



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

USO DOS SISTEMAS DE ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE (TLS) NA GEOMORFOLOGIA

Rafaela Soares Niemann^(a), João Paulo de Carvalho Araújo^(a), Nelson Ferreira Fernandes^(a)

(a) IGEO - Departamento de Geografia - LAMPEGE - Laboratório de Monitoramento e Modelagem Pedogeomorfológica, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,

rafaelaniemann@ufrj.br, jpaulo_geo@hotmail.com, nelsonff@acd.ufrj.br

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

Resumo

A topografia e as suas métricas do terreno são importantes elementos que nos auxiliam no entendimento das mudanças das paisagens. A forma de se estudar a geomorfologia pode ser feita por inúmeras técnicas de aquisição de dados, como se utilizando de sensores remotos para o entendimento de seus processos e evolução. Os sensores a *laser* podem ser principalmente: aéreos e terrestres. Os sistemas de escaneamento a *laser* terrestres contem alta precisão e acurácia, facilitando a observação de variações geomorfológicas de escalas menores. A ideia central deste trabalho é buscar na literatura como a geomorfologia tem tratado o uso dos sistemas de escaneamento a *laser* nos estudos e aplicações geomorfológicas. Buscou-se também compreender quais são principais diferenças de se trabalhar com diferentes escalas espaciais quando vislumbrados os ensejos da geomorfologia.

Palavras chave: LIDAR, Geomorfologia, TLS

1. Introdução

A topografia é um elemento importante no entendimento das dinâmicas geomorfológicas e processos endógenos e exógenos da terra (HUGGETT; CHEESMAN, 2002). Uma forma de entender esses processos é através da descrição da topografia, por



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

métricas da paisagem, delineamento das formas do relevo e cálculos quanto a configurações naturais e antrópicas da superfície da paisagem. Este delineamento pode nos proporcionar a compreensão de diferentes processos ambientais, tais como os fatores de formação de solo (BENITES et al., 2007), as características climáticas e meteorológicas de controle hidrológico local (LI; WONG, 2010), o transporte de água, os arranjos hidrológicos e hidrosedimentológicos e a percolação no solo (PROGRAMME, 2002), assim como a distribuição da cobertura vegetal (FLORINSKY; KURYAKOVA, 1996; JELASKA, 2009; LUCIEER et al., 2014; TURNER; LUCIEER; WATSON, 2012).

Como instrumentos de compreensão destas formas e processos, estudiosos utilizavam de ferramentas de coletas de informações a campo para observar e descrever o terreno com precisão (TAROLLI, 2014). Contudo, o custo e complexidade destes métodos pode se tornar um fator limitante para a coleta de dados em grandes extensões, ou com alto grau de detalhe. Com o advento do sensoriamento remoto, foi-se aprimorando a tecnologia de aquisição de dados e a geração do modelado do terreno. Esta evolução tecnológica nos trouxe os modelos digitais de elevação, que são representações das métricas de forma e diferenças altitudinais da superfície da terra, auxiliando na qualificação e quantificação das morfologias locais e descrição das mudanças no relevo.

Para a geração destes modelos, são utilizados diferentes métodos como a fotogrametria e a estereoscopia, sensores remotos de *radar* de varredura acoplados a satélites e até uso de sensores óticos com dupla visada que proporcionam uma dupla cobertura obtendo informações altitudinais de dados terrestres (JENSEN, 2009). Uma outra forma de detecção das informações altitudinais da superfície é a realizada utilizando-se da tecnologia a *laser*, o *Light Detection and Ranging* (LiDAR). A tecnologia LiDAR resultam em dados mais precisos na geração dos modelos digitais de elevação, pois fornecem informações em áreas com cobertura de vegetações densas devido a sua possibilidade de penetração em elementos arbóreos com acurácia e precisão dos dados de chão (ABU-ALY et al., 2014; LIU; ZHANG, 2007; ZARCO-TEJADA et al., 2014).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Os sensores LiDAR geram informações da superfície da terra, como a identificação das coordenadas espaciais x e y e de altitude z, compondo a chamada nuvem de pontos. Estas nuvens de pontos podem se transformarem através de interpolações e filtragens em modelos digitais de elevação (EVANS, 2012; EVANS; HUDAK, 2007; HLADIK; ALBER, 2012; PIROTTI; TAROLLI, 2010; XIAOYE LIU, 2008).

