

EQUIPAMENTO ÓPTICO E PORTÁTIL PARA CARACTERIZAR A RUGOSIDADE DO SOLO DE ÁREA DE EROÇÃO

**BIANCA, B. BARRETO¹, FERNANDO, R. PUJAICO², ELISÂNGELA RIBEIRO³,
BERNARDO M. CÂNDIDO⁴, ROBERTO A. BRAGA JR⁵**

¹ Pós-Doutoranda, Embrapa Instrumentação, babarreto89@gmail.com.

² Doutor, Universidade Federal de Lavras, fernando.pujaico.rivera@gmail.com.

³ Doutora, Universidade Federal de Lavras, elismar1952@hotmail.com.

⁴ Pós-Doutorando, Instituto Agrônomo de Campinas, bernardocandido@gmail.com.

⁵ Professor, Universidade Federal de Lavras, robbraga@gmail.com

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

RESUMO: O conhecimento da rugosidade superficial com consequente presença de crosta no solo constitui-se em importante informação para um manejo racional de recursos ambientais. A determinação das condições da rugosidade superficial do solo pode ser feita por métodos de contato e métodos sem contato. Os métodos de contato possuem valores e precisão inferiores quando comparados aos métodos sem contato. Com isso, objetivou-se neste trabalho utilizar um equipamento óptico de baixo custo, portátil e robusto para caracterizar a rugosidade e a presença de crosta no solo, por meio do sistema de iluminação com laser de linha e visão monocular. A rugosidade média foi calculada pela diferença da altura entre um ponto e seus vizinhos e a presença de crosta pelo semivariograma. Para a validação dos resultados, a rugosidade superficial das mesmas áreas analisadas pelo equipamento foi também analisada por técnicas já existentes, sendo, para área de erosão, a técnica comparada foi a técnica sem contato, Struct from Motion (SfM). Pelos resultados, verificou-se que o equipamento óptico desenvolvido para caracterizar a rugosidade superficial do solo e presença de crosta no solo mostrou-se válido e com resultados confiáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Semivariograma, Rugosidade do solo, Erosão.

OPTICAL AND PORTABLE EQUIPMENT FOR CHARACTERIZING SOIL ROUGHNESS IN EROSION AREA

ABSTRACT: Knowledge of surface roughness with the consequent presence of crust in the soil is important information for the rational management of environmental resources. Soil surface roughness can be determined by contact and noncontact methods. Contact methods have lower values and precision than noncontact methods. Therefore, the objective of this study was to develop low-cost, portable and robust optical equipment to characterize the roughness and presence of crust in the soil through an illumination system with a line laser and monocular vision. The mean roughness was calculated by the difference in height between a point and its neighbours and the presence of crust was determined by a semivariogram. For the validation of the results, the surface roughness of the same areas analysed by the equipment was also analysed by the noncontact technique, i.e., structure from motion (SfM). From the results, it was found that the optical equipment developed to characterize the soil surface roughness and the presence of crust in the soil proved to be valid and provided reliable results.

KEYWORDS: Semivariogram, Soil roughness, Erosion.

INTRODUÇÃO: Atualmente, no mundo, cerca de 30% das terras têm alto ou médio grau de degradação. Associado a essa degradação, o preparo intensivo do solo nas práticas agrícolas e o pisoteio dos animais podem prejudicar sua estrutura, porosidade e aeração e infiltração da água (KAMPHORST et al., 2000). A rugosidade superficial do solo caracteriza-se pela presença de pequenas elevações e depressões na sua superfície, influenciando diretamente na maior permanência da água da chuva retida na superfície. O seu conhecimento constitui em importante informação para um manejo racional de recursos ambientais. A diminuição da rugosidade do solo favorece a formação de uma crosta na superfície do solo. Esta pode ser prejudicial para o meio ambiente, pois causa alterações no solo, prejudicando sua estrutura, o que dificulta a infiltração de água, modificando sua rugosidade e porosidade, aumentando o escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão (DARBOUX et al., 2015). A caracterização da rugosidade e presença de crosta na superfície do solo pode ser feita com emprego de diversos tipos de aparelhos. Técnicas ópticas apresentam a vantagem de não ter a necessidade de contato físico com o objeto analisado, sendo assim, não destrutivas, além de permitir o uso da visão computacional como fator de análise, diminuindo, assim, a subjetividade do operador. A técnica óptica associada ao processamento digital de imagens vem sendo uma potencial ferramenta para aplicações em ciência do solo por sua grande sensibilidade e capacidade de análises em tempo real (BARRETO et al., 2022). Portanto, objetivou-se neste trabalho desenvolver um equipamento óptico de baixo custo, portátil e robusto para caracterizar a rugosidade e a presença de crosta no solo, por meio do sistema de iluminação com laser de linha e visão monocular para caracterizar uma área de erosão. Para a validação dos resultados a técnica sem contato, Struct from Motion (SfM).

