



## Uso de Drone como Ferramenta para Investigação Geotécnica

Sergio Vicente Denser Pamboukian  
Professor, Universidade Presbiteriana Mackenzie/Engenharia Civil, São Paulo, Brasil,  
[sergio.pamboukian@mackenzie.br](mailto:sergio.pamboukian@mackenzie.br)

Ricardo Concilio  
Professor, Universidade Presbiteriana Mackenzie/Engenharia Civil, São Paulo, Brasil  
[ricardo.concilio@mackenzie.br](mailto:ricardo.concilio@mackenzie.br)

Henrique Dinis  
Professor, Universidade Presbiteriana Mackenzie/Engenharia Civil, São Paulo, Brasil,  
[henrique.dinis@mackenzie.br](mailto:henrique.dinis@mackenzie.br)

Alberto Alonso Lázaro  
Professor, Universidade Presbiteriana Mackenzie/Engenharia Civil, São Paulo, Brasil,  
[alberto.alonso@mackenzie.br](mailto:alberto.alonso@mackenzie.br)

Magda Aparecida Salgueiro Duro  
Professor, Universidade Presbiteriana Mackenzie/Engenharia Civil, São Paulo, Brasil,  
[magda.duro@mackenzie.br](mailto:magda.duro@mackenzie.br)

Eric Ribeiro Da Silva  
Professor, Universidade Presbiteriana Mackenzie/Engenharia Civil, São Paulo, Brasil,  
[eric.silva@mackenzie.br](mailto:eric.silva@mackenzie.br)

**RESUMO:** Taludes naturais encontram-se naturalmente expostos à instabilidade por acidentes que envolvem deslizamentos e erosão. As causas principais referem-se às próprias características das encostas, como declividades acentuadas e irregulares, tipo de solo, existência de materiais inconsolidados, dinâmicas hidrogeológicas, dentre outras, em especial destacam-se as áreas de ocupação antrópica. Normalmente, a acessibilidade a estas áreas é dificultosa pelo perfil acidentado e inconsistência do terreno, apresentando riscos de acidentes. No entanto, para uma avaliação criteriosa do nível de risco geológico a que as encostas estão submetidas, torna-se necessário levantamentos topográficos e fotográficos precisos e detalhados. Neste sentido, os mapeamentos por drones tem-se demonstrado uma ferramenta eficaz, por possibilitar a obtenção de mapas topográficos digitais amparados por documentação fotográfica em excelente resolução, inclusive com tomadas frontais às encostas, permitindo a identificação das feições geológicas das áreas levantadas. A Escola de Engenharia Mackenzie em parceria com a prefeitura de Francisco Morato realizou uma investigação geotécnica e registro topográfico por fotointerpretação de taludes em processo avançado de erosão. Como produtos do mapeamento, foram gerados: o Modelo Digital de Superfície (MDS), o Modelo Digital do Terreno (MDT), o Modelo 3D (mesh), o ortomosaico de fotos e as curvas de nível, entre outros. A avaliação detalhada desses produtos possibilitará a elaboração de um projeto de recuperação da área.

**PALAVRAS-CHAVE:** drones, mapeamento topográfico, investigação geotécnica.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



**ABSTRACT:** Natural slopes are naturally exposed to instability due to accidents involving landslides and erosion. The main causes refer to the characteristics of the slopes, such as steep and irregular slopes, type of soil, existence of unconsolidated materials, hydrogeological dynamics, among others, in particular areas of anthropic occupation stand out. Normally, access to these areas is difficult due to the uneven profile and inconsistency of the terrain, presenting a risk of accidents. However, for a careful assessment of the level of geological risk to which the slopes are subjected, accurate and detailed topographical and photographic surveys are necessary. In this sense, drone mapping has proven to be an effective tool, as it allows obtaining digital topographic maps supported by photographic documentation in excellent resolution, including frontal shots of the slopes, allowing the identification of the geological features of the surveyed areas. The Mackenzie School of Engineering, in partnership with the Francisco Morato city hall, carried out a geotechnical investigation and topographic record by photointerpretation of slopes in an advanced process of erosion. As mapping products, the following were generated: the Digital Surface Model (MDS), the Digital Terrain Model (MDT), the 3D Model (mesh), the photo orthomosaic and contour lines, among others. The detailed evaluation of these products will enable the elaboration of a recovery project for the area.

