agrícola baseado nos mapas gerados pela variação espacial de propriedades do solo e das plantas encontradas nas lavouras e visa à otimização do lucro, sustentabilidade e proteção do ambiente.

Lanças e Santos (1998) desenvolveram um penetrógrafo hidráulico-eletrônico, montado na UMAS – Unidade Móvel de Amostragem do Solo, com DGPS, que usa como fonte de potência o sistema hidráulico do trator agrícola, através do engate rápido. O sistema de aquisição de dados é composto por um data-logger e acessórios, para receber as informações da célula de carga e do potenciômetro. Os autores constataram, ainda, diferenças significativas entre os dados obtidos pelo penetrógrafo manual e pelo hidráulico, atribuindo essas diferenças ao melhor controle de velocidade obtido no penetrógrafo hidráulico Adamchuk et al. (2006) avaliou

duas hastes com função de mapeamento da resistência do solo, sendo a primeira uma haste instrumentada com extensômetro elétrico e a segunda uma haste instrumentada com 5 células de carga. Os resultados de campo demonstraram que os dois sistemas apresentam uma baixa correlação com o penetrômetro de cone, indicando a necessidade de mais estudos a serem realizados para melhoria dos equipamentos.

Sánchez et al. (2007) desenvolveram e avaliaram um sensor de perfil de compactação em tempo real, composto de oito elementos de corte, projetados para fornecer informações sobre a resistência do solo ao corte para cada camada de 0,075 m até uma profundidade total de 0,6 m, fornecendo dados para confecção de mapas de resistência a penetração do solo.

Adamchuk e Molin (2006) buscaram uma solução alternativa ao uso do penetrômetro, através de três hastes instrumentadas, acopladas a uma barra porta-ferramenta montada no engate de três pontos do trator, com um receptor de GPS e um sistema de aquisição de dados no qual eram gerados mapas de resistência mecânica do solo ao longo do deslocamento de uma haste em três profundidades. O sistema mostrou ser mecanicamente simples e confiável. Os ensaios em campo demonstraram que o sistema podia produzir mapas que denotavam a variabilidade espacial da resistência nas áreas amostradas, com alta resolução, tendo a densidade de amostragem elevada variando de 48 a 61 pontos por ha sendo que no sistema tradicional a quantidade de pontos varia de 16 a 32 pontos. O equipamento obteve uma capacidade operacional de 6 a 9 ha por hora, ainda mais elevada se comparada com levantamentos feitos com métodos convencionais.

O conceito de sensores para relacionar as propriedades físicas do solo, medições de compactação do solo, mapeamento simultâneo de resistência mecânica do solo, em diferentes profundidades e conteúdo de água tem mostrado ser uma abordagem promissora, auxiliando significativamente o conhecimento das variáveis físicas do solo e potencialmente, contribuindo para o aumento da eficiência da agricultura (Adamchuk et al., 2008).

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver e calibrar um protótipo de hastes instrumentadas, capaz de fazer a leitura de resistência do solo, em três diferentes camadas armazenando os dados e gerando mapa de resistência mecânica do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A construção das hastes instrumentadas, foi realizada em parceria com empresa Stara3 desenvolvendo a parte mecânica e eletrônica do equipamento. O projeto foi desenvolvido para ser fixado na parte dianteira do trator, baseado no sistema “Front Linkage”, sistema de engate de três pontos usado na dianteira dos tratores na Europa.

³ A citação de marcas e modelos de produtos comerciais não indicam recomendação dos autores

Os programas computacionais utilizados foram, primeiramente, o AutoCAD 2010, versão 18.0, (Autodesk®) para os desenhos iniciais e SolidWorks, versão premium 2009 (Dassault Systèmes SolidWorks Corp®) para desenhos mais avançados.

O projeto foi baseado em ensaios preliminares de áreas compactadas, no qual foram simuladas situações em que a subsolagem seria feita em camadas variáveis. A partir dos dados simulados, constatou-se a viabilidade do projeto, iniciando a construção do primeiro protótipo, sendo o sistema composto de um leitor de resistência do solo ao cisalhamento, por hastes instrumentadas, montadas em um chassi com quadro articulado hidráulicamente na parte frontal do trator.

