



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Brasil

Tieppo, Rafael Cesar; Filho, Antonio Gabriel; de Lima Silva, Suedêmio; Gnoatto, Estor
Desenvolvimento de um penetrômetro manual eletrônico
Acta Scientiarum. Technology, vol. 33, núm. 1, 2011, pp. 9-15
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226530011>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Desenvolvimento de um penetrômetro manual eletrônico

Rafael Cesar Tieppo^{1*}, Antonio Gabriel Filho², Suedêmio de Lima Silva³ e Estor Gnoatto⁴

¹Departamento de Agronomia, Universidade do Estado de Mato Grosso, Rod. MT358, s/n, 78300-000, Jardim Aeroporto, Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. ²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, Brasil. ³Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. ⁴Departamento de Ensino, Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: rafaeltieppo@yahoo.com.br

RESUMO. O excesso de tráfego de máquinas pode causar compactação prejudicial ao desenvolvimento da cultura. Uma das maneiras de se obter um indicativo de compactação é a resistência do solo à penetração (RSP). Assim, desenvolveu-se um penetrômetro eletrônico, seguindo a norma S313.2 ASAE (1998), tendo a haste 0,0095 m de diâmetro e o cone de 30° com 0,01283 m de diâmetro na base. Para o desenvolvimento do penetrômetro, utilizou-se um sistema para aquisição de dados, sensor de distância, sensor de força e barras circulares de aço inox para confecção da haste e do cone. O aparelho armazena os dados coletados a campo em uma frequência de 4 Hz, sendo estes posteriormente transferidos para um microcomputador, via interface RS232. Por meio de uma planilha eletrônica, os dados podem ser processados de acordo com a necessidade do usuário. Os sensores apresentaram confiabilidade em sua utilização, os arquivos de dados gerados pelo aparelho proporcionaram conforto e confiança no processamento de dados e os dados puderam ser reorganizados conforme a necessidade do usuário para, assim, evitar o erro de leitura pelo processo visual.

Palavras-chave: compactação, resistência do solo à penetração, sistema de aquisição de dados.

ABSTRACT. Development of an electronic manual penetrometer. Excess machine traffic can cause compaction that is harmful for crop growth. One way to obtain evidence of soil compaction is to check the mechanical resistance of soil. Thus, an electronic penetrometer was developed according to ASAE (1998) Standard S313.2, featuring a 9.53 mm wide diving shaft and a 30° circular stainless steel cone with a 12.83 mm base diameter. The penetrometer was outfitted with a data acquisition system, distance and force sensors, and stainless steel circular bars to construct the diving shaft and cone. The device stores field data collected at a frequency of 4 Hz, which are later transferred onto a microcomputer via a RS232 interface. The collected data can be processed using an electronic spreadsheet according to user needs. The sensors proved reliable during use, and the data files produced by the device provided comfort and confidence during data processing, so that the data could be reorganized according to user needs, thus avoid reading mistakes through the visual process.

Keywords: compaction, mechanical resistance of soil to compaction, data acquisition system.

Introdução

O advento da mecanização nas propriedades agrícolas, cujo intuito foi o de aumentar a produtividade e a qualidade das culturas bem como os lucros no mercado globalizado, proporcionou acréscimo do tráfego de máquinas e implementos nas áreas cultivadas e por consequência um excesso de tráfego, que em algumas situações, pode ocasionar a compactação nas camadas superficiais do solo. Por esta prática, passou a ser necessário o desenvolvimento de tecnologias que propiciassem condições de avaliação dos níveis de compactação do solo, facilitando a coleta de amostras no campo, gerando informações detalhadas quanto à

compactação do solo e assim, optar pelo preparo do solo que melhor se ajustasse a uma dada situação.

A forma para quantificar o nível de compactação do solo é a avaliação de alguns atributos físicos do mesmo, tais como porosidade, densidade do solo, infiltração de água e resistência à penetração do solo. Dentre estas, a resistência do solo à penetração é muito utilizada pela facilidade e rapidez na obtenção de dados. Porém, ela deve ser utilizada como indicativo de compactação do solo, pois é afetada diretamente pelo teor de água do solo.