**KEYWORDS:** drones, topographic mapping, geotechnical investigation.

## 1 Introdução

Encostas normalmente estão submetidas a fenômenos que causam sua instabilidade. O monitoramento destas áreas é normalmente complexo pelas dificuldades de acesso e periculosidade. Nestes casos, o monitoramento por drones tem se mostrado vantajoso.

Gramani *et al.* (2018) utilizaram um drone para analisar o escorregamento ocorrido em março de 2017 no Morro Santo Antônio (Caraguatatuba-SP) que atingiu parcialmente o terreno e casas de condomínio residencial localizado no sopé do morro. De acordo com os autores, as principais vantagens apresentadas pelos drones, são a alta resolução espacial (cm/pixel), a resolução temporal (frequência de imageamento) e a estereoscopia que permite a visão tridimensional do terreno, podendo substituir as tradicionais aerofotos que nem sempre são de fácil acesso ou baixo custo. Os principais produtos obtidos a partir do imageamento com o drone e pós-processamento, são o ortomosaico, o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Terreno (MDT).

Rodrigues e Peixoto (2022) utilizaram imagens de drones para a análise da geomorfologia de processo erosivo laminar, em um sítio da cidade de Pratânia-SP, para o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de áreas suscetíveis a esse tipo de fenômeno.

Silva Júnior (2019) elaborou uma proposta metodológica e avaliou dados obtidos por drones como contribuição à cartografia geotécnica. Teve como resultados: Cartas Complementares, Cartas Analíticas, Carta de Suscetibilidade à Erosão, Carta de Aptidão à Urbanização, Cartas de Ameaça de Escorregamentos e rotinas computacionais para apoio ao planejamento urbano.

Simões *et al.* (2019) estudaram a modelagem 3D e a geovisualização aplicada a desastres naturais utilizando imagens aéreas obtidas por drones. Segundo os autores, a vantagem desta tecnologia está na agilidade nas tomadas das imagens e na capacidade de formação estereoscópica, além do custo do equipamento, muito inferior quando comparado com câmeras fotogramétricas e sensores LiDAR.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.







O presente trabalho apresenta resultados de mapeamento topográfico realizado com drones e GNSS (*Global Navigation Satellite System* – Sistema global de navegação por satélite) em Francisco Morato. Esse levantamento faz parte de uma parceria entre a Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie e a Prefeitura do Município de Francisco Morato.

Essa parceria envolve várias atividades em diversos campos, tendo como assunto relevante a estabilidade de encostas e a avaliação de riscos geológicos de escorregamentos. Um dos locais em que essas atividades se desenvolvem é a Creche das Artes, na Avenida Paulo Brossard. Ao lado da creche há um talude com declividade acentuada, apresentando ausência de cobertura vegetal e, ainda, várias feições indicativas de erosão.

A Escola de Engenharia Mackenzie realizou nesse local um levantamento topográfico utilizando drone e GNSS. O levantamento obtido tem a intenção de subsidiar possíveis intervenções para a estabilidade do talude. A segurança da edificação da creche, com as obras concluídas, e com sua divisa lateral composta pelo talude descrito, justificou o levantamento objeto desse artigo.

O objetivo principal desse artigo é verificar a eficiência de mapeamentos topográficos executados com drones e GNSS; para a análise de estabilidade de taludes e projetos de contenção do solo. Como segundo objetivo, ter o entendimento sobre as vantagens e limitações desse tipo de mapeamento e, ainda, descrever os procedimentos para a sua execução, atendendo a legislação vigente.