Na geomorfologia, os sistemas de escaneadores a *laser* terrestres cada vez mais tem se mostrado uma ferramenta poderosa e de grande valia, principalmente quanto seu alto grau de detalhamento de feições e de superfície. O objetivo deste artigo é mostrar algumas aplicações destes sistemas dentro da geomorfologia. A seguir, mostraremos algumas das aplicações e seus principais estudos atuais do TLS na geomorfologia.

2. Conceituação dos sistemas de escaneamento a *laser*

Os sensores a *laser* podem ser de dois tipos principais: aéreos e terrestres. Os escaneadores a *laser* aéreos são baseados em um sensor acoplado a uma plataforma aérea ou aeronave, com orientação de um DGPS (*Differential Global Position System*) identificando a reflexão do objeto a ser imageado. O dado gerado é uma nuvem de pontos com informações das coordenadas, capaz de reconhecer padrões dos objetos por sua geometria de geração dos dados.

Os escaneadores a *laser* terrestres (TLS) obtêm seus dados em uma posição fixa, comumente afixionados por um tripé com alto grau de detalhe em três dimensões em pequenas áreas. O princípio da varredura a *laser* terrestre é simples - um feixe de *laser* altamente colimado varre um ângulo sólido pré-definido em um padrão de varredura regular e mede o tempo do sinal do *laser*. O alcance de varredura do sistema terrestre de alcance médio permite medições de distância entre 2 e 300 metros (HOLOPAINEN et al., 2011).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

3. Usos do TLS na geomorfologia

3.1 Rugosidade

A rugosidade é uma medida das variações do relevo que pode ser dada a uma superfície. As morfometrias de rugosidade são realizadas a partir do cálculo da quantidade de sedimentos e a sua variação de altura dentro de, por exemplo, um banco de cascalhos depositados em leitos de rio. No artigo de Heritage e Milan (2009) a aplicação do TLS para estudos das rugosidades da quantidade de grão de cascalhos em leitos de rios, foi identificada por calculos estatísticos gerados por modelos digitais de superfície, criados a partir da nuvem de pontos imageada pelo sensor.

Estudos relacionados às técnicas de captação de dados a partir de escaneadores a *laser* terrestres são realizados em diferentes proporções. Por exemplo, no estudo de dunas, as diferenças nas morfométricas de rugosidades dos grãos de areia se mostraram muito efetivos por sua alta coorelação estatística com os dados obtidos em campo. A varredura terrestre a *laser* pode ser usada para fornecer a diferença de alturas de rugosidade dos grãos para as superfícies expostas, como em leitos do rios e áreas de encostas sem cobertura vegetal. A técnica tem o potencial de substituir completamente as técnicas convencionais de estimação de rugosidade (HERITAGE; MILAN, 2009).

Em outro estudo realizado pelo Eitel et al. (2011), para compreensão e modelagem de processos concentrados de erosão de fluxo, foi realizado um mapeamento da topografia com o escaneamento a *laser* terrestre, avaliando com tecnicas de simulação de fluxo concentrado em parcelas experimentais. A rugosidade da superfície local foi calculada como o desvio padrão das alturas de superfície mapeadas de TLS dentro de janelas móveis variando em tamanho de 30×30 a 90×90 mm. Os resultados deste estudo indicaram que o TLS é uma ferramenta útil para compreensão dos fluxos erosivos superficiais devido sua escala de aquisição de dados milimétricas sobre uma ampla gama de propriedades do solo, condições de superfície e extensões espaciais (EITEL et al., 2011).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

3.2 Arqueologia

No trabalho de Lerma et al. (2010), podemos encontrar uma união do uso do TLS com técnicas de fotogrametria, para a geração dos modelos em três dimensões de alta resolução espacial precisos (LERMA et al., 2010). Neste trabalho, os modelos foram gerados para reprodução de áreas de cavernas antes de intervenções relacionados a Era Paleolítica e após as modificações antropogênicas. A representação das características da caverna exigiu a integração das duas técnicas, TLS e fotogrametria de curto alcance para produzir não apenas desenhos tradicionais, como seções e elevações, mas também perspectiva de visualizações foto-realista e mundos de navegação visual totalmente operacionais em ambientes tridimensional. Trouxe uma perspectiva sobre o processamento dos dados melhorando sistematicamente as nuances em cavernas complexas e painéis com relevos com pequenas gravuras de artes pré-históricas (LERMA et al., 2010).