O protótipo da estrutura das hastes instrumentadas, foi construído sobre um chassi em aço SAE 1020 de espessura 19,7 mm e um quadro de fixação aço SAE 1020 de 12,7 mm. As hastes (Figuras 1 a 4) montadas no bloco, foram desenvolvidas em aço SAE 1045 com dimensões 100 x 700 mm e espessura 12,7 mm. A borda cortante possuía um ângulo 45° em forma de cunha, sendo que as dimensões foram baseadas nos experimentos de GILL (1968) e também por Adamchuk e Molin (2006). As hastes foram posicionadas uma à frente da outra, no sentido longitudinal do trator, instrumentadas com células de carga marca Flintec modelo M C3 com capacidade de 3 toneladas encaixadas no parafuso regulador da haste em aço SAE 4140, no qual as mensurações da resistência a penetração foram obtidas de 0,10 m em 0,10 m de profundidade, atuando até 0,30 m, tendo o equipamento completo o peso total de 200kg. O quadro no qual as hastes foram fixadas ao chassi através de 4 tirantes de aço SAE 1020 tubulares com seção quadrada de 60 mm, montados em forma pantográfica que tem o controle de altura regulado por um cilindro hidráulico (Figura 1) de curso de 400 mm com capacidade de carga de 3 toneladas, que sendo responsável pelo movimento de subida e descida do equipamento (Figura 4). O acionamento do sistema hidráulico é feito pela alavanca de controle da válvula de dupla ação do trator, no qual é conectada mangueiras de borracha, acopladas aos terminais de engate rápido localizados na traseira do trator.