Para atender a esses objetivos, os procedimentos adotados foram os seguintes:

- obtenção das licenças e autorizações, junto aos órgãos competentes, para efetuar os voos com drone;
- elaboração do plano de voo para mapear a área de estudo;
- em campo, implantação dos pontos de apoio e o levantamento de suas coordenadas com um GNSS Geodésico;
- execução, também em campo, do mapeamento com voos de drone;
- processamento das imagens, por *software*, e geração de Ortomosaico de Fotos, Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT), curvas de nível e Modelo 3D, com a visão geral da área mapeada.

## 2 Mapeamento com drones e GNSS

Segundo o Decreto-Lei 1.177, de 21 de junho de 1971 (BRASIL, 1971 p.1), aerolevanteamento é “*o conjunto das operações aéreas e/ou espaciais de medição, computação e registro de dados do terreno com o emprego de sensores e/ou equipamentos adequados, bem como a interpretação dos dados levantados ou sua tradução sob qualquer forma.*”.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023a), define o levantamento aerofotogramétrico como um dos métodos utilizados para o mapeamento da superfície terrestre. O voo fotogramétrico é realizado por uma aeronave, na qual é acoplada uma câmera fotogramétrica que cobre toda a área a ser mapeada.

Atualmente, o aerolevanteamento com drones tem sido utilizado como uma importante ferramenta para mapeamento de regiões de difícil acesso. Esse tipo de levantamento possui inúmeras vantagens em relação aos métodos topográficos tradicionais como redução de tempo e custos, além da geração de produtos muito mais detalhados.

O erro posicional dos produtos gerados é de poucos centímetros, podendo ser utilizados para a maioria dos projetos que necessitem de mapeamento do terreno.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



## 2.1 Pontos de Apoio GNSS

Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS - *Global Navigation Satellite System*) refere-se à constelação de satélites que possibilita o posicionamento em tempo real de objetos, bem como a navegação em terra ou mar. Esse sistema é utilizado em diversas áreas, como mapeamentos topográficos e geodésicos, aviação, navegação marítima e terrestre, monitoramento de frotas, demarcação de fronteiras, agricultura de precisão, entre outros usos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2023b).

O sistema GNSS mais conhecido é o *Global Positioning System* (GPS), mas existem outros como o *Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema* (GLONASS), o GALILEO e o BEIDOU.

Os drones já possuem um sistema GNSS embarcado. Porém, na maioria dos modelos, o método de posicionamento utilizado possui uma acurácia posicional muito baixa com erros que podem chegar a vários metros, inviabilizando seu uso para mapeamentos topográficos.

Para contornar este problema, podemos marcar alguns pontos de apoio no solo (Figura 1), levantar suas coordenadas com um GNSS Geodésico que tem precisão milimétrica e, a seguir, georreferenciar as imagens obtidas pelo drone com uma melhor acurácia posicional.



Figura 1. Coleta de coordenadas de ponto de apoio com GNSS Geodésico.  
Fonte: próprio autor.

Os pontos de apoio devem ter dimensão compatível com a altura de voo do drone para que possam ser visíveis com nitidez nas fotos aéreas. Na etapa de processamento de imagens, os pontos de apoio precisam ser apontados nas fotos e suas coordenadas devem ser indicadas.

## 2.2 Mapeamento com drones

No Brasil, existem diversos órgãos que regulamentam a operação de drones:

- Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) responsável por homologar os aparelhos de rádio-controle para que as frequências e potências utilizadas não afetem a comunicação de outros equipamentos;

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





- Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) que controla o cadastro de aeronaves e possui as principais regras para voo de drones;
- Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) responsável pelo cadastro de pilotos e autorizações de uso de espaço aéreo;
- Ministério da Defesa (MD) que regulamenta as atividades de Aerolevramento.

Para realizar atividades de aerolevamento, aeronaves e pilotos devem obedecer às exigências destes órgãos.

Para melhorar a qualidade do levantamento, são utilizados *softwares* de planejamento de voo como, por exemplo, o Pix4Dcapture e o DroneDeploy. Neste tipo de *software*, podemos delimitar a área a ser mapeada e definir algumas características do levantamento como altitude de voo, ângulo da câmera, porcentagem de sobreposição de imagens, entre outras (Figura 2).