MATERIAL E MÉTODOS: O equipamento óptico foi desenvolvido e calibrado, com objetos de dimensões conhecidas, em laboratório para posterior aplicação em campo. A configuração experimental foi composta por um laser de linha LASERLine modeloLGE20/532/c conectado a uma fonte de energia LASERLine A.C. de 90/240v, uma webcam Microsoft LifeCam HD conectada a um computador para armazenamento das imagens, como ilustrado pela Figura 1.

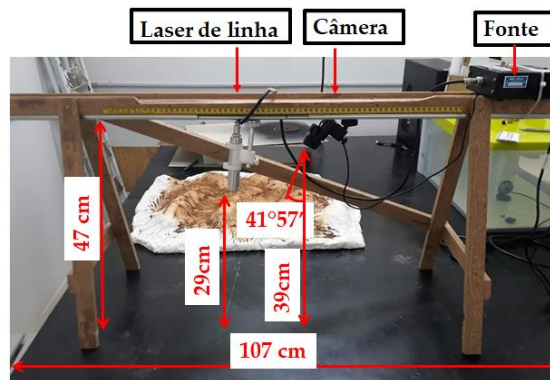


Figura 1 Configuração experimental

A calibração da técnica foi proposta seguindo o modelo McKenzie et al., (2016) que utilizaram objetos de dimensões conhecidas para verificar a potencialidade dos equipamentos utilizados para análise de superfície do solo. Assim, foram utilizados um cubo da cor preta com as dimensões 5x5x5 cm; uma xícara com a base de 5 cm de diâmetro, altura 8 cm e altura da alça de 7,5cm; uma semiesfera com 15 cm de diâmetro e 8 cm de altura; e um cone com base de 5 cm de diâmetro e altura também de 5 cm, Figura 2(a) A Figura 2 (b) mostra a identificação de cada ponto do objeto e a Figura 2 (c) a plotagem 3D dos objetos iluminados. Conhecendo todas as distâncias e ângulos entre os componentes câmera, laser e objeto, por dedução matemática, conseguiu-se encontrar os valores da altura do objeto. A partir da calibração, consegue-se aproximar as alturas desconhecidas dos objetos.

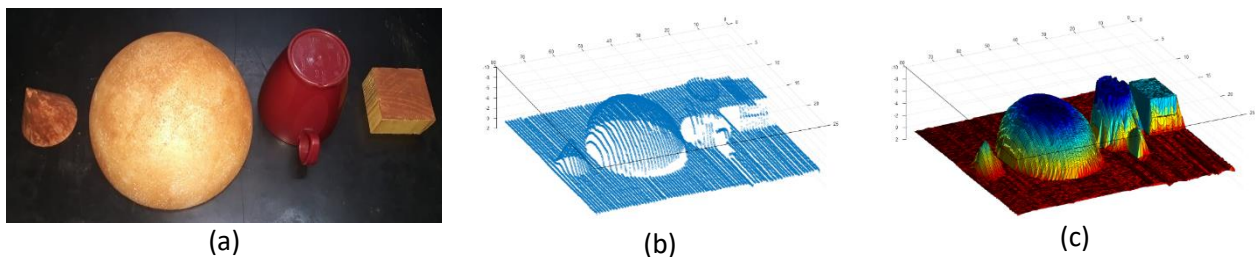


Figura 2 (a) Objetos de coordenadas conhecidas, (b) identificação dos pontos, (c) plotagem 3D da superfície.

