



## Estimativa do volume de erosões do tipo sulcos e deslocamento de massa utilizando imagens 3D, obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado<sup>(1)</sup>.

**Pedro Velloso Gomes Batista<sup>(2)</sup>; Marx Leandro Naves Silva<sup>(3)</sup>; Fabio Arnaldo Pomar Avalos<sup>(4)</sup>; Paulo Siqueira Junior<sup>(5)</sup>; Leandro Boari Naves Silva<sup>(6)</sup>; Marcelo Silva de Oliveira<sup>(7)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do CNPq, CAPES e FAPEMIG.

<sup>(2)</sup> Agrônomo, mestrando em Ciência do Solo, bolsista FAPEMIG; Departamento de Ciência do Solo (DCS); Universidade Federal de Lavras (UFLA); Lavras; Minas Gerais; pedro\_vgb@hotmail.com; <sup>(3)</sup> Professor; Departamento de Ciência do Solo; Universidade Federal de Lavras; <sup>(4)</sup> Mestrando em Ciência do Solo; bolsista CAPES; Departamento de Ciência do Solo; Universidade Federal de Lavras; <sup>(5)</sup> Engenheiro florestal; AGC Consultoria; <sup>(6)</sup> Aluno de iniciação científica júnior voluntário, ensino médio, Instituto Presbiteriano Gammon; <sup>(7)</sup> Professor, Departamento de Ciências Exatas; Universidade Federal de Lavras.

**RESUMO:** A erosão acelerada favorece a formação de sulcos e voçorocas a partir do deslocamento de grandes volumes de solo. A quantificação do volume erodido nestas situações é dificultada pelas feições complexas características do relevo submetido à intensa erosão. Imagens obtidas por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e manipuladas através de técnicas de fotogrametria podem ser utilizadas para a reconstrução de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) suficientemente refinados para captar a o relevo de erosões do tipo sulcos e deslocamento de massa. Este estudo teve como objetivo verificar a aplicabilidade do uso de imagens aéreas obtidas por VANT para cálculo do volume de solo erodido em sulco e em deslocamento de massa formados em uma área de empréstimo no município de Lavras, Minas Gerais. O processamento dos dados gerou uma nuvem com 801 pontos  $m^{-2}$ , a partir da qual foi interpolado MDE com resolução de célula de 0,003 m. O erro quadrático médio vertical do modelo, em relação a pontos de controle estabelecidos no campo, foi de 0,013 m. Os volumes do sulco e do deslocamento de massa foram 25,05  $m^3$  e 173,35  $m^3$ , respectivamente. Os métodos empregados no estudo mostraram-se promissores para o monitoramento da erosão, devido ao baixo tempo necessário para o levantamento e elevada acurácia dos modelos gerados.

**Termos de indexação:** erosão hídrica, fotogrametria, geoprocessamento.

### INTRODUÇÃO

Erosões do tipo sulcos e deslocamento de massa constituem uma significativa forma de degradação ambiental, afetando negativamente diversas funções do solo, como a produção de

alimentos, fibras e biomassa, infiltração e recarga da água (Poesen, 2011).

A intensa exploração mineraria, desmatamento e a escassez de práticas conservacionistas na agricultura da região contribuem para o agravamento da erosão hídrica, assim como a ampla ocorrência de Cambissolos com horizontes A e B pouco espessos (Gomide et al., 2011). Em situações semelhantes, sulcos e voçorocas podem ser responsáveis por até 95% da produção de sedimentos em bacias hidrográficas (Poesen, 2011), contribuindo para o assoreamento de rios e reservatórios.

O monitoramento da erosão em sulcos e deslocamento de massa são dificultados pela falta de métodos práticos e, não obstante, precisos para a medição do volume de solo erodido e de parâmetros morfológicos dos canais formados pelo processo erosivo. O desenvolvimento de técnicas adequadas para o monitoramento destas erosões é citado como um dos principais desafios em relação à pesquisa deste fenômeno (Poesen, 2011).

Levantamentos topográficos detalhados, por meio de estação total ou scanners a laser dependem tempo e elevados custos. Dessa forma, técnicas simples de aerofotogrametria utilizando VANTs podem fornecer uma opção viável e acurada para reconstruir modelos digitais de elevação (MDEs) suficientemente detalhados para o monitoramento da erosão. Tais técnicas têm sido aplicadas em diferentes áreas das geociências (James & Robson, 2012) e especificamente no estudo da erosão (Marzoff & Poesen, 2009; Castillo et al., 2012).