Figura 2. Plano de voo feito no *software* Pix4Dcapture.

Fonte: próprio autor.

Após a finalização do voo, o *software* exibe as informações do mapeamento (Figura 3). No estudo de caso apresentado neste artigo, o voo teve duração de 13 minutos e 33 segundos e registrou 264 imagens aéreas com sobreposição de 80%. As fotos disponíveis no cartão de memória do drone precisam ser copiadas para um computador e processadas em *softwares* específicos.

Drone	Date	Time	Type
Phantom 4 Pro	Mar 16, 2023	11:16:43	Polygon
Location	Dimensions	Overlap	Camera Angle
-23.279545°, -46.728331°	308 m x 119 m	80% (72%)	90°
Altitude	Images	Path	Flight time
40 m	264	2074 m	13min:33s

Figura 3. Dados do voo realizado utilizando o Pix4Dcapture.

Fonte: próprio autor.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



## 2.3 Processamento de imagens e geração de produtos

Para este estudo de caso, foi utilizado o *software* gratuito Open Drone Map (ODM) para o processamento das imagens e geração de produtos.

Na primeira etapa foram marcados nas fotos os 23 pontos de apoio coletados em campo utilizando GNSS Geodésico (Figura 4).

Na segunda etapa (processamento das imagens e geração de produtos), foram utilizadas as configurações padrão do ODM e os resultados foram gerados de forma automatizada. A qualidade dos produtos poderia ser otimizada personalizando-se as configurações do ODM e ficariam melhor ainda se o processamento fosse feito em *softwares* pagos como o Metashape ou o Pix4Dmapper que permitem um processamento manual e interativo.



Figura 4. Localização dos pontos de apoio coletados em campo.

Fonte: próprio autor.

Para a terceira etapa, geração dos *layouts* finais em escala, foi utilizado o *software* gratuito QGIS.

## 3 Resultados e discussão

O processamento do *software* ODM resultou em imagens de altíssima resolução com *Ground Sample Distance* (GSD) de 1,1 cm/pixel. As figuras 5, 6 e 7 mostram alguns dos produtos gerados.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.





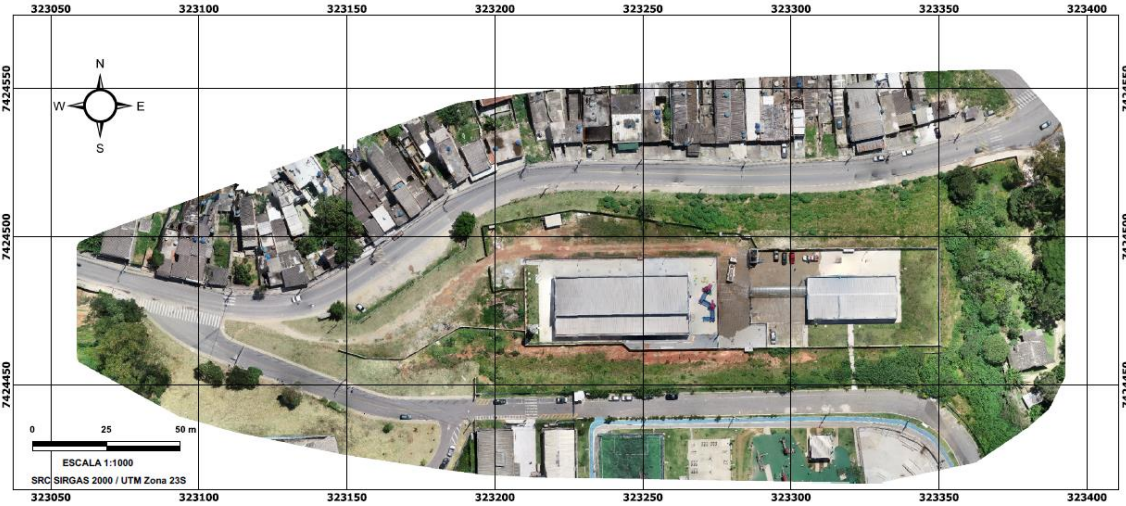


Figura 5. Ortomosaico de fotos.  
Fonte: próprio autor.