A identificação das coordenadas x , y , z foi realizada no programa Octave, no qual são identificadas as coordenadas de cada ponto presente na linha de cada imagem. Primeiramente, o programa tem como entrada a imagem de referência e várias imagens da superfície em sequência, nas quais são aplicadas o mesmo procedimento, passando-as para tons de cinzas e, logo em seguida, tornando-as binárias, branco e preto, convertendo a imagem em uma linha e gerando uma nuvem de pontos para caracterizá-la. Para essa nuvem de pontos, é realizado um FITTING e SMOOTHING, que são ferramentas para suavizar os pontos, que eliminam os pontos considerados outliers, que são os dados isolados que atrapalham a identificação da curva. Ao final, tem-se a curva de referência, Figura 3 (a), e as curvas da superfície, Figura 3 (b), que são realizada a diferença entre cada uma das curvas da superfície e a referência para a criação de um conjunto de dados que representa a superfície em análise, em texto (.dat) em x , y , z . X representa a posição no eixo x (adimensional, para posterior calibração de acordo com o arranjo experimental), Y representa o número da linha que está sem análise e Z representa a altura do ponto (também adimensional para posterior calibração). Posteriormente, com os objetos de coordenadas conhecidas, fizeram-se as calibrações dos eixos com medidas adimensionais. O programa retorna dois tipos de dados, um arquivo completo com todas as informações, vários arquivos com as informações para cada linha da superfície em análise e a plotagem da identificação dos pontos e da superfície gerada.

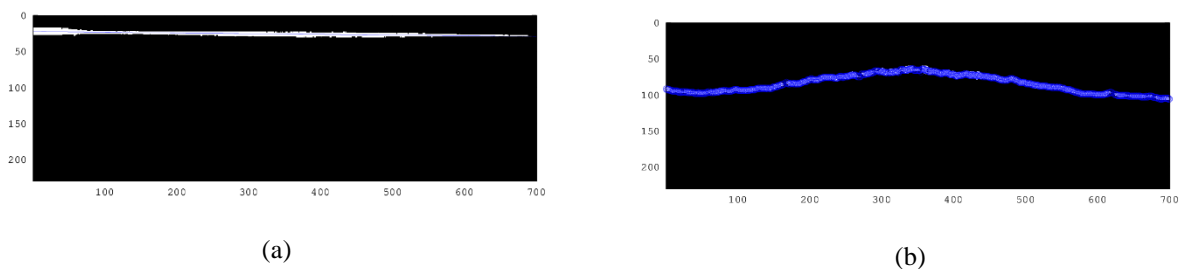


Figura 3 (a) Imagem de referência e (b) identificação de cada ponto na curva

Para a aplicação em campo foram analisadas 18 regiões diferentes dentro da área de erosão, especificamente demarcadas, como mostra a Figura 4 (a). Foram adquiridas 40 imagens por cada área, espaçadas de 1 cm cada. As imagens foram pré-processadas no programa ImageJ passando pelo processo de corte, decomposição em RGB e binarização. Posteriormente foi identificado as coordenadas x , y e z de cada ponto da linha que representava a superfície analisada. A caracterização da rugosidade calcula a distância entre um determinado ponto e o plano de melhor ajuste computado e seus vizinhos mais próximos dentro de um cilindro de raio r a ser determinado (GIARDEU, 2019). A caracterização da crosta foi realizada pela ferramenta semivariograma, como demonstra a Equação 1:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \frac{1}{N(h)} \sum_{N(h)} [z(x+h) - z(x)]^2 \quad (1)$$

Em que,

N (h): número total de pares de amostras a uma distância (h)

Z (x): valor vertical na posição horizontal (x)

Z (z + h): valor vertical na posição horizontal (x + h)