A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) providos de câmeras fotográficas propicia um rápido levantamento aéreo, além de possibilitar a sobreposição de imagens e programação da área e altitude do voo.

Este estudo teve como objetivo verificar a aplicabilidade do uso de imagens aéreas obtidas



por VANT para cálculo do volume de solo erodido em sulco e em deslocamento de massa formados em uma área de empréstimo no município de Lavras, MG.

## MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento foi realizado em uma área de empréstimo localizada no recinto da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG, delimitada pelas coordenadas UTM 23K 501324 e 501415 mE 7652829 e 7652739 mS (datum SIRGAS 2000). O local foi escolhido devido à intensa erosão ocorrente no material desestruturado e desprovido de cobertura vegetal depositado na área de empréstimo.

A aquisição das imagens aéreas foi feita com auxílio de um VANT modelo quadricóptero, marca DJI Phantom 2 Vision+, portador de uma câmera Phantom Vision FC200 (resolução 4384 x 2466 células, distância focal de 5 mm). Foram obtidas 232 fotos no levantamento, realizado em altitude média de 13 m, em aproximadamente 20 minutos. Nove pontos de controle, marcados por estacas e cal, foram estabelecidos no campo por meio de um GPS geodésico com precisão submétrica.

As imagens foram alinhadas e georreferenciadas no programa PhotoScan 1.1.6 (Agisoft, 2015). Seguindo-se o processamento, foi gerada uma nuvem de pontos 3D (801 pontos m<sup>-2</sup>) e uma ortofoto da área. A precisão vertical e horizontal dos modelos gerados foi calculada com base no erro quadrático médio (EQM) em relação aos pontos de controle supracitados.

A nuvem de pontos obtida foi exportada para o programa ArcGIS 10.1 (ESRI, 2011). Os valores de elevação contidos nos pontos, após análise da semivariância e ajuste do modelo teórico, foram interpolados por krigagem ordinária, formando o MDE da área. Foi adotada uma resolução de célula de 0,004 m para o MDE, calculada em função do número de pontos por unidade de área, conforme Hengl (2006).

Os perímetros das erosões em sulco e do deslocamento de massa foram delimitados visualmente com base nas feições identificáveis na ortofoto e no *raster* de declividade derivado do MDE. Pressupondo-se que o limite do sulco/deslocamento de massa é demarcado pela mudança abrupta entre as margens suavizadas externas e as encostas íngremes internas, a declividade é um fator chave na delimitação do seu perímetro (Castillo et al., 2014).

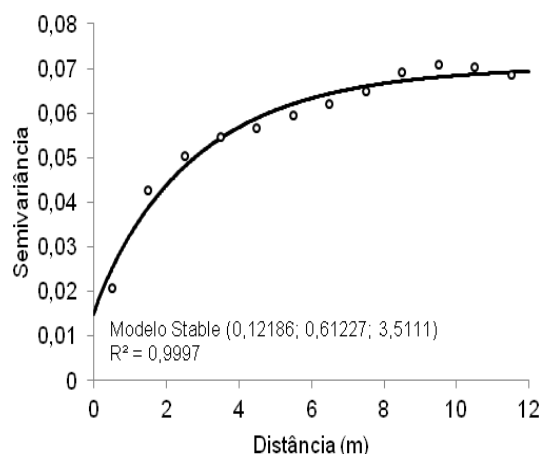
Para o cálculo do volume erodido, superfícies de

referência acima do sulco e do deslocamento de massa foram interpoladas por triangulação com base no relevo adjacente. Considerou-se que a diferença entre a superfície de referência e o MDE gerado a partir da nuvem de pontos representa o volume de solo erodido, calculado pela ferramenta *Surface Difference*, disponível no programa ArcGIS 10.1 (ESRI, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O semivariograma gerado a partir da nuvem de pontos apresentou melhor ajuste a partir de um modelo do tipo Stable (**Figura 1**), cuja validação cruzada apresentou um erro médio de 0,0000145 m e  $R^2 = 0,9997$ . Admite-se que o grande número de pontos por unidade de área obtido pela reconstrução da imagem 3D (801 pontos m<sup>-2</sup>) tenha favorecido o desempenho da interpolação.

Os EQMs vertical e horizontal do modelo em relação aos pontos de controle foram de 0,013 m e 0,001 m, respectivamente. Tais valores foram inferiores aos obtidos por Castillo et al. (2014) ao aplicarem técnicas semelhantes para reconstrução tridimensional de imagens aéreas de voçorocas e indicam uma elevada precisão do modelo.