3.3 Vulcanismo

Em trabalhos como o de Jones et al. (2015), usou-se o *laser* terrestre para geração de modelos tridimensionais do vulcão EREBUS em três datas diferentes – 2008, 2009 e 2010. Com modelos de alta resolução espacial, pôde-se encontrar as diferenças geomórficas da evolução do vulcão durante os anos de acompanhamento e imageamento, comparando com dados iniciais de uma varredura de dados LiDAR realizada em 2001 com um escâner a *laser* aerotransportado. Com as mudanças entre os modelos gerados, pode-se observar neste estudo uma supressão da lava em um nível de três metros ao longo do período estudado (JONES et al., 2015). Esses dados permitiram calcular a velocidade de subida e descida do nível do lago de lava, e associaram as taxas de mudança volumétrica do fluxo de magma dentro do vulcão.

3.4 Movimento de massa

Muitos estudos relacionados a movimento de massa com o uso do sistema TLS identificam as estruturas e feições geomórficas relacionados a morfometrias inferidas em



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

modelos digitais de terreno gerados com dados coletados pelo escaneamento a *laser*. Um exemplo disto é o trabalho de Dunning et al. (2009), que demonstrou dados sobre deslizamentos de terra que afetam o principal corredor de transporte oeste-leste no Himalaia ao leste do Butão perto do Main Central Thrust. As análises dos dados TLS permitem a extração da geometria das lâminas, orientações de descontinuidade e identificação das falhas. Os resultados do sistemas TLS são comparados a um levantamento geológico tradicional de engenharia e mostram um valor considerável e deve constituir a base de novas abordagens para estudos geomorfológicos. Achados de reconhecimento geomorfológico em macroescala são delineados e interpretados dentro de um modelo conceitual da evolução de movimentos de massa (DUNNING; MASSEY; ROSSER, 2009).

Outra forma de utilizar o sensor TLS para identificação de movimentos de massa foi feito por Abellán et al. (2010), onde os autores conseguiram monitorar quedas de rochas em pequena escala. Foram identificados as evoluções geomorfológicas quanto a mudança de volume do material e a frequência das quedas em comparação com sequência de aquisição destes dados em uma área experimental. Os autores identificaram eventos passados e a inferência de eventos futuros a partir das falhas e deformações da topografia. Devido a sua alta resolução espacial e a obtenção de dados com precisão e alcance máximo em seu imageamento, o sistema TLS oferece perspectivas interessantes para localização espacial e previsões quanto a quedas de rochas (ABELLÁN et al., 2010).

3.5 Processos Erosivos

Em estudos envolvendo a identificação de processos erosivos, o uso do sistema TLS se mostra eficiente mesmo em áreas com cobertura vegetal densa de diferentes alturas de dossel. É o caso do estudo do Kociuba et al. (2015), em que foram testadas diferentes formas de varredura a *laser* terrestre para identificação da mudança dos sulcos erosivos em áreas de encosta. A pesquisa comparou a taxa de dissecação erosional medida por métodos tradicionais e as comparou com o uso do escaneamento a *laser*. Com uma modelagem precisa



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

do terreno, o modelo em três dimensões usado permitiu a avaliação das mudanças espaciais qualitativamente e quantitativamente. A análise mostrou intenso desenvolvimento da dissecção, manifestando-se em aumento de volume (37%), recuo da erosão (32 m), erosão profunda (19%) e erosão lateral (27%). Os resultados obtidos confirmam que a erosão causada pelo derretimento das camadas de gelo determina o desenvolvimento espacial das voçorocas perenes, mas o volume de material descarregado da bacia depende da ocorrência de precipitação extrema durante a estação quente (KOCIUBA et al., 2015).

3. Conclusões

Podemos observar que os sistemas TLS tem sido progressivamente utilizados em pesquisas relacionadas a geomorfologia. A tecnologia de aquisição de dados provenientes de sistema LiDAR terrestre tem avançado quanto a sua aquisição processamento e geração de novos dados para estudos principalmente na geomorfologia.

Os sistemas de escaneamento a *laser* devido seu alto grau de detalhamento de feições e de superfície mostra-se versátil e identifica diferentes informações precisas e com maior recobrimento de áreas, comparado com técnicas manuais. Devido sua relativa facilidade de manuseio em relação a outros métodos de obtenção de dados, pode-se ser reaplicado em diferentes períodos podendo identificar modificações constantes no terreno. Há muito a explorar conjuntamente com outras tecnologias de sensoriamento remoto e dados em campo, mas suas pesquisas mostram um grande potencial de uso na aquisição de dados e identificação de informações.