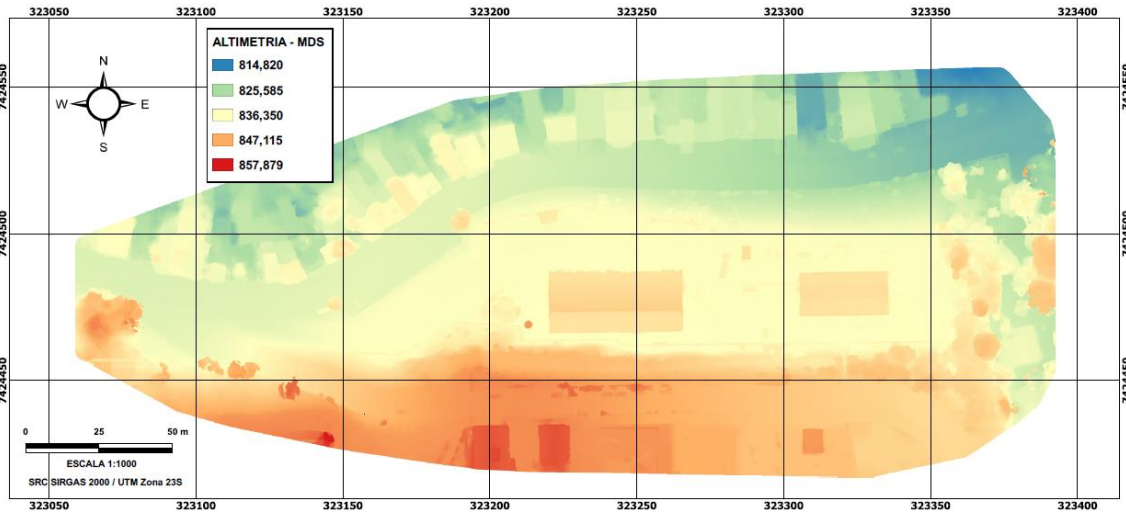


Figura 6. Modelo Digital de Superfície (MDS).  
Fonte: próprio autor.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.





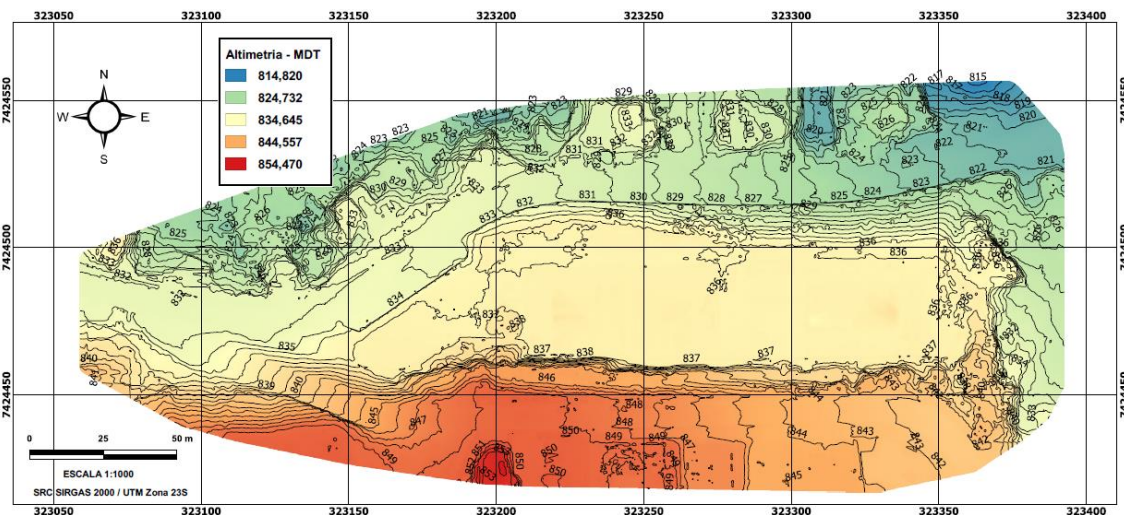


Figura 7. Modelo Digital de Terreno (MDT).