**Figura 1** - Semivariograma da nuvem de pontos de elevação obtida pela fotogrametria das imagens aéreas.

O sulco delimitado para o estudo (**Figura 2**) apresenta comprimento de 37,84 m, largura média de 2,15 m, profundidade média de 0,32 m e área de 78,98 m<sup>2</sup>. O volume de solo erodido estimado com base na superfície de referência foi de 25,05 m<sup>3</sup>. Ressalta-se, porém, que devido à inexistência de levantamentos anteriores ao estabelecimento da erosão na área seria impossível conhecer a exata superfície original do terreno. Um monitoramento periódico do local poderá fornecer medidas ainda



mais realistas das perdas de solo ocorrentes no sistema.

O volume calculado de solo erodido no deslocamento de massa (**Figura 3**) foi de 173,35 m<sup>3</sup>, numa área de 99,015 m<sup>2</sup>, com profundidade média de 1,75 m e largura média de 4,99 m. Neste caso, há um grande depósito de materiais erodidos das bordas no interior da erosão, o que pode levar a uma subestimativa, pelo método empregado, do real volume de solo erodido.

Apesar da precisão vertical e horizontal obtida pela reconstrução das imagens aéreas, o cálculo do volume erodido carece de validação, uma vez que outros métodos podem ser empregados. Além disso, de acordo com McShane et al. (2014), o uso de imagens aéreas obtidas por VANTs para o cálculo do volume de sulcos de erosão teve desempenho inferior ao de imagens terrestres. Com base em observações de campo iniciais, a qualidade dos modelos é bastante dependente da altura de voo empregada, do número de fotos e da sobreposição de imagens obtidas no levantamento.

Ainda assim, o curto período de tempo gasto durante o levantamento, aliado ao detalhamento de feições topográficas complexas obtidas no estudo, indicam o potencial dos métodos empregados. O refinamento destes métodos pode contribuir para uma melhor compreensão da fenomenologia da erosão em sulcos e deslocamento de massa, além de auxiliar na construção de práticas adequadas para o controle e prevenção destes processos.

### CONCLUSÕES

O MDE gerado a partir da reconstrução fotogramétrica apresentou EQM vertical de 0,013 m.

O sulco e o deslocamento de massa analisados tem volume de 25,05 e 173,35 m<sup>3</sup>, respectivamente.

O uso de VANTs, técnicas de fotogrametria e geoprocessamento facilitam o levantamento topográfico de áreas com relevo complexo e auxiliam no estudo da erosão em sulcos e deslocamento de massa.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (471522/2012-0; 305010/2013-1), CAPES e FAPEMIG (PPM 00422-13) pelo financiamento do projeto e concessão das bolsas.

### REFERÊNCIAS

AGISOFT LLC. PhotoScan version 1.1.6. São Petesburgo. 2015.

CASTILLO, C.; PÉREZ, R.; JAMES, M. R.; QUINTON, J. N.; TAGUAS, E. V.; GÓMEZ, J. A. Comparing the accuracy of several field methods for measuring gully erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 76:1319-1332, 2012.

CASTILLO, C.; TAGUAS, E. V.; ZARCO-TEJADA, P.; JAMES M. R.; GÓMEZ, J. A. The normalized topographic method: an automated procedure for gully mapping using GIS, *Earth Surf. Proc. Landforms*, 39: 2002-2015, 2014.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. ArcGIS Desktop, version 10.1. Redlands, 2011. CD ROM.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras-MG. *Ver. Bras. Ci. Sol.*, 35:567-577, 2011.