Para comparação dos resultados, a técnica utilizada foi comparada com a técnica Structure from Motion (SfM) a partir da geração de nuvens de pontos. Para a realização dessa validação e aquisição das imagens, foi utilizado um veículo aéreo não tripulado VANT, DJI Phantom Profissional com uma câmera FC300X com 12 megapixels (4000 x 3000) Sony EXMOR 1/2.3. O voo foi realizado manualmente usando combinação de fotos ortogonais e oblíquas para fornecer geometrias de imagem convergente entre linhas (James et al., 2014), no mesmo dia da aquisição da técnica desenvolvida. A altura média de voo foi de 4 metros. Foram instalados 12 pontos de controle ao redor das parcelas, Figura 4 (b), e as coordenadas desses pontos foram estabelecidas pela estação total Geotetic GD2i e um mini-prisma, dentro de um Sistema de coordenadas local arbitrário. As imagens foram processadas pelo software SfM comercialmente disponível Agisoft Metashape Professional® v1.5. Para o cálculo do índice de rugosidade, foi utilizada a ferramenta rugosidade do programa CloudCompare, escolhendo-se o mesmo raio de análise que o da técnica desenvolvida nesse trabalho.



(a)



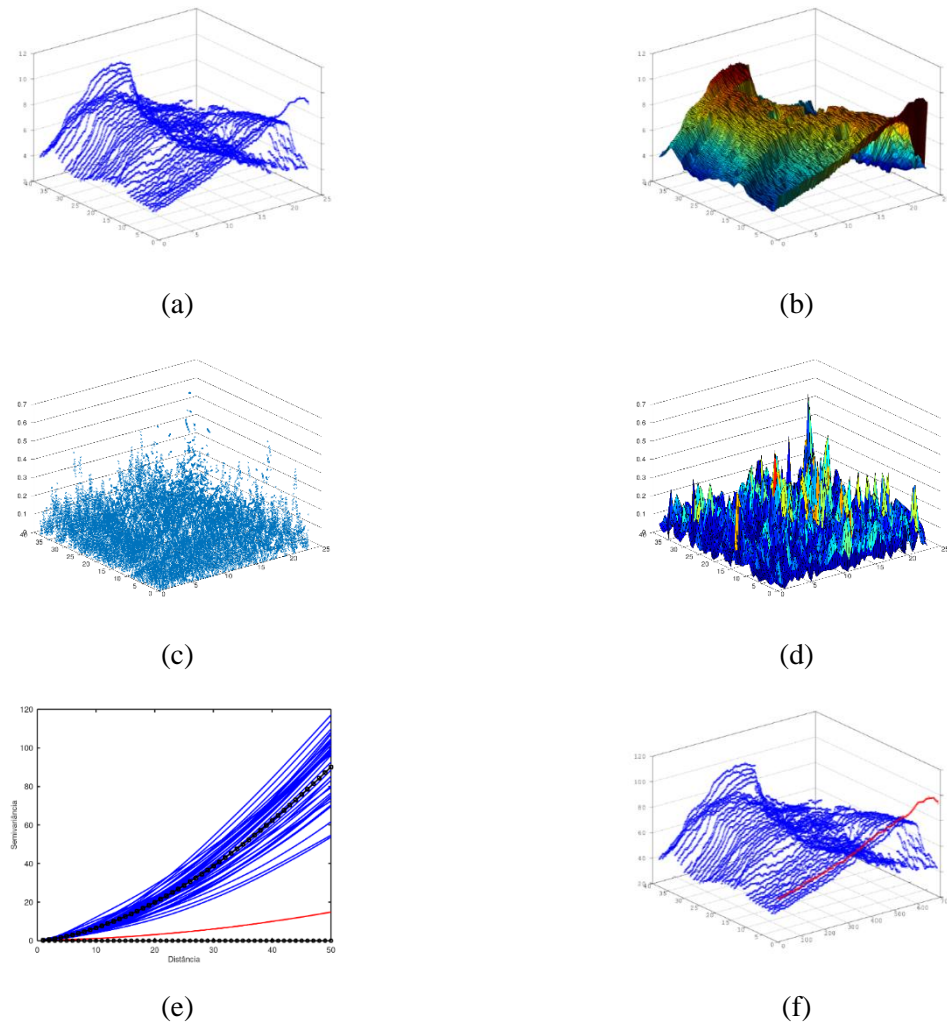
(b)