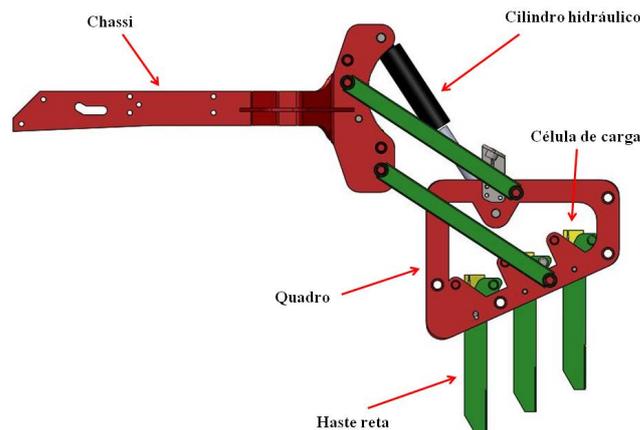


Figura 1 - Componentes do protótipo

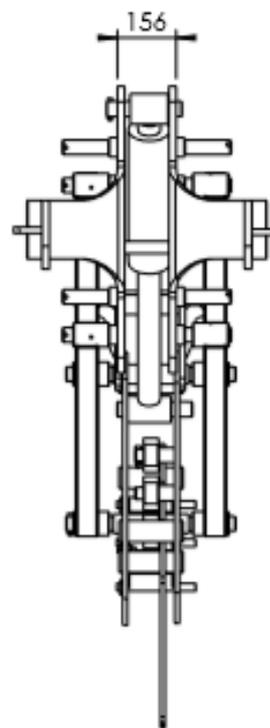


Figura 2 - Projeção ortogonal do protótipo, vista frontal

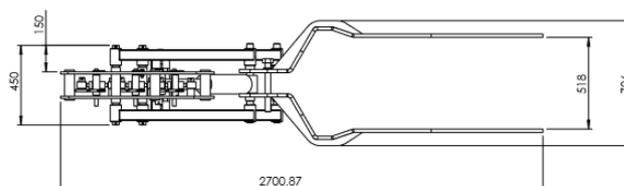


Figura 3 - Projeção ortogonal do protótipo, vista superior

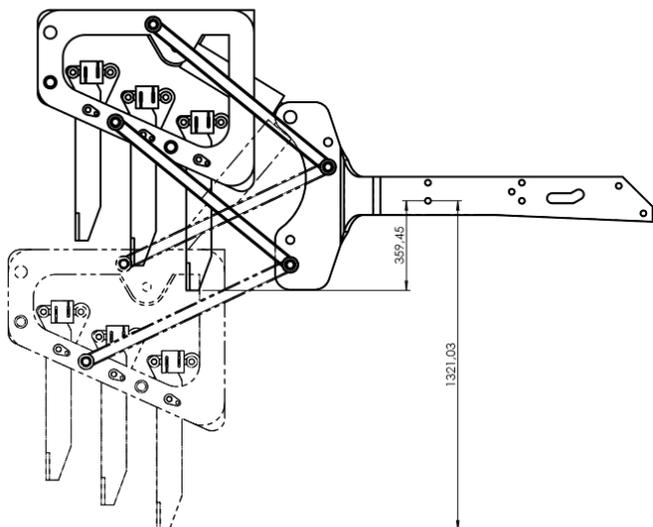


Figura 4 - Projeção ortogonal do protótipo, vista lateral esquerda



Figura 5 - Coletor de dados. Fonte: autor.

O sistema eletrônico era composto por um GPS marca NovATEL modelo 701GG com funcionamento em frequência de 5Hz, banda L1/CA com correção eDIF, coletor de dados marca Stara, modelo Topper.

Os dados do GPS, em arquivos de formato NMEA (GGA), foram incorporados aos dados de pressão do solo pelas hastes, mensurados pelas células de carga (MPa). Os dados foram armazenados no coletor de dados, contendo informações de altitude, longitude e latitude e profundidade e pressão das hastes no solo, sendo gerados em arquivos no formato SHP, DBF, SHX e PDF e descarregados via USB. No formato PDF foi apresentado um resumo dos arquivos com latitude e longitude, com uma coordenada central da área e desenho do trajeto no mapa para locais com mais de 2 MPa de pressão.

A montagem do sistema automatizado foi realizada em um trator da marca John Deere, modelo 6600 (Figura 5), tração dianteira auxiliar (4x2 TDA), 6 cilindros, potência

máxima de 89 kW (121 cv), com 3924 N (400 kg), lastros metálicos no eixo dianteiro e no eixo traseiro, pesando 3825 N (390 kg), montado com pneus 18.4-26 com 26 psi de inflação e 23.1-30 com 24 psi, respectivamente na dianteira e traseira, todos com 75% de lastro líquido. A distribuição de carga do trator foi de 40 % no eixo dianteiro e 60% no eixo traseiro, com peso total de 64696 N (6595 kg), com uma relação peso e potência de 55 kg cv⁻¹. A vazão no sistema hidráulico era de 66 L min⁻¹ a 2400 rpm.

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu, estado de São Paulo. O centro da área está localizado geograficamente a: 22° 50' Latitude Sul, 48° 25' Longitude Oeste e altitude de 791 m.

O clima, segundo a classificação de Köppen (1948) citado por (CUNHA et al., 1999), é do tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com uma estação seca, que vai de abril a agosto e a estação chuvosa que compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso.

O solo da área experimental foi classificado, conforme a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (1999), como Nitossolo Vermelho Distroférico.

O resultado da análise granulométrica do solo, antes da instalação do experimento, em três profundidades, variando de 0 a 0,30 m é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise granulométrica do solo da área experimental

Profundidade (m)	g kg ⁻¹		
	Silte	Areia	Argila
0,00-0,10	190	140	670
0,10-0,20	208	160	632
0,20-0,30	191	139	669

O experimento constituiu-se de 4 tratamentos com delineamento inteiramente casualizado, com 6 repetições, totalizando 24 parcelas. Cada parcela foi locada em nível e constituía-se de uma área de 50 m² (5 x 10 m) sendo outros 20 metros iniciais e finais reservados para estabilização das células de carga.