Fonte: próprio autor.

É importante ressaltar que neste estudo de caso, alguns mapas possuem inconsistências, principalmente na altimetria, devido às técnicas utilizadas. Os principais motivos para isto são:

- o sensoriamento remoto feito pela câmera do drone capta a superfície dos objetos presentes no solo como por exemplo: copas de árvores e telhados das construções. Com um voo feito com câmera a 90° (vertical), muitas vezes não se tem imagens diretas do solo em algumas regiões da área de estudo. Para melhorar este problema sugere-se efetuar um voo cruzado com câmera a 45° e aumentar a coleta de pontos GNSS principalmente em áreas obstruídas do terreno;
- as curvas de nível são geradas a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) e este a partir do Modelo Digital de Superfície (MDS). Se a qualidade do MDT não for boa, vamos obter curvas de nível inconsistentes. Sugere-se não utilizar métodos automáticos para geração de MDT ou refinar manualmente o resultado obtido de forma automatizada. Neste caso, os *softwares* pagos terão melhor desempenho e mais recursos disponíveis.

No modelo 3D visto na Figura 8, há uma visão geral da área mapeada (à esquerda) e pode-se observar em detalhes o talude que possui risco de escorregamento sobre a Creche das Artes (à direita).

#### 4 Considerações finais

O mapeamento topográfico, com utilização de drone e GNSS, realizado na Creche das Artes, em Francisco Morato, fez parte das atividades desenvolvidas pela parceria entre a Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie e a Prefeitura Municipal e tem sua importância destacada na elaboração da contenção do talude, situado na divisa lateral da creche.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.





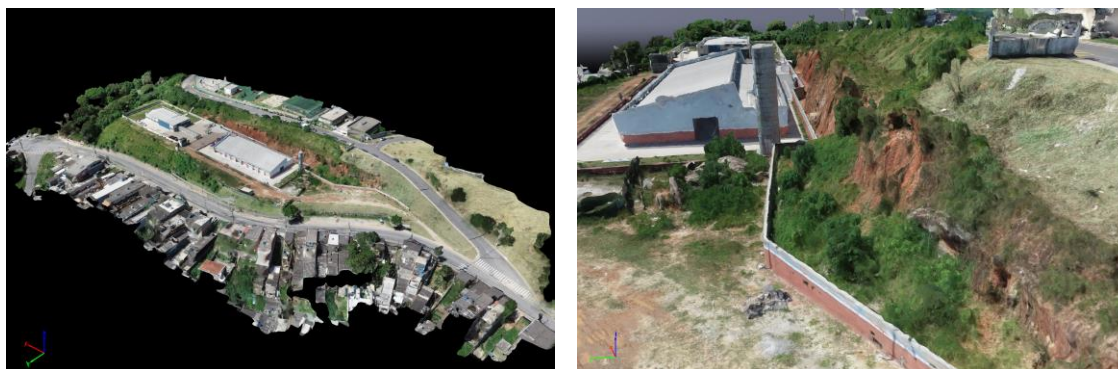


Figura 8. Modelo 3D gerado pelo software Pix4Dmapper.

Fonte: próprio autor.

O mapeamento realizado fornecerá elementos para o projeto de estabilização do talude em questão, que trará segurança para a edificação da Creche das Artes.

A eficiência de mapeamento topográfico utilizando drone e GNSS ficou demonstrada com os procedimentos descritos no presente artigo. E a precisão, de poucos centímetros, obtida nos produtos gerados é perfeitamente adequada para projetos de estabilização de taludes, obras de contenção do solo e obras de drenagem.