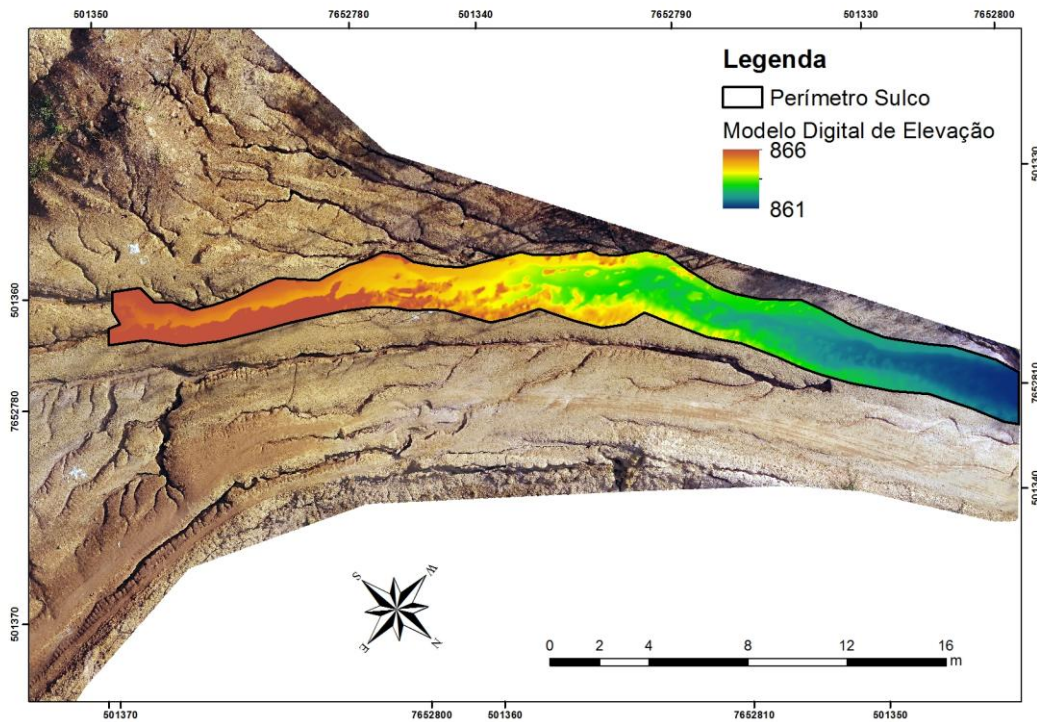
HENGL, T. Finding the right pixel size. *Comput. Geosci.*, 32: 1283-1298, 2006.

JAMES, M. R.; ROBSON, S. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *J. Geophys. Res.* 117: 1-17, 2012.

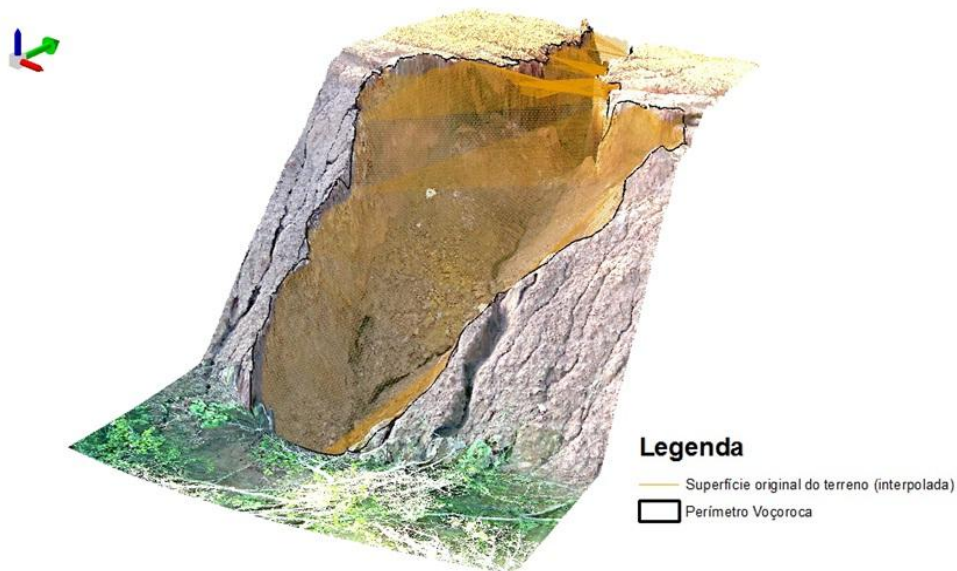
MARZOLFF, I; POESEN, J. The potential of 3D gully monitoring with GIS using high resolution photography and photogrammetry system. *Geomorphology*, 111: 48-60, 2009.

MCSHANE, G.; JAMES, M.R; QUINTON, J. ANDERSON, K.; DEBELL, L.; MARTINS, E.; FARROW, L.; GLENDELL, M.; JONES, L.; KIRKHAM, M.; LARK, M.; RAWLINS, B.; RICKSON, J.; QUINE, T.; WETHERELT, A.; BRAIZER, R. Comparing and combining terrestrial laser scanning with ground and UAV-based imaging for national-level assessment of soil erosion. In: EGU General Assembly, Austria, 2014.

POESEN, J. Challenges in gully erosion research. *Landform Analysis*, 17: 5-9, 2011.



**Figura 2** – Modelo digital de elevação, interpolado por krigagem ordinária, do sulco analisado, sobreposto à ortofoto reconstruída a partir das imagens aéreas. Projeção UTM Zona 23 K, datum SIRGAS 2000.



**Figura 3** – Modelo tridimensional da erosão do tipo deslocamento de massa, com detalhe para a superfície original do terreno estimada.