A norma S313.2 ASAE (1998) define que a pressão necessária para cravar um cone circular de 30°, até uma determinada profundidade do solo, expressa em Mega Pascal (MPa), é um índice de

resistência do solo denominado Resistência do Solo à Penetração, para solos macios que se utiliza um cone de 0,02027 m de diâmetro e haste de suporte com diâmetro de 0,01588 m e para solos duros um cone de 0,01283 m de diâmetro com haste de suporte com diâmetro de 0,00953 m. Define-se pela norma EP542 ASAE (1999) que a resistência do solo à penetração é a força por unidade de área obtida a uma velocidade uniforme de penetração de 72 polegadas por minuto, ou seja, $0,03048 \text{ m s}^{-1}$, com leituras a intervalos de, no mínimo, 0,050 m de penetração. Em experimento realizado em Latossolo Roxo, Klein e Libardi (2000) verificaram que a porosidade de aeração e a resistência à penetração são as propriedades que mais variaram com as mudanças na densidade do solo.

Para obter-se a resistência à penetração de um solo, pode-se utilizar um aparelho denominado penetrômetro, que mede a pressão exercida sobre um cone de aço, em uma determinada camada do solo.

Para Molin e Silva Júnior (2004), os penetrômetros de cone são definidos como instrumentos de medida que caracterizam a resistência do solo à penetração por um método uniforme padrão.

No mercado, há penetrógrafos que proporcionam leituras visuais e anotação manual dos dados, as quais podem ser cansativas, demoradas e em alguns casos até mesmo provocar algum erro nas anotações dos dados coletados. Consequentemente, tornando demorado o processamento dos dados coletados, além de poder promover recomendações errôneas de técnicos que prestam assistência na área.

Um penetrômetro hidráulico-eletrônico foi desenvolvido por Santos e Lanças (2001), utilizando o controle remoto do sistema hidráulico de um trator agrícola. Uma célula de carga, com capacidade para 5000 N, instalada entre a haste do pistão e a haste do penetrômetro, transmite a força de penetração. Um potenciômetro elétrico instalado numa polia, que é acionada por uma haste auxiliar que se desloca conforme a haste principal, perfura o solo e determina a profundidade de penetração. Para armazenamento eletrônico dos dados, foram utilizados um MicroLogger 21X e acessórios que recebiam as informações (em milivolts) da célula de carga e do potenciômetro. Os dados foram descarregados num computador, sendo possível o uso de qualquer programa de planilha eletrônica para transformação dos dados (milivolts para Newtons e milivolts para metros) e cálculo do índice de cone.

Em experimento realizado por Beutler et al. (2007), foram comparados três penetrômetros

levando-se em consideração três níveis de compactação. Foram utilizadas amostras de Latossolo Vermelho distrófico, textura média (Lvd) e, Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa (Lvef), coletadas na profundidade de 0-20 cm, compactadas em camadas em vasos de 25 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Determinou-se a resistência à penetração com os penetrômetros de impacto (IAA/ Planalsucar – Stolf) e de anel dinamométrico (Solotest 1.210.001), ambos com cone de 30°. O penetrômetro eletrônico é equipado com atuador linear e célula de carga de 20 kg, acoplada a um microcomputador para a aquisição dos dados. O penetrômetro de impacto determinou valores superiores de resistência à penetração em relação aos penetrômetros de anel dinamométrico e ao eletrônico. Os resultados obtidos com os penetrômetros de anel dinamométrico e eletrônico foram semelhantes.

Santos e Lanças (2001) avaliaram, em Latossolo Vermelho Escuro, cujo teor de água era de 21,1% e densidade igual a 1.480 kg m^{-3} , a resistência do solo à penetração com um penetrômetro manual, modelo SC60, o qual indicou um valor de 1,85 MPa, enquanto ao utilizar um penetrômetro hidráulico-eletrônico, o valor foi de 1,14 MPa.

