

DESENVOLVIMENTO DE PERFILÔMETRO ELETRÔNICO PARA MENSURAÇÃO DE VARIÁVEIS DE MOBILIZAÇÃO EM PREPARO DO SOLO

GABRIEL GANANCINI ZIMMERMANN¹, SAMIR PAULO JASPER², DANIEL SAVI³, RAFAEL DA SILVA FERRAZ⁴, ROGERIO ANTONIO PINTO DA SILVA FILHO⁵, FILIPE AFONSO INGLES⁶

¹ Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR, gabrielganancini@gmail.com

² Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

³ Graduando em Agronomia, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

⁴ Tecnólogo em Redes de Computadores, Depto. de Engenharia Elétrica, UFPR, Curitiba-PR

⁵ Graduando em Agronomia, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

⁶ Graduando em Agronomia, Depto. de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, Curitiba-PR

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: A qualidade da operação de preparo do solo pode ser mensurada por análises perfilométricas, as quais relatam o empolamento do solo, a área transversal mobilizada e a rugosidade superficial. Entretanto, a determinação destes parâmetros por meio de métodos tradicionais, é onerosa em mão-de-obra e tempo. O objetivo do experimento foi desenvolver um sistema de aquisição de dados automático para processos de perfilometria em comparação com o método tradicional. O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, avaliando-se dois perfilômetros (eletrônico e convencional) e cinco parâmetros de perfilometria (Rugosidade modificada, Área elevada e mobilizada, Empolamento e Espessura), com sete repetições. Os dados coletados foram submetidos a análise de variância, quando significativo, ao teste de Tukey. Através dos resultados obtidos com ambos os perfilômetros, durante os ensaios em laboratorial, constata-se a validação de fase do equipamento desenvolvido e a possibilidade da realização de leituras eletrônicas visando auxiliar a tomada de decisão de forma mais assertiva e rápida, além de minimizar as interferências do ambiente durante as avaliações.

PALAVRAS-CHAVE: rugosidade do solo, empolamento, perfilometria

DEVELOPMENT OF ELECTRONIC PROFILOMETER FOR MEASURING MOBILIZATION VARIABLES IN SOIL PREPARATION

ABSTRACT: The quality of the soil preparation operation can be measured by profilometric analyses, which report soil blistering, mobilized transversal area and surface roughness. However, the determination of these parameters through traditional methods is costly in labor and time. The aim of the experiment was to develop an automatic data acquisition system for profilometry processes compared to the traditional method. The experiment was carried out in a completely randomized design, evaluating two profilometers (electronic and conventional) and five profilometry parameters (modified roughness, raised and mobilized area, blistering and thickness), with seven replications. The collected data were submitted to analysis of variance, when significant, to the Tukey test. Through the results obtained with both profiles, during the laboratory tests, it is found the phase validation of the developed equipment and

the possibility of performing electronic readings to assist decision making more assertively and quickly and minimize the interference of the environment during evaluations.

KEYWORDS: soil roughness, blistering, profilometry

INTRODUÇÃO: Em virtude dos impedimentos físicos, químicos e/ou biológicos no solo diversos produtores têm adotado o preparo profundo do solo. Como alternativa para corrigir adversidades agrônômicas, dentre estas a compactação do solo em camadas mais profundas (FENG et al., 2020), substituindo a subsolagem e aração por gradagem pesada (KOGUT et al., 2016). O monitoramento da qualidade do preparo do solo pode ser realizado através do estudo da perfilometria, que mensura a área transversal mobilizada, empolamento, espessura média da camada, índice e modificação da rugosidade do solo (BÖGEL et al., 2016). Os dispositivos comumente utilizados para medição da seção transversal variam de equipamentos mecânicos de contato como perfilômetro de hastes tradicionais, ou de barra corrediça, e ópticos incluindo lasers e câmeras digitais, possibilitando a aquisição automatizada dos dados (GILLIOT et al., 2017). A automação amostral de processos é cada vez mais empregada na agricultura para auxiliar na tomada de decisão, minimizando a ocorrência de falhas nos processos e promovendo tomadas de decisões assertivas (TIAN et al., 2020). Esta ferramenta traz consigo inúmeros benefícios que podem ser adotados na perfilometria do solo, com destaque para execução de processos em ciclos contínuos que permitem homogeneidade no desempenho e viabilidade da operação. Atualmente, é utilizado o método tradicional na perfilometria, o qual é oneroso em mão-de-obra e tempo, além de resultar num pós-processamento de dados elevado, o que sugere a necessidade da modernização deste método, por meio da eletrônica e automação. Dentre os modelos automatizados, Polyakov e Nearing (2019) desenvolveram um perfilômetro a laser como alternativa para sistemas de maior custo e complexidade. Averiguou-se um bom desempenho sob várias condições, quando comparado ao sistema lidar (light detection and ranging), que apresentou resultados de rugosidade superestimados. Desta forma, objetivou-se desenvolver um sistema de aquisição de dados automático para processos de perfilometria em comparação com o método tradicional.