A área na qual foi realizado o experimento foi totalmente subsolada a 0,40 m com auxílio do subsolador marca Jan modelo Jumbo Matic e um trator New Holland modelo 7040 de 132 kW de potência com peso total de 88290 N (9000 kgf) sendo a distribuição de massa 60% eixo traseiro e 40% eixo dianteiro, montado sobre pneus

diagonais 18.4-26 e 24.5-32 com pressão de inflação de 24 psi.

Após a subsolagem, para induzir a compactação foi utilizado o mesmo trator para gerar a compactação do solo por meio da passagem dos rodados do trator (tratamentos P2 a P4), perfazendo toda a superfície da parcela. O número de vezes que o trator trafegou num mesmo trajeto variou conforme o tratamento. No tratamento P1 (Tabela 2) a compactação do solo foi realizada através de uma passagem do rolo compactador da marca Prata modelo 1000, interligado em 3 partes de 9810N de peso cada rolo.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos

Treatamentos	Número de passadas do trator	Velocidade (km.h ⁻¹)
P1	1 com o rolo compactador	6
P2	2	6
P3	4	6
P4	6	6

Após a obtenção da compactação do solo nos tratamentos, foram retiradas amostras para determinação do teor de água no solo, sendo realizadas uma amostra por parcela nas profundidades de 0 a 0,10; 0,10 a 0,20; 0,20 a 0,30 m. Em seguida foi mensurada a resistência a penetração com a utilização do penetrômetro da marca "Falker®" modelo PLG 1020 penetroLOG, com profundidade máxima de 0,60 m, sendo a profundidade controlada por um sensor tipo sonar que realiza o cálculo de velocidade de penetração, avisando ao usuário quando a velocidade está fora do padrão, tendo a opção de ser abortada a medição. O cone na ponta da haste tinha o padrão descrito pela "ASABE" (2009), com ângulo de 30° ponta padrão B com diâmetro 12,83 mm. Em cada parcela foram efetuadas 5 amostragens aleatoriamente no rastro das passadas.

Com os resultados das médias de cada parcela e tratamento, os dados foram inseridos no coletor de dados no qual eram calibradas as 3 hastes em movimento numa distância de 20 m em contato com o solo na profundidade da haste maior de 0,30 m, antes de iniciar a coleta de dados na parcela.

A análise estatística dos dados coletados foi realizada através do programa estatístico Sisvar versão 5.1 Build 72, os gráficos de resistência mecânica do solo e índice de cone, foram obtidos por equações de regressão com a análise de variância pelo teste de F para a função linear e polinomial, teste das hipóteses em nível de significância de 5% e cálculo do coeficiente de determinação (R²).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o desenvolvimento e construção das hastes instrumentadas, que resultou no primeiro protótipo, as seguintes partes e componentes foram montadas na frente do trator: chassi, quadro, coletor de dados, células de carga e GPS. O equipamento completo foi levado até o campo para o ensaio de calibração, verificando a funcionalidade do sistema.

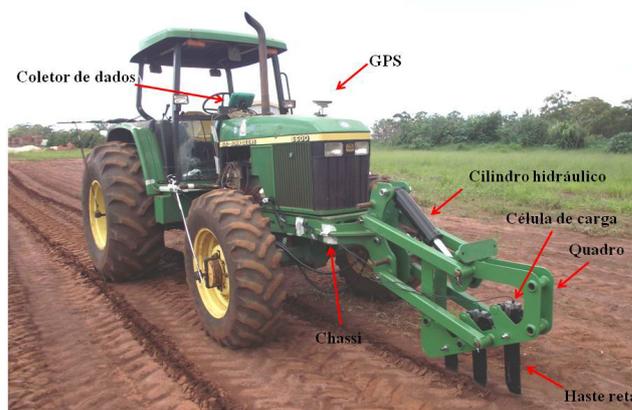


Figura 6 - Protótipo das hastes instrumentadas montadas no trator

Durante o ensaio das hastes instrumentadas em campo, verificou-se o funcionamento da parte eletrônica através da geração do mapa com os dados fornecidos pelo coletor de dados que foi programado para coletar somente valores de resistência mecânica do solo maiores que 2 MPa, inserindo uma coordenada central do tratamento (Figura 7).