Pelo exposto, este trabalho teve como objetivos a elaboração do projeto e a construção de um penetrômetro eletrônico manual capaz de avaliar a resistência do solo à penetração até a profundidade de 0,6 m e, coletar os dados no campo e armazená-los em um arquivo eletrônico com capacidade de transferir esse arquivo para um microcomputador, proporcionando maior rapidez e confiabilidade no processamento dos dados.

Material e métodos

O penetrômetro foi desenvolvido no Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Unioeste, campus Cascavel, Estado do Paraná. Utilizaram-se os seguintes materiais para o desenvolvimento do penetrômetro: barras circulares de aço inox para confecção da haste e do cone, sistema de aquisição de dados, célula de carga, sensor a laser, microcomputador e programas computacionais.

A Figura 1 ilustra as vistas do projeto do penetrômetro.

Nota-se que, nas três vistas, a luva (1) é visualizada em seu sentido longitudinal, isso se deve ao fato de que a luva possui um sistema giratório. O suporte para o sensor laser é indicado pelo número

(2), o sensor laser pelo número (3) e a célula de carga pelo número (4). O cone é indicado pelo número (5), a haste pelo número (6), o número (7) indica o regulador da profundidade em que se deseja avaliar a resistência do solo à penetração e o número (8) o suporte para encaixe da haste na célula de carga.

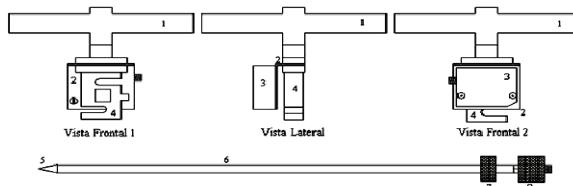


Figura 1. Vistas do penetrômetro.

O projeto e a construção da haste e do cone têm por base a norma S313.2 ASAE (1998) para solos argilosos, tendo a haste 0,0095 m de diâmetro e o cone de 30° com 0,01283 m de diâmetro na base. O sistema de aquisição de dados foi um DataLogger, modelo CR510 da marca Campbell Scientific. A medida da força exercida no solo foi obtida por uma célula de carga da marca Transtec, modelo NA330. Para medir a profundidade de penetração da haste no solo, utilizou-se um sensor a laser da marca Leuze Electronics, modelo ODS96M/V – 5070 – 421. Para processamento e análise dos dados gerados pelos sensores utilizou-se o Microsoft Excel. O programa computacional PC208W 3.2 fornecido pelo fabricante do DataLogger, foi utilizado para realizar a comunicação entre o microcomputador e o DataLogger, para criar o programa que foi inserido no DataLogger e monitorar em tempo real os dados que estão sendo quantificados, além de gerenciar os dados armazenados no DataLogger.

A alimentação do DataLogger e dos sensores é realizada por duas baterias seladas de 12 V cada, as quais fornecem corrente contínua para o sistema. O circuito foi montado como ilustra a Figura 2.

O DataLogger é alimentado pela bateria (2), que fornece tensão para a célula de carga. A célula de carga emite tensões para o DataLogger em função da carga que lhe é aplicada. O sensor a laser recebe alimentação das baterias um e dois, o mesmo trabalha com uma tensão de 24,0 V, visto que é necessária uma tensão de trabalho de no mínimo 18,0 V e no máximo 30,0 V. Os canais de entrada analógica do DataLogger, que recebem os sinais dos sensores, podem receber no máximo 2,5 V. Desta forma, foi necessário colocar um divisor de tensão entre a saída do laser e a entrada do canal que recebe os sinais emitidos pelo laser, fazendo com que os

sinais de entrada variem de 0 a 2,5 V. Como a tensão máxima permitida na entrada do DataLogger é de 2,5 V e a tensão máxima de saída do sensor laser é de 10,0 V, foi necessário reduzir a tensão em 1:4, assim, a tensão máxima de entrada no DataLogger passou a ser de 2,5 V.