MATERIAL E MÉTODOS: O perfilômetro eletrônico desenvolvido (Figura 1) apresenta os seguintes componentes: estrutura (A), acionamento elétrico (B), sensor de leitura (C) e sistema de aquisição de dados (D).

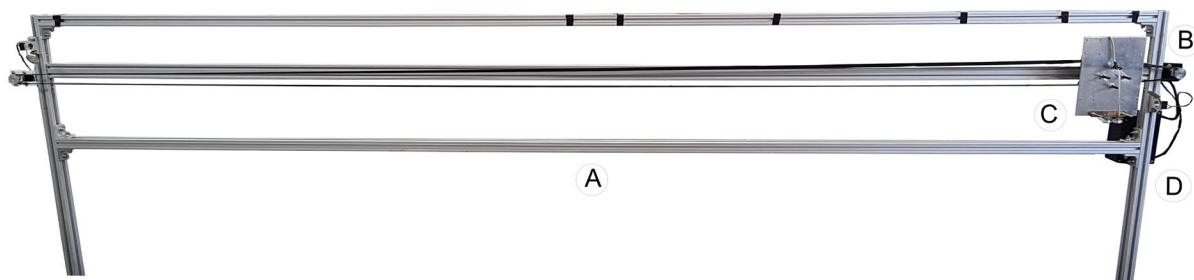


FIGURA 1. Perfilômetro eletrônico

A estrutura retangular de dimensões 3 x 1 m em perfis de alumínio anodizado, possui suporte para o sistema de deslocamento linear transversal de leitura. O controle eletrônico através de um driver modelo NEO-DM322E (Leadshine®) permitiu o ajuste preciso de corrente para o motor de passo (NEMA 17) do tipo híbrido com acurácia de 0,09° e torque de 8,0 kgf.cm, que por sua vez acionou o eixo da transmissão, proporcionando a tração constante da placa porta ferramenta, conforme a Figura 2.