A principal vantagem da utilização do mapeamento topográfico com drones reside no tempo e custo de execução, quando comparado com os procedimentos convencionais de topografia. Por outro lado, as desvantagens são as seguintes: sua utilização em obras que necessitem de precisão em milímetros e as interferências de superfície, como telhados das edificações e copas das árvores, precisam ser removidas dos modelos para se obter as curvas de nível da superfície do terreno.

Os diversos órgãos que regulamentam a operação de drones foram descritos no presente artigo.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao técnico agrimensor Renato Gluber Candido Prates do Laboratório de Geotecnologias da Escola de Engenharia que contribuiu na geração dos *layouts* dos mapas, no processamento das imagens e também na coleta de dados em campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil (1971). Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. *Decreto-Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971. Dispõe sobre aerolevantamentos no território nacional, e dá outras providências.* Brasília.

Gerscovich, D. *Estabilidade de taludes*. 1. Ed, Oficina de Textos: São Paulo, 2012, 166p.

Aponte a câmera do seu  
smartphone para o  
QR Code ao lado e salve o  
evento na sua agenda.



Gramani, M.F.; Cavalhieri, C.P.; Silva, A.P.S.; Mantovani, J.C.; Carou, C.B. *O uso de drone multirrotor de pequeno porte para diagnóstico e monitoramento de acidentes geológicos*. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG 2018) – 28 de Agosto a 01 de Setembro de 2018, Salvador, Bahia, Brasil. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Camila-Carou/publication/327546671\\_O\\_Uso\\_de\\_Drone\\_Multirrotor\\_de\\_Pequeno\\_Porte\\_para\\_Diagnostico\\_e\\_Monitoramento\\_de\\_Acidentes\\_Geologicos/links/5b95a87ba6fdccfd5435c71f/O-Uso-de-Drone-Multirrotor-de-Pequeno-Porte-para-Diagnostico-e-Monitoramento-de-Acidentes-Geologicos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Camila-Carou/publication/327546671_O_Uso_de_Drone_Multirrotor_de_Pequeno_Porte_para_Diagnostico_e_Monitoramento_de_Acidentes_Geologicos/links/5b95a87ba6fdccfd5435c71f/O-Uso-de-Drone-Multirrotor-de-Pequeno-Porte-para-Diagnostico-e-Monitoramento-de-Acidentes-Geologicos.pdf). Acesso em: 12/10/2023.

Massad, F. *Obras de terra: curso básico em geotecnia*. 2. Ed. Oficina de Textos: São Paulo, 2010, 216p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023a). Atlas escolar. *Conceitos gerais: O que é cartografia? Aerofotogrametria*. Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/aerofotogrametria.html>. Acesso em: 06/06/2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023b). Atlas escolar. *Conceitos gerais: O que é cartografia? GNSS*. Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/aerofotogrametria.html>. Acesso em: 06/06/2023.

Rodrigues, R.; Peixoto, A.S.P. *Análise da geomorfologia de processo erosivo com base em imagens aéreas obtidas através de RPAs*. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG 2022), 23 a 26 de Agosto de 2022, Campinas, SP, Brasil. Disponível em: [https://web.archive.org/web/20221011141044id\\_/https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/cobramseg.2022.1013.pdf](https://web.archive.org/web/20221011141044id_/https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/cobramseg.2022.1013.pdf). Acesso em: 12/10/2023.

SILVA JUNIOR, E.E.A. *Geotecnologias e Planejamento Urbano: Proposta Metodológica e Avaliação de Dados Obtidos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como Contribuição à Cartografia Geotécnica*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD – 155/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2019, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 272 p. Disponível em: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/37142>. Acesso em: 12/10/2023.

Simões, S.J.C.; Andrade, M.R.M.; Mendes, T.S.G.; Mendes, R.M.; Gomes, L.; Bortolozzo, C.A. *Modelagem 3D e geovisualização aplicada a desastres naturais. Uma proposta de laboratório de ensino e pesquisa para monitoramento e previsão de escorregamentos*. Terrae Didactica, 15, 1-9, e19024. doi: 10.20396/td.v15i0.8654053. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8654053/21323>. Acesso em: 12/10/2023.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.