4. Referências Bibliográficas

- ABELLÁN, A. et al. Detection and spatial prediction of rockfalls by means of terrestrial laser scanner monitoring. **Geomorphology**, v. 119, n. 3–4, p. 162–171, 2010.
- ABU-ALY, T. R. et al. Effects of LiDAR-derived, spatially distributed vegetation roughness



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

on two-dimensional hydraulics in a gravel-cobble river at flows of 0.2 to 20 times bankfull.

Geomorphology, v. 206, p. 468–482, 2014.

BENITES, V. M. et al. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 4, p. 569–577, 2007.

DUNNING, S. A.; MASSEY, C. I.; ROSSER, N. J. Structural and geomorphological features of landslides in the Bhutan Himalaya derived from Terrestrial Laser Scanning. **Geomorphology**, v. 103, n. 1, p. 17–29, 2009.

EITEL, J. U. H. et al. Suitability of terrestrial laser scanning for studying surface roughness effects on concentrated flow erosion processes in rangelands. **CATENA**, v. 87, n. 3, p. 398–407, 1 dez. 2011.

EVANS, I. S. Geomorphometry and landform mapping: What is a landform? **Geomorphology**, v. 137, n. 1, p. 94–106, 2012.

EVANS, J. S.; HUDAK, A. T. A multiscale curvature algorithm for classifying discrete return LiDAR in forested environments. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 4, p. 1029–1038, 2007.

FLORINSKY, I. V.; KURYAKOVA, G. A. Influence of topography on some vegetation cover properties. **Catena**, v. 27, n. 2, p. 123–141, 1996.

HERITAGE, G. L.; MILAN, D. J. Terrestrial Laser Scanning of grain roughness in a gravel-bed river. **Geomorphology**, v. 113, n. 1–2, p. 4–11, 2009.

HLADIK, C.; ALBER, M. Accuracy assessment and correction of a LIDAR-derived salt marsh digital elevation model. **Remote Sensing of Environment**, v. 121, p. 224–235, 2012.

HOLOPAINEN, M. et al. The use of ALS, TLS and VLS measurements in mapping and monitoring urban trees. **2011 Joint Urban Remote Sensing Event, JURSE 2011 - Proceedings**, p. 29–32, 2011.

HUGGETT, R.; CHEESMAN, J. **Topography and the environment**. [s.l.: s.n.].

JELASKA, S. D. Vegetation Mapping Applications. **Geomorphometry**, v. 33, n. 08, p. 481–496, 2009.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** [s.l.: s.n.]. v. 21

JONES, L. K. et al. Terrestrial laser scanning observations of geomorphic changes and varying lava lake levels at Erebus volcano, Antarctica. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 295, p. 43–54, 2015.

KOCIUBA, W. et al. Comparison of volumetric and remote sensing methods (TLS) for assessing the development of a permanent forested loess gully. **Natural Hazards**, v. 79, p. 139–158, 2015.

LERMA, J. L. et al. Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study. **Journal of Archaeological Science**, v. 37, n. 3, p. 499–507, 2010.

LI, J.; WONG, D. W. S. Effects of DEM sources on hydrologic applications. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 34, n. 3, p. 251–261, 2010.

LIU, X.; ZHANG, Z. The effect of LiDAR data density on DEM accuracy. **MODSIM07: International Congress on Modelling and Simulation: Land, Water and Environmental Management: Integrated Systems for Sustainability**, p. 1363–1369, 2007.

LUCIEER, A. et al. Using an unmanned aerial vehicle (UAV) to capture micro-topography of antarctic moss beds. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 27, n. PARTA, p. 53–62, 2014.

PIROTTI, F.; TAROLLI, P. Suitability of LiDAR point density and derived landform curvature maps for channel network extraction. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 9, p. 1187–1197, 2010.

PROGRAMME, I. H. Modelling erosion, sediment transport and sediment yield. n. 60, 2002.

TAROLLI, P. High-resolution topography for understanding Earth surface processes: Opportunities and challenges. **Geomorphology**, v. 216, p. 295–312, 2014.

TURNER, D.; LUCIEER, A.; WATSON, C. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery, based on Structure from Motion (SFM) point clouds. **Remote Sensing**, v. 4, n. 12, p. 1392–



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

1410, 14 maio 2012.

XIAOYE LIU. Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. **Progress in Physical Geography**, v. 32, n. 1, p. 31–49, 2008.

ZARCO-TEJADA, P. J. et al. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. **European Journal of Agronomy**, v. 55, p. 89–99, abr. 2014.