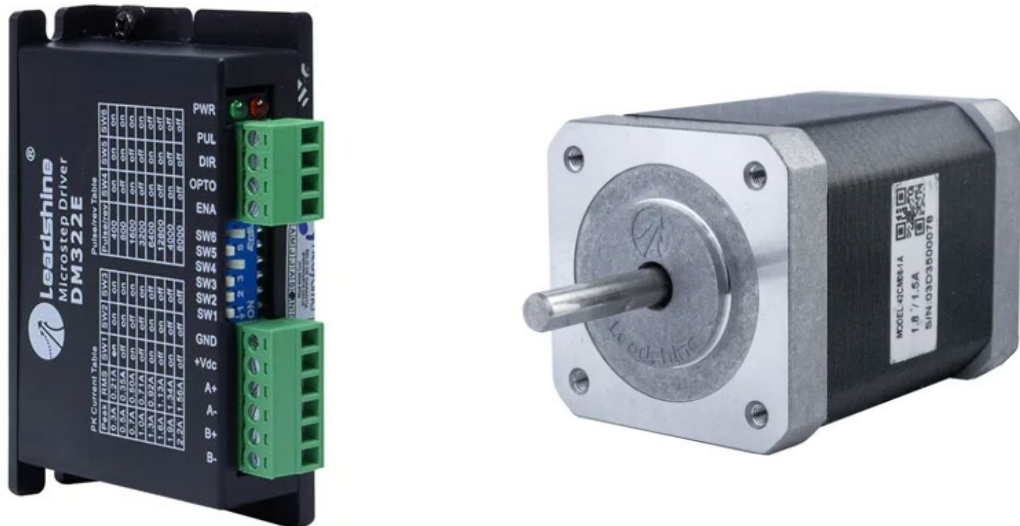


FIGURA 2. Driver eletrônico e motor de passo

As leituras foram realizadas utilizando um sensor de varredura tridimensional por triangulação a laser (Figura 3) modelo ODS 96M/V-5010-600-421 (Leuze Electronic Germany[®]) com acurácia de $\pm 2\%$ e resolução de 0,5 mm, que por meio do método de emissão de luz em uma determinada superfície, permite detectar a localização do feixe emitido com o auxílio de uma câmera interna.



FIGURA 3. Sensor de varredura tridimensional por triangulação a laser

O sistema de aquisição de dados (SAD) implementado em um microcomputador modelo ATmega 328 (Atmel[®]), contém oito entradas analógicas e 14 entradas/saídas digitais programadas por software, velocidade do Clock de 16 MHz e conversor analógico para digital de 10 bits. A frequência de aquisição de um hertz foi atrelada a leitura do perfil de solo, mensurada a partir do sensor laser ligado ao SAD. Os dados foram transferidos a disco rígido para posterior tabulação e análise. O perfilômetro convencional desenvolvido (Figura 4) apresenta os seguintes componentes: estrutura (A) e sistema de leitura mecânico (B). A estrutura retangular de dimensões 3 x 1,5 m foi construída em alumínio tubular, nas extremidades verticais foram posicionados trilhos condutores para o deslocamento do material de marcação, este armazenado em bobina. O mecanismo de levantamento das cotas do perfil é composto por hastes de alumínio com tampões em suas extremidades, visando minimizar o efeito indesejado do seu aprofundamento no solo, espaçadas 0,05 m e distribuídas ao longo de uma linha no suporte do perfilômetro.

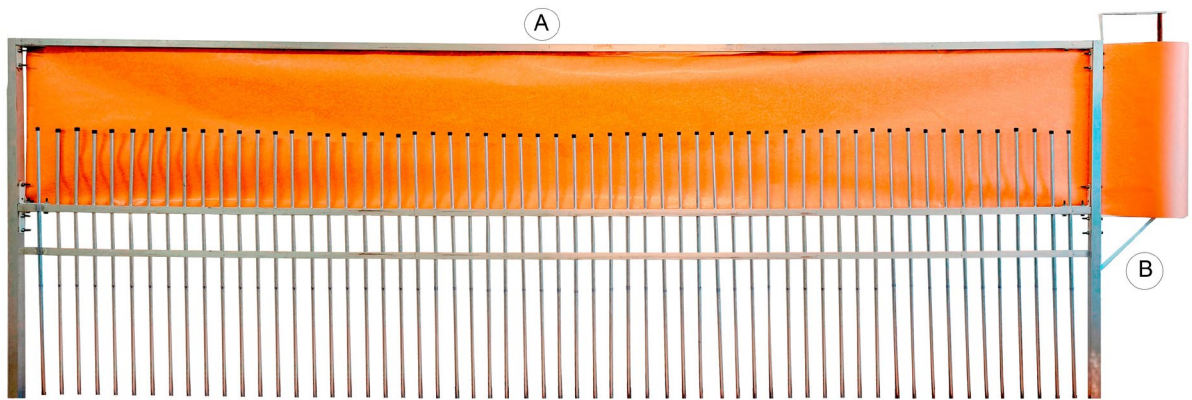


FIGURA 4. Perfilômetro convencional

As avaliações de perfilometria ocorreram em vaso pré-moldado com solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (textura muito argilosa), no qual foram estabelecidos três perfis: não mobilizado, mobilizado e de corte, conforme a Figura 5.