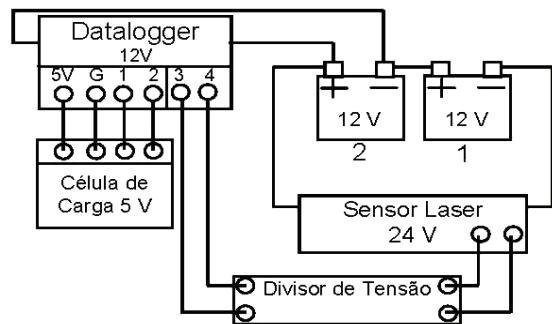


Figura 2. Esquema de funcionamento do instrumento.

A primeira etapa para dar início à programação do programa computacional utilizado no DataLogger foi especificar quais os sensores a serem utilizados no ensaio. Posteriormente, definiu-se a frequência em que os dados seriam coletados e armazenados. O programa foi transferido do microcomputador para o DataLogger por meio de um cabo serial, em que se utilizou a interface RS232 para comunicação. Neste programa, foram definidos o local e a forma de gravação dos dados. Se no momento da coleta dos dados, o DataLogger estiver conectado a um microcomputador ou a um "palm top", será possível a observação dos dados simultaneamente com a coleta, ou seja, em tempo real.

Os dados coletados podem ser gravados na sua forma original, ou seja, em níveis de tensão, ou em unidade de engenharia. Para o DataLogger gravar os dados em unidade de engenharia, é necessário inserir no programa um fator de conversão denominado "multiplier" e se necessário for, inserir outro fator denominado "offset", que significa calibrar os sensores.

O "multiplier" é um fator que multiplica o sinal recebido, caso assuma-se o valor (1), para o "multiplier" o sinal recebido permanece o mesmo. O "offset" é um valor adicionado ou subtraído ao sinal recebido. Caso assuma-se o valor zero para o "offset", o sinal recebido permanece o mesmo.

A frequência de aquisição de 4,0 Hz foi determinada a partir da velocidade de penetração que é de aproximadamente $0,03 \text{ m s}^{-1}$, uma vez que o objetivo foi obter pelo menos uma leitura de

resistência à penetração para cada centímetro de solo, ou seja, o instrumento deve coletar no mínimo três leituras por segundo. Então, optou-se por quatro leituras por segundo como fator de segurança.

Assim sendo, para uma profundidade de no máximo 0,6 m (supondo que a coleta será realizada até a profundidade máxima), o tempo de coleta de amostra é de aproximadamente 20 segundos. Desta forma, serão registrados aproximadamente 80 pares de dados para cada local amostrado. Com esta prática, obteve-se um número suficiente de dados por local amostrado sem sobrecarregar a memória do DataLogger.

Na definição do fator “multiplier” da célula de carga (mcg) em kgf mV⁻¹ da célula de carga, utilizou-se a seguinte equação:

$$mcg = \frac{cmcg}{tacg \times scg} \quad (1)$$

em que:

(cmcg) – é a Capacidade máxima da célula de carga em kgf;

(tacg) – é a Tensão de alimentação da célula de carga em V; e

(scg) – a Sensibilidade da célula de carga em mV V⁻¹.

Para definir “offset” da célula de carga, foram realizados os seguintes procedimentos: conectou-se a célula de carga ao DataLogger, inseriu-se o programa para a célula de carga com seu respectivo “multiplier”, colocou-se a célula de carga em repouso, observou-se o valor que estava sendo exibido e substituiu-se o valor de zero do “offset”, pelo valor negativo do encontrado, dessa forma a massa da célula já estava sendo desconsiderada.