Figura 4 Aplicação para área de erosão (a) áreas demarcadas e (b) pontos de controle para SfM

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Como resposta da caracterização da rugosidade o algoritmo usado para identificação dos eixos, obtiveram-se arquivos de textos contendo os valores das coordenadas de cada ponto, sendo a coordenada “x” a posição no eixo X, a coordenada “y” a posição de cada imagem processada e a coordenada “z” a altura do ponto, uma figura ilustrando a identificação das coordenadas e plotagem 3D da superfície. A Figura 5 ilustra toda a resposta do processamento para uma determinada área da erosão, sendo em (a) A identificação das coordenadas de cada ponto analisado e em (b) a plotagem 3D da superfície. Para o cálculo da rugosidade da área de erosão, o raio utilizado foi de 1,5 cm. Como resposta, obteve-se essa diferença de altura entre os pontos, caracterizando a rugosidade. A Figura 5 (c) identifica a variação de rugosidade em cada ponto da área amostrada e (d) o gráfico 3D dessa variação da superfície. A Figura 5 (e) mostra o gráfico para o cálculo do semivariograma para a área analisada e os dados separados pela ferramenta K-means. As curvas em vermelho são as que possuem pouca variação de rugosidade, indicando uma possível presença de crosta, e as curvas em azul apresentam muita variação da rugosidade. A Figura 5 (f) apresenta em vermelho as curvas que apresentam pouca variação

de rugosidade e, em azul, as curvas com muita variação. Nesse trabalho o semivariograma funcionou como um indicativo de presença de crosta.

Figura 5 Variação da rugosidade para amostra de erosão (a) identificação das coordenadas x, y, z de cada ponto, (b) plotagem 3D da superfície, (c) identificação dos pontos da variação da rugosidade, (d) gráfico 3D da variação da rugosidade, (e) semivariograma



A Figura 6 (a) compara os resultados da semivariância espacial com a rugosidade média e (b) o cálculo da rugosidade média pela técnica desenvolvida e de SfM. Em Figura 6 (a), a técnica desenvolvida apresentou duas amostras com comportamento inesperado, apresentando um alto valor do semivariograma as quais indicam uma alta variação. Estas apresentaram falhas na identificação das amostras, indicando que elas provêm de longas discontinuidades dos pontos. Essas discontinuidades foram identificadas em falha do setup, pois para as irregularidades dessas amostras, o setup não foi satisfatório, pois a câmera não conseguiu uma melhor identificação da linha do laser. Para a comparação dos resultados da técnica desenvolvida foi utilizado também um raio de 1,5 cm para o cálculo do SfM. No gráfico apresentado pela Figura 6 (b), consegue-se observar que a técnica SfM, que é representada pelo eixo x, foi sensível para separar os resultados em quatro centros de massa diferentes; o primeiro com variação de rugosidade média, aproximadamente 0,03 e 0,04, o segundo

próximo a 0,06, o terceiro próximo a 0,08 e o quarto, com apenas um ponto, próximo a 0,11. Ao verificar a superfície real das áreas amostradas, verificou-se que as amostras do primeiro centro de massa possuem pouca variação da superfície, enquanto as demais possuem uma variação maior, sendo essas representadas por um caminho de caminhos d'água na superfície, o que tornou essa separação verdadeira. Então, para essas amostras, a técnica SfM se mostrou mais sensível na classificação quanto à rugosidade do que a técnica desenvolvida. Porém, as amostras de variação de rugosidade próximo a 0,06 e 0,08 possuem características similares, sendo essa separação não válida. Para o ponto isolado, com variação de rugosidade próximo a 0,11, as duas técnicas falharam na caracterização. Esse ponto possui um formato diferenciado na superfície devido ao caminho d'água que o compõe, no qual nenhuma das duas técnicas conseguiram acessar totalmente sua superfície para caracterizá-lo verdadeiramente; com isso, as duas técnicas utilizadas falharam para essa amostra.