Perfil não mobilizado



Perfil mobilizado



Perfil de corte



FIGURA 5. Perfis de solo

A umidade gravimétrica do solo no momento do ensaio foi de $0,22 \text{ kg kg}^{-1}$. Na obtenção do índice de rugosidade e do perfil mobilizado do solo, que permite calcular a Área mobilizada, a Área de elevação e o Empolamento do solo, utilizou-se os perfilômetros eletrônico e convencional, com largura útil de 2,8 m, com pontos de leitura a cada 0,05 m. Ambos perfilômetros foram instalados em nível na direção transversal a área do perfil. Assim, foram realizadas as leituras do perfil do solo antes das modificações simuladas, obtendo-se o perfil natural (não mobilizado), e após o preparo do solo, para obtenção do perfil de elevação e perfil de corte, conforme metodologia de Carvalho Filho et al. (2007). Os cálculos da área de elevação e da área mobilizada foram obtidos por meio da Regra de Simpson (Eq. 1), conforme Uddin; Moheuddin e Kowsher, (2019).

$$\int_{X_0}^{X_n} dx = \frac{h}{3} (f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + 2f_4 + \dots + 2f_{n-2} + 4f_{n-1} + f_n) \quad (1)$$

em que,

$$h = \frac{X_n - X_0}{n}, X_n > X_0$$

em que,

- n – número de intervalos;
- f – altura das cotas, mm;
- h – distância entre cotas, cm, e
- X – número de cotas.

O índice de rugosidade superficial (Eq. 2) representada pelo desvio-padrão entre os logaritmos naturais das leituras das elevações, pela altura média das elevações.

$$\sigma_y = \sigma_x \cdot h_m \quad (2)$$

em que,

- σ_y – estimativa do índice de rugosidade representada pelo desvio-padrão entre as alturas, mm;
- σ_x – desvio-padrão entre os logaritmos naturais das alturas, e

hm – média das alturas, mm.

A área de solo mobilizada consiste na área situada entre o perfil não mobilizado e o perfil de corte, enquanto a área de elevação é situada entre o perfil não mobilizado e o perfil da superfície do solo após a mobilização.

Obtidos os dados do perfil do solo mobilizado, a espessura média foi calculada por meio da Eq. 3.

$$E_c = \frac{A_m}{C_p} \quad (3)$$

em que,

E_c – espessura média da camada mobilizada, m;

A_m – área mobilizada do solo, m^2 , e

C_p – comprimento do perfilômetro m.

O empolamento do solo (Eq. 4) foi determinado pela razão entre a área de elevação e a área mobilizada do perfil analisado.

$$E_m = \frac{A_e}{A_m} \quad (4)$$

em que,

E_m – empolamento, %;

A_e – área de elevação, m^2 , e

A_m – área mobilizada, m^2 .

A modificação da rugosidade do solo (Eq. 5) foi obtida considerando-se a diferença entre os índices de rugosidade medidos após e antes do preparo, em relação ao índice de rugosidade antes do preparo do solo, expressa em percentagem.

$$MR = \frac{IR_f - IR_i}{IR_i} \times 100 \quad (5)$$

em que,

MR – modificação da rugosidade, %;

IR_f – índice de rugosidade após o preparo do solo, e

IR_i – índice de rugosidade antes do preparo do solo.

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, em ambiente controlado, avaliando-se dois perfilômetros (eletrônico e convencional) e cinco parâmetros de perfilometria (Rugosidade modificada, Área elevada e mobilizada, Empolamento e Espessura), com sete repetições. As pressuposições de normalidade do resíduo e homogeneidade da variância foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene. Atendido essas premissas foram aplicados à análise de variância, em caso de significância as médias foram analisadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do software Sigmaplot®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1 estão apontados os resultados da síntese da análise dos dados de perfilometria do solo, não havendo necessidade de transformação das médias para todas as variáveis estudadas, denotando a normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Levene), exceto no parâmetro Rugosidade modificada, que apresentou comportamento heterogêneo. Ademais, todos os coeficientes de variação são categorizados homogêneos, conforme Vanni (1998).