No cálculo do valor de “multiplier” do sensor a laser, realizou-se uma relação entre o valor medido pelo sensor e pela tensão de entrada no DataLogger. Foram levantados dados medidos pelo DataLogger e valores medidos com uma fita métrica. Com os dados obtidos, foram feitas regressões lineares para comprovar a linearidade do sistema e encontrar a equação que representava o conjunto de dados.

Com o intuito de evitar o armazenamento de dados não-desejados, inseriu-se no programa, uma condição em que os dados somente são coletados a partir do momento em que a célula de carga indique uma força igual ou superior a 2 kgf. Foi definido o valor de 2 kgf pela massa total do aparelho ser de aproximadamente 2 kg. Caso não fosse inserida esta condição, a própria massa do aparelho iniciaria o

armazenamento de dados. Esse valor poderia ser alterado ao longo da programação de acordo com a necessidade.

Os dados armazenados no DataLogger podem ser transferidos por um cabo serial ao computador. Os dados são recebidos e organizados de tal forma a gerarem um arquivo texto. Este arquivo contém todos os pares de dados coletados pelo penetrômetro, escritos em valores decimais organizados em linhas e em colunas, em que as colunas estão separadas por vírgula e os valores decimais por pontos. Os dados da primeira coluna referem-se a um número de controle do DataLogger, a segunda refere-se à força aplicada ao solo em quilograma força, a terceira, à distância do sensor a laser do solo em milímetros e a quarta e última coluna, ao número do ponto amostrado. A Figura 3 apresenta um arquivo com pares de dados reduzidos para exemplificar.

ENSAIONE - Bloco de notas	
Arquivo	Editar
10,10.32,680.8,1	
10,12.37,676.8,1	
10,14.55,673.1,1	
10,16,668.4,1	
10,17.24,664.1,1	
10,18.32,661.5,1	
10,12.52,672.3,2	
10,13.48,669.2,2	

Figura 3. Arquivo.

Os dados do arquivo texto gerado podem ser processados em planilhas de programas computacionais comerciais. A utilização final desses dados dependerá do interesse do usuário, o qual deverá desenvolver rotinas específicas, necessárias para o processamento dos dados a fim de atingir seus objetivos.

Para avaliar o instrumento desenvolvido, realizou-se um teste com o objetivo de averiguar se os dados estavam sendo armazenados de maneira correta no DataLogger, bem como detectar as dificuldades na operação e falhas no equipamento. O ensaio foi realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel, em um solo classificado conforme Embrapa (1999), como Latossolo Vermelho distroférlico, com relevo plano e textura argilosa. Para efeito de caracterização da área determinaram-se a densidade e o teor de água do solo, conforme Kiehl (1979), nas camadas de 0 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,30 m, com três repetições

para cada camada. Em uma área pré-definida de aproximadamente 4,0 m², coletaram-se amostras de resistência do solo à penetração em pontos aleatórios com o penetrômetro.

Com a finalidade de verificar a influência do efeito da velocidade de penetração na aquisição de dados, simularam-se três condições em um delineamento fatorial, sendo o fator A (velocidades) com três níveis, sendo as mesmas velocidade baixa (VB), velocidade ideal (VI), velocidade alta (VA) e o fator B (camadas de solo) com seis níveis (camada de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m; 0,10 a 0,15 m; 0,15 a 0,20 m; 0,20 a 0,25 m e de 0,25 a 0,30 m), com dez repetições para cada tratamento.

Também foi realizado um teste demonstrativo com outro penetrômetro, utilizando-se o penetrômetro CP-20 da marca Soil Measurement System, o qual possuía as mesmas dimensões de haste e cone do penetrômetro desenvolvido. O recurso diferencial do CP-20 para o penetrômetro desenvolvido, é que o mesmo possui um controle de velocidade de penetração, tornando possível no momento de amostragem, abortar o registro dos dados caso seja necessário. Maiores detalhes do CP-20 podem ser encontrados no endereço eletrônico www.soilmeasurement.com. Para verificar se os penetrômetros apresentaram leituras semelhantes, realizou-se um delineamento fatorial sendo o fator A (instrumento) com dois níveis (CP-20 e SLS-04) e o fator B (camadas de solo) com seis níveis (camada de 0 a 0,05 m; 0,05 a 0,10 m; 0,10 a 0,15 m; 0,15 a 0,20 m; 0,20 a 0,25 m e de 0,25 a 0,30 m), com dez repetições para cada tratamento. A velocidade de penetração dos ensaios foi de 0,031 m s⁻¹.