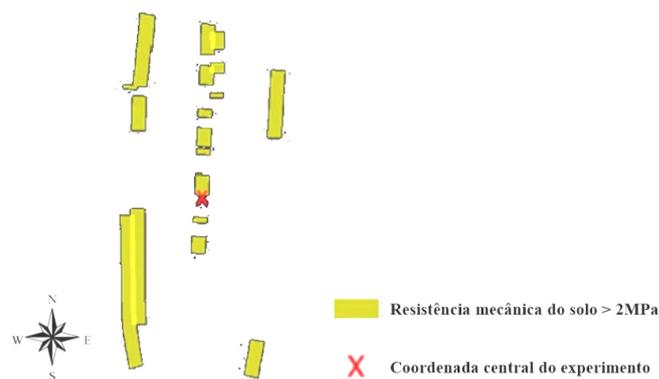


Figura 7 - Mapa de resistência mecânica do solo gerado pelo coletor de dados.

Os valores referentes ao teor de água no solo, na área na qual foram realizados os diferentes tratamentos, para calibração das hastes instrumentadas, estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Teor de água no solo (kg kg^{-1})

Profundidade (m)	Tratamentos				Média (kg kg^{-1})
	P1	P2	P3	P4	
0,00 – 0,10	20,19	19,33	20,60	21,60	20,43
0,10 – 0,20	21,20	21,10	22,10	22,40	21,70
0,20 – 0,30	23,22	22,80	23,40	22,60	23,00
Média	21,53	21,07	22,03	22,20	

Os valores referentes ao teor de água no solo apresentaram uniformidade, mostrando-se adequados para realização do ensaio.

Analisando os dados das hastes em relação ao penetrômetro, obtidos através da regressão, sendo os valores de R^2 para camada de 0,10 m a 0,30 m variando de 0,72 a 0,83 sendo todos significativos pelo teste F com nível de significância de 5% (Figura 8 a 10).

O valor de R^2 mais baixo foi na camada de 0 a 0,10 m, podendo ser explicado, devido o protótipo não possuir sistema pantográfico, tendo interferência das imperfeições do solo nos resultados e outros fatores externos (Figura 8). Enquanto que na camada 0,10 a 0,20 obteve-se o valor mais elevado do coeficiente de determinação, por sofrer menos ação de variáveis da máquina e do solo (Figura 9).

A correlação linear $r = 0,90$ (Figura 11) obtida das variáveis índice de cone e resistência a penetração do solo mostrou um coeficiente de correlação forte, conforme Dancey e Reidy (2006).

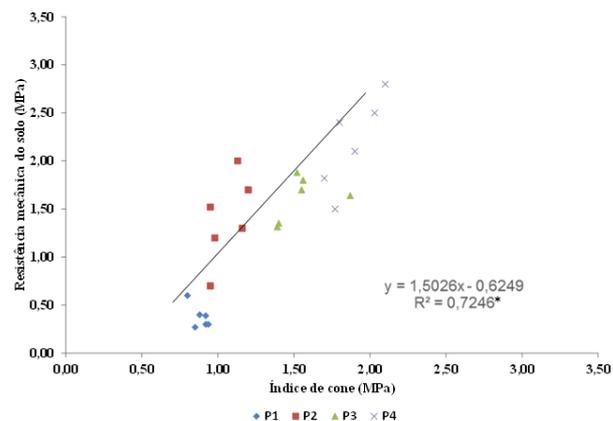
Outros pesquisadores em projeto semelhante obtiveram valores próximos ao $R^2 = 0,82$, obtido no ensaio do protótipo, (Figura 10) levando em consideração todos os dados encontrados nas diferentes camadas de atuação do equipamento.