TABELA 1. Síntese estatística da análise de variância e do teste de médias para os parâmetros de perfilometria do solo

Análises	Parâmetros avaliados				
	Rugosidade modificada (%)	Área elevada (cm ²)	Área mobilizada (cm ²)	Empolamento (%)	Espessura (cm)
Normalidade					
SW	0,868	0,807	0,856	0,835	0,785
Homogeneidade					
LEV	0,001	0,329	0,376	0,172	0,375
Teste F	0,269 ^{NS}	0,965 ^{NS}	0,515 ^{NS}	1,447 ^{NS}	0,123 ^{NS}
CV (%)	32,83	27,90	28,22	27,41	28,94
Teste de médias					
Convencional	488,78	1970,14	3339,01	51,62	11,92
Eletrônico	533,99	2269,40	3707,04	61,19	12,56

Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk: $SW \leq 0,05$ – Anormalidade dos dados; $SW > 0,05$ – Normalidade nos dados. Teste de Homogeneidade das variâncias de Levene: $LEV \leq 0,05$ – Variâncias Heterogêneas; $LEV > 0,05$ – Variâncias homogêneas. Teste F da análise de variância (ANOVA): NS – Não significativo; * ($p < 0,05$) e ** ($p < 0,01$). CV (%) – Coeficiente de variação. Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo “teste de Tukey” ($p < 0,05$). Fonte: O autor (2002).

Ao se observar os resultados obtidos com o uso dos perfilômetros convencional e eletrônico, verifica-se que não houve diferença sob os parâmetros Rugosidade modificada, Área elevada e mobilizada, Empolamento e Espessura. Desta forma, pode-se constatar a validação do equipamento desenvolvido nesta fase, uma vez que a leitura indireta da superfície do solo mensurada a partir do sensor laser ODS 96M/V gerou dados equivalentes ao modelo tradicional em ambos os parâmetros desejados, corroborando com Martinez-Agirre et al. (2016).

CONCLUSÕES: Através dos dados obtidos com ambos os perfilômetros, durante os ensaios em laboratorial, constata-se a validação de fase do equipamento desenvolvido e a possibilidade da realização de leituras eletrônicas visando auxiliar a tomada de decisão de forma mais assertiva e rápida, além de minimizar as interferências do ambiente durante as avaliações.

AGRADECIMENTOS: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS:

BÖGEL, T.; OSINENKO, P.; HERLITZIUS, Th. Assessment of soil roughness after tillage using spectral analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 159, p. 73-82, 2016.

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F.; SILVA, R. P. D.; FURLANI, C. E.; CARVALHO, L. C. Soil tillage methods: alterations in the roughness of the soil. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 229-237, 2007.

FENG, Q.; AN, C.; CHEN, Z.; WANG, Z. Can deep tillage enhance carbon sequestration in soils? A meta-analysis towards GHG mitigation and sustainable agricultural management. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, p. 110-293, 2020.

GILLIOT, J. M.; VAUDOUR, E.; MICHELIN, J. Soil surface roughness measurement: A new fully automatic photogrammetric approach applied to agricultural bare fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 134, p. 63-78, 2017.

KOGUT, Z.; SERGIEL, L.; ŻUREK, G. The effect of the disc setup angles and working depth on disc harrow working resistance. **Biosystems engineering**, v. 151, p. 328-337, 2016.

MARTINEZ-AGIRRE, A.; ÁLVAREZ-MOZOS, J.; GIMÉNEZ, R. Evaluation of surface roughness parameters in agricultural soils with different tillage conditions using a laser profile meter. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 19-30, 2016.

POLYAKOV, V.; NEARING, M. A simple automated laser profile meter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 83, p. 327-331, 2019.

TIAN, H.; WANG, T.; LIU, Y.; QIAO, X.; LI, Y. Computer vision technology in agricultural automation - A review. **Information Processing in Agriculture**, v. 7, p. 1-19, 2020.

UDDIN, M. J.; MOHEUDDIN, M. M.; KOWSHER, M. A New Study of Trapezoidal, Simpson's 1/3 and Simpson's 3/8 Rules of Numerical Integral Problems. **Applied Mathematics and Sciences: An International Journal (MathSJ)**, v. 6, p. 1-14, 2019.

VANNI, S. M. **Modelos de regressão: Estatística aplicada**. São Paulo: Legmar Informática, 1998. 177 p.