A análise estatística dos resultados consistiu da análise da variância e teste de Tukey a 5% de significância.

Resultados e discussão

A Figura 4 apresenta o equipamento denominado de SLS-04, após a montagem do penetrômetro e a ligação dos terminais de encaixe do DataLogger.

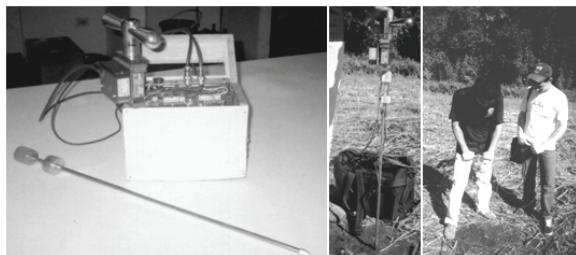


Figura 4. Penetrômetro apesar da montagem e utilização no campo.

Após as análises relativas à densidade e ao teor de água, foram obtidos os seguintes resultados, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Camadas do solo com seus respectivos teores de água e densidades.

Camada (m)	Teor de água (%)	Densidade (kg m ⁻³)
0,00 – 0,10	34,2 a	1.060 a
0,10 – 0,20	44,7 b	1.040 a
0,20 – 0,30	44,2 b	1.010 a
CV%	11,95	5,13

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Analizando a Tabela 1, percebe-se que o teor de água das camadas amostradas variou de 34,2 a 44,7%, e os maiores teores de água estavam nas camadas mais profundas e o menor teor de água na camada mais superficial, exatamente como o esperado, pois a camada superficial perde água mais facilmente pela sua interação com o ambiente quando comparada às camadas inferiores. Analisando estatisticamente os dados, conclui-se que o teor de água do solo na camada de 0,10 a 0,30 m é homogêneo.

Ainda, observando a Tabela 1, nota-se que as maiores densidades ocorrem nas camadas mais superficiais, porém estatisticamente, as densidades em suas respectivas camadas são homogêneas.

Após o processamento dos dados, optou-se por demonstrar três situações encontradas no ensaio do aparelho SLS-04: a velocidade ideal de penetração (VI); a velocidade baixa de penetração (VB) e a velocidade alta de penetração (VA), como ilustra a Figura 5.

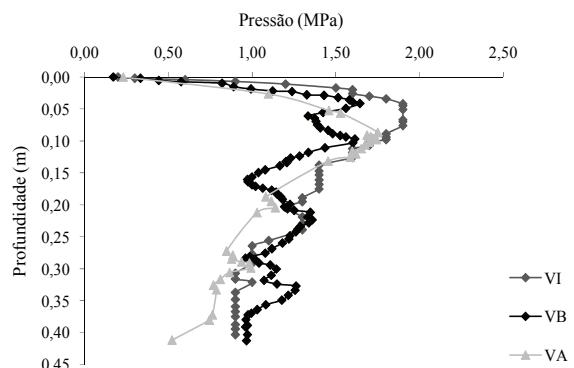


Figura 5. Gráfico de resistência do solo à penetração para três velocidades de penetração no solo.

A maior dificuldade na operação do aparelho foi manter a regularidade da velocidade de penetração da haste no solo. Sabendo-se que a velocidade recomendada é de aproximadamente 0,03 m s⁻¹, percebe-se a não-regularidade de número de pontos nas curvas VB e VA.