Siefken et al. (2005) projetaram e ensaiaram hastes instrumentadas semelhantes, em vários tipos de solos e cobertura vegetal e obtiveram um valor de $R^2=0,76$ sendo o valor mais baixo na camada de 0,20 a 0,30 m com $R^2=0,61$ e a mais alta na camada de 0 a 0,10 m com $R^2=0,80$.

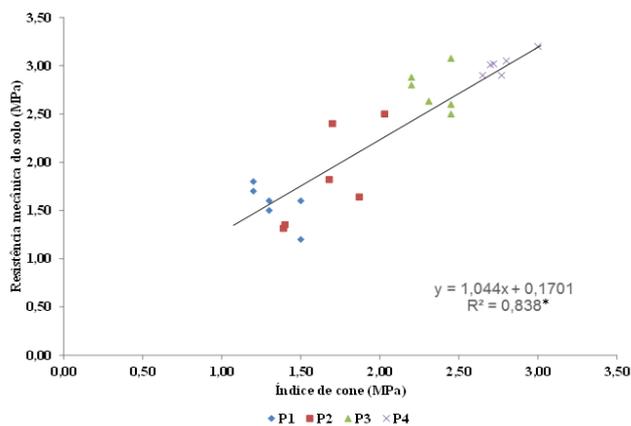
Sanches et al. (2007) obtiveram o valor de $R^2=0,95$ entre o IC e um sistema de transdutores para leitura do perfil de compactação do solo.

Adamchuk et al. (2006) compararam dois sistema de leitura de resistência do solo em tempo real em relação ao índice de cone obtido com penetrômetro, obtendo um valor de $R^2=0,32$ para o sistema de lâmina vertical com leitura por “strain gage” (extensômetro elétrico de

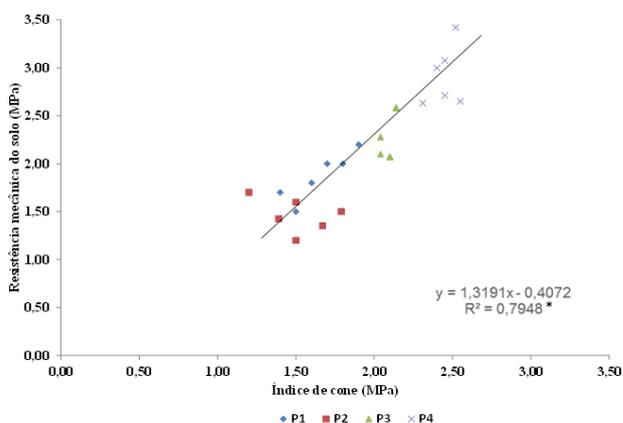
resistência) e para o sistema composto por células de carga obteve um $R^2=0,46$.

**Figura 8 - Resistência mecânica do solo e índice de cone para camada 0-0,10**

(*) Valor estatisticamente significativo pelo teste F com nível de significância de 5%

**Figura 9 - Resistência mecânica do solo e índice de cone para camada 0,10-0,20m**

(*) Valor estatisticamente significativo pelo teste F com nível de significância de 5%

**Figura 10 - Resistência mecânica do solo e índice de cone para camada 0,20-0,30m**

(*) Valor estatisticamente significativo pelo teste F com nível de significância de 5%

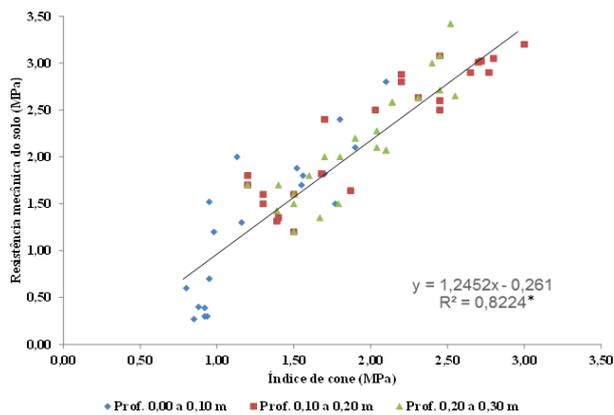


Figura 11 - Resistência mecânica do solo e índice de cone para as camadas de 0-0,10; 0,10- 0,20 e 0,20-0,30 m

(*) Valor estatisticamente significativo pelo teste F com nível de significância de 5%

4 CONCLUSÃO

O protótipo e os demais sistemas automatizados foram funcionais, sendo possível mensurar a resistência mecânica do solo, armazenar e gerar mapas dos trajetos em locais compactados acima de 2 MPa.