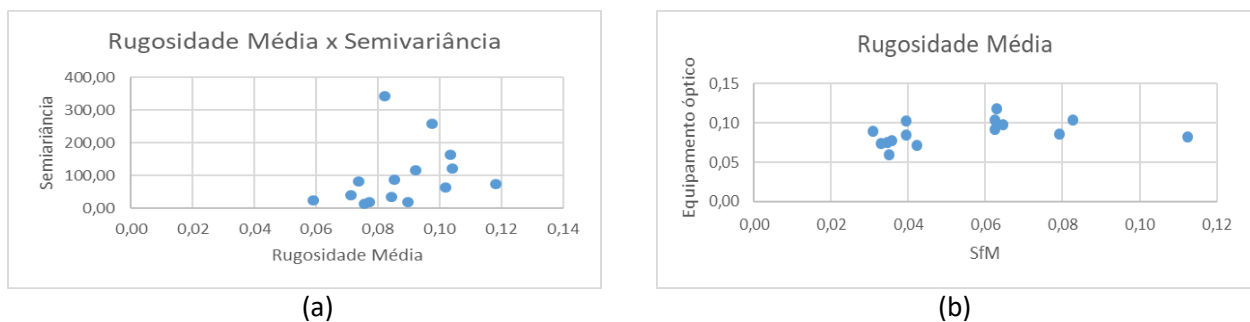


Figura 6 (a) Rugosidade média “x” versus semivariograma “y” pelo equipamento desenvolvido (b) comparativo entre as técnicas em análise, eixo “x” a técnica desenvolvida e eixo “y” SfM

Outra observação possível para a comparação dessas duas técnicas em análise foi a verificação dos pontos de mínimo e máximo valor da variação da rugosidade apresentado por cada uma e verificada com a superfície real. Considerando que as duas técnicas falharam na Amostra 6 e descartando esses dados, a técnica proposta pelo equipamento desenvolvido encontrou o menor valor de variação rugosidade da superfície para a área da Amostra 16 (FIGURA 8 a), e o maior valor para a Amostra 8 (FIGURA 8 b), enquanto a técnica SfM classifica como a área de menor variação a Amostra 21 (FIGURA 8 c) e de maior variação a Amostra 17 (FIGURA 8 d). Contudo, com a validação visual, pode-se observar que o equipamento desenvolvido caracterizou melhor a área de menor variação da rugosidade superficial, enquanto SfM caracterizou melhor a amostra de maior variação na superfície. Com isso, pode-se afirmar que as duas técnicas apresentam falhas.

Figura 8 Imagens superficiais das áreas amostradas em (a) Amostra 16, (b) Amostra 8, (c) Amostra 21 e (d) Amostra 17



(a)



(b)



(c)



(d)

CONCLUSÕES:

O equipamento óptico robusto e de baixo custo utilizado na aplicação de campo para caracterizar a rugosidade superficial do solo e presença de crosta no solo mostrou-se válido e com resultados confiáveis. As duas técnicas utilizadas para a validação dos resultados apresentaram falhas para a caracterização da rugosidade superficial da área de erosão. Sendo assim, as técnicas utilizadas como referência também não foram precisas.

AGRADECIMENTOS:

UFLA, FAPEMIG, CNPQ, CAPES, EMBRAPA.

REFERÊNCIAS:

- BARRETO et al. Optical and portable equipment for characterizing soil roughness. *Smart Agricultural Technology*, 2022.
- DARBOUX, F., DAVY, P., GASCUEL-ODOUX, C., HUANG, C. Evolution of soil surface roughness and flowpath connectivity in overland flow experiments. *CATENA*. v.46, p.125–139, 2015.
- GIARDEAU, D. M.; CloudCompare: Point cloud processing workshop. Stuttgart. Germany. 2019.
- JAMES, M.R., ROBSON, S. Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. *Earth Surf. Process. Landf.* V.39, p. 1413–1420, 2014.
- KAMPHORST, E. C. et al. Predicting depressional storage from soil surface roughness. *Soil Science of America Journal*, Madison, v. 64, p. 1749-1758, 2000.
- MCKENZIE, B. M.; BRAGA, R. A, COELHO, D. E. C.; KROL, M., HORGAN, G. W. Moiré as a low-cost, robust, optical-technique to quantify soil surface condition. *Soil Tillage Research*. v.158, p. 147-155, 2016.