Como a frequência de aquisição de dados foi de 4 Hz e a profundidade máxima de coleta de 30 cm,

para VI, VB e VA, foram coletados 39, 64 e 25 pares de dados, também foram calculadas as velocidades de 0,031, 0,019 e 0,049 m s⁻¹, respectivamente. A Tabela 2 mostra a comparação de médias do número de pontos coletados em relação à velocidade de penetração.

Tabela 2. Número de pontos em função da velocidade de penetração.

Velocidade (m s ⁻¹)	Número de pontos coletados
0,019	64 a
0,031	39 b
0,049	25 c
CV%	2,78

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Desta forma, é possível concluir que o número de pontos coletados, como apresenta a Tabela 2, é influenciado estatisticamente de forma significativa para as velocidades trabalhadas, sabendo que a velocidade influiu no número de pontos coletados, realizou-se uma comparação dos valores de resistência do solo à penetração para cada velocidade testada, como ilustra a Tabela 3.

Tabela 3. Valores de resistência do solo à penetração em função da velocidade (MPa).

Profundidade (m)	Velocidades (m s ⁻¹)		
	0,019 (VB)	0,031 (VI)	0,049 (VA)
0,00 – 0,05	1,05 bB	1,26 cB	0,66 aA
0,05 – 0,10	1,45 aD	1,86 cE	1,65 bF
0,10 – 0,15	1,24 aC	1,54 bD	1,60 cE
0,15 – 0,20	1,08 aB	1,37 cC	1,12 bD
0,20 – 0,25	1,26 bC	1,28 bB	1,06 aC
0,25 – 0,30	1,01 bA	1,00 bA	0,91 aB
Média	1,18 a	1,38 b	1,17 c
CV%	2,31		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observando a Tabela 3, nota-se que até a camada de 0,20 m a velocidade de penetração influenciou em todos os valores de resistência do solo à penetração, esses valores encontrados apresentaram diferença estatística significativa. Nas camadas mais profundas, o resultado de resistência do solo à penetração não apresentou diferença estatística entre as velocidades VB e VI, porém apresentou diferença na comparação VB com VA e VI com VA. Pode-se observar que os valores de resistência do solo à penetração para a condição de VI com exceção da camada 0,25 - 0,30 m, apresentaram-se superiores quando comparados aos resultados obtidos na VB. O mesmo evento ocorre quando se comparam os valores de resistência do solo à penetração da condição VI com VA, contudo a exceção ocorre na camada 0,10 - 0,15 m.

Para o caso estudado e de acordo com as situações diagnosticadas na Tabela 3, quando se

trabalha tanto com uma velocidade inferior ou superior da recomendada, há a tendência da minimização dos valores de resistência do solo à penetração. Para as camadas mais profundas (0,20 - 0,25 m; 0,25 - 0,30 m) nos casos VB e VI, a velocidade de penetração da haste do equipamento não promoveu influência nas leituras de resistência do solo à penetração, pois a leitura das mesmas não apresentaram diferença estatística significativa. Porém, não se pode concluir que para profundidades maiores que 0,20 m, velocidades inferiores a VI não promovem influência nos resultados obtidos.

Nota-se, na Tabela 3, que os valores de resistência do solo à penetração apresentaram comportamento similar de variação entre camadas para as velocidades testadas, exceto na transição da camada 0,15 - 0,20 para 0,20 - 0,25 m na VB, tal fato pode ser justificado pelo fato de que a VB não influenciou na leitura de resistência do solo à penetração nas camadas abaixo de 0,20 m.

Por conseguinte, é necessário que o operador do instrumento mantenha a velocidade ideal de coleta de dados, caso contrário pode ocorrer um comprometimento dos valores coletados.

Ainda, na Tabela 3, percebe-se baixo coeficiente de variação, contudo para cada velocidade testada, o penetrômetro desenvolvido demonstrou sensibilidade suficiente para distinguir os valores de resistência do solo à penetração de cada camada. Assim sendo, é extremamente necessário que o operador seja treinado para utilização correta do instrumento, evitando a coleta de dados que não satisfazem às normas de ensaio de resistência do solo à penetração.