As hastes realizaram as leituras de resistência mecânica do solo, em relação ao penetrômetro manual obtiveram um forte coeficiente de correlação com $r = 90$.

O protótipo necessita de melhorias, no armazenamento de dados, com valores inferiores a 2 MPa de resistência mecânica do solo e sincronização das coordenadas geográficas aos dados coletados.

5 REFERÊNCIAS

ADAMCHUK, V.I.; HEMMAT, A.; MOUAZEN, A. M. Soil compaction sensor systems-current developments. **ASABE**, St Joseph, 2008. 10 p. (ASAE Paper No. 083994)

ADAMCHUK, V.I.; MOLIN, J. P. Hastes instrumentadas para mensuração da resistência mecânica do solo. **Revista Engenharia Agrícola**. V. 26, n.1, 2006. Disponível em: <<http://www.sbea.org.br>>. Acesso em: 4 jan. 2009.

ADAMCHUK, V.I.; SUDDUTH, K. A.; INGRAM, T.J.; CHUNG, S.O. Comparison of two alternative methods to map soil mechanical resistance on-the-go. **ASABE**, St Joseph, 2006. 11 p. (ASAE Paper No. 061057)

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASABE** EP542: Procedure for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer. St. Joseph, MI, 2009. 3 p.

BENEDETTI, M. M. et al. Resistência do solo à penetração em um latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes usos. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-9, 2010. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/resistencia%20do%20solo.pdf>>. Acesso em: 23 dez 2013.

BIANCHINI, A.; MAIA, J.C.S.; MAGALHÃES, P.S.G.; CAPPELLI, N.; UMEZU, C.K. Penetrógrafo eletrônico automático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.332-336, 2001.

CUNHA, A. R., KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E.; ESCOBEDO J. F.; MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. p. 487-491.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. EMBRAPA, 1999. Rio de Janeiro, CNPS, 1999.412 p.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006. 608p. Disponível em: http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/4263/material/Dancey_Reidy_2006.pdf. Acesso em: 20 dez 2013.

GILL, W.R.; VANDENBERG, G.E.V. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1968. 511 p.

LANÇAS, K.P.; SANTOS, C.A. **Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo**. In: BALBUENA, R.H. et al. Ingeniería rural y mecanización agraria en ámbito Latinoamericano. La Plata: UNLP. p. 570-576. 1998.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. In: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agricultura de precisão**. Brasília: MAPA/ACS.2013. 36p. (Bol. Tec.)

MOLIN, J. P. O que é agricultura de precisão? In: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agricultura de precisão**. Brasília: MAPA/ACS.2009. 32p. (Bol. Tec.)

MOSADDEGHI, M. R.; KOOLEN, A. J.; HEMMAT, A.; HAJABBASI, M. A.; LERINK, P. Comparisons of different procedures of pre-compaction stress determination on weakly structure soils. **Journal of Terramechanics**, v.44, n.1, p.53-63, 2007.

SÁNCHEZ, P. A, UPADHYAYA, S. K, JENKINS, B. M. Development, construction, and field evaluation of a soil compaction profile sensor. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 50, n.3, p. 719-725, 2007.

SIEFKEN, R.J.; ADAMCHUK, V.I.; EISENHAUER, D.E.; BASHFORD, L.L. Mapping soil mechanical resistance with a multiple blade system. **ASABE**, St. Joseph, v.21, n.1, p.15-23, 2005.