O problema da velocidade de penetração poder ser resolvido com o desenvolvimento de um sistema hidráulico que controlaria a velocidade da haste, assim como foi desenvolvido por Santos e Lanças (2001).

Comparando os valores coletados de resistência do solo à penetração, com os encontrados por Santos e Lanças (2001), mesmo sendo em solos diferentes, pode-se dizer que o penetrômetro desenvolvido indica valores que não fogem da realidade, ou seja, não indica valores incoerentes, desde que operado da maneira correta.

Por não haver equipamentos necessários para realizar uma comparação científica de dois penetrômetros, optou-se apenas, para fins demonstrativos, comparar leituras de resistência do solo à penetração do aparelho desenvolvido e a leitura de um penetrômetro adquirido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de Solos, que nos foi emprestado. A Tabela 4 demonstra a comparação de médias das leituras de ambos os penetrômetros.

Tabela 4. Resistência do solo à penetração dos penetrômetros comparados (MPa).

Camada (m)	Penetrômetro SLS-04	CP-20
0,00 – 0,05	1,26 aB	1,25 aB
0,05 – 0,10	1,85 a E	1,83 aF
0,10 – 0,15	1,55 aD	1,57 aE
0,15 – 0,20	1,36 aC	1,37 aD
0,20 – 0,25	1,27 aB	1,28 aC
0,25 – 0,30	1,01 aA	1,02 aA
CV%	1,43	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 4 observa-se que, os valores de resistência do solo à penetração do instrumento SLS-04 não apresentaram diferença estatística significativa em nenhuma das camadas analisadas quando comparadas com as leituras de resistência do solo à penetração do CP-20. Ainda, percebe-se que as leituras referentes a cada aparelho, nas camadas analisadas, apresentaram diferenças significativas de resistência do solo à penetração, mesmo ocorrendo homogeneidade da densidade e do teor de água do local amostrados. Isto demonstra a sensibilidade de ambos os aparelhos.

Dessa forma, é possível afirmar que os aparelhos geram leituras semelhantes, consequentemente proporcionam leituras coerentes com a realidade, desde que utilizados de forma correta.

E ainda, mesmo que o SLS-04 não possuísse um sistema de controle de velocidade, o mesmo proporcionou leituras coerentes. Contudo, é imprescindível que o operador do instrumento faça um treinamento adequado para a coleta de dados, haja vista a sensibilidade do aparelho.

Conclusão

O penetrômetro desenvolvido apresentou confiabilidade nas leituras de resistência do solo à penetração.

Apresentou praticidade no momento da sua utilização, evitou o erro de leitura das informações pelo processo visual e proporcionou economia de tempo no processamento dos dados coletados, quando comparados aos penetrógrafos e penetrômetros convencionais.

Os dados processados podem ser reorganizados conforme a necessidade do usuário.

No solo utilizado para ensaio do penetrômetro, as velocidades testadas influenciaram nas leituras de resistência do solo à penetração, tornado-se extremamente necessário que o usuário realize um treinamento para manter a velocidade de penetração mais próxima do ideal.

Referências

- ASAE-American Society of Agricultural Engineers. **Soil cone penetrometer:** ASAE standard S313.2. St. Joseph: ASAE, 1998.
- ASAE-American Society of Agricultural Engineers. **Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer:** ASAE standard EP 542. St. Joseph: ASAE, 1999.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de latossolos. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 146-151, 2007.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999.
- KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Revista Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 959-964, 2000.
- MOLIN, J. P.; SILVA JÚNIOR, R. L. D. A. Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com textura e produtividade. **Engenharia Rural**, v. 14, n. 1, p. 49-57, 2004.
- SANTOS, C. A.; LANÇAS, K. P. Projeto de um penetrômetro hidráulico-eletrônico. **Revista Energia na Agricultura**, v. 14, n. 4, p. 55-61, 2001.

Received on December 2, 2008.

Accepted on February 23, 2010.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.