

Fotogrametria na caracterização estrutural de maciços calcários

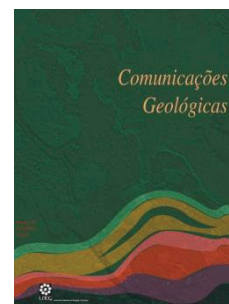
Photogrammetry in structural characterization of limestones massifs

J. Duarte^{1*}, G. Gonçalves², M. Cunha³, F. Figueiredo⁴

Recebido em 28/02/2018 / Aceite em 16/12/2019

Publicado em agosto de 2020

© 2020 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original
Original article

Resumo: Com a utilização de geotecnologias, em casos particulares, é possível a identificação e caracterização rápida, de estruturas geológicas existentes numa determinada área, sem que para o efeito se tenham despendido recursos mais onerosos. Este trabalho analisa, através dos dados recolhidos pelo levantamento aerofotogramétrico por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), as ocorrências das descontinuidades existentes no maciço calcário, auxiliando à decisão do planeamento dos trabalhos de exploração. A modelação 3D resultante do processamento dos dados, permite com a utilização da metodologia proposta, a caracterização dessas descontinuidades, assim como o seu tratamento estatístico, com um rigor que a medição tradicional pode não proporcionar.

Palavras chave: Geotecnologias, levantamento aerofotogramétrico, modelação 3D, caracterização de descontinuidades, tratamento estatístico.

Abstract: With the use of geotechnology, in particular cases, it is possible the identification and fast characterization of geological structures existing a certain area, with less need for more costly field studies. This study analyses through the data collected by the aero photogrammetric survey by Unmanned Aerial Vehicle (UAV), the occurrences of the discontinuities existing in the limestone massif, helping the decision of the exploration planning works. The 3D modeling resulting from the processing of the data allows with the use of the proposed methodology, the characterization of these discontinuities, as well as its statistical treatment, with a precision that traditional measurement may not provide.

Keywords: Geotechnology, aerophotogrammetric surveys, 3D modeling, discontinuity characterization, statistical treatment.

para o efeito alguns programas que já permitem calcular automaticamente a atitude das descontinuidades, bem como os parâmetros geomecânicos. Neste trabalho, o objetivo foi aplicar uma nova metodologia que servisse de apoio na análise e caracterização das descontinuidades existentes no local de estudo, de uma forma mais expedita, economicamente menos onerosa e fiável. Essa caracterização foi efetuada pelo método e metodologia proposta nos trabalhos apresentados por Duarte *et al.* (2015; 2017).

2. Objetivos

O objetivo do trabalho foi identificar e tratar estatisticamente as descontinuidades existentes no maciço calcário, o mais pormenorizadamente possível, avaliando assim o seu desenvolvimento espacial e a forma como condiciona o processo extrativo de blocos de rocha ornamental, recorrendo ao método fotogramétrico. Para o efeito, os levantamentos efetuados irão permitir, no futuro, definir localmente zonas com maior potencial para exploração, tendo em conta as suas características geológicas e estruturais.

3. Localização da área em estudo

A área situa-se geograficamente na Região Centro de Portugal, distrito de Santarém, concelho de Ourém, freguesia de Fátima, no Casal Farto (Fig. 1a), na pedreira da Filstone S.A. (Fig. 1b).

4. Metodologia

A metodologia recorreu à utilização de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), com as características apresentadas tabela 1, para a aquisição dos dados fotogramétricos e à manipulação manual da nuvem de pontos criada para determinar a atitude das descontinuidades existentes. O processo de determinação foi aplicado ao modelo elaborado com a técnica de *Structure from Motion* [SfM]. Com o auxílio do algoritmo RANSAC *Shape Detection* do programa *CloudCompare*[®], obtiveram-se os valores das atitudes, que foram projetados num diagrama de rosas e determinados os parâmetros estatísticos. O Fluxo de trabalho da metodologia está representado na figura 2.

¹ IQGeo – Serviços, Lda. e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

² Departamento de Matemáticas, Universidade de Coimbra e INESC, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

³ GeoSurveys – Consultores em Geofísica, Lda., Rua Narciso Espírito Santo 8, Maianga, 1000 Luanda, Angola.

⁴ Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

* Autor correspondente/corresponding author: joao.aduarte@iqgeo.pt

1. Introdução

As geotecnologias, em particular a fotogrametria, são já utilizadas para a análise de descontinuidades em maciços rochosos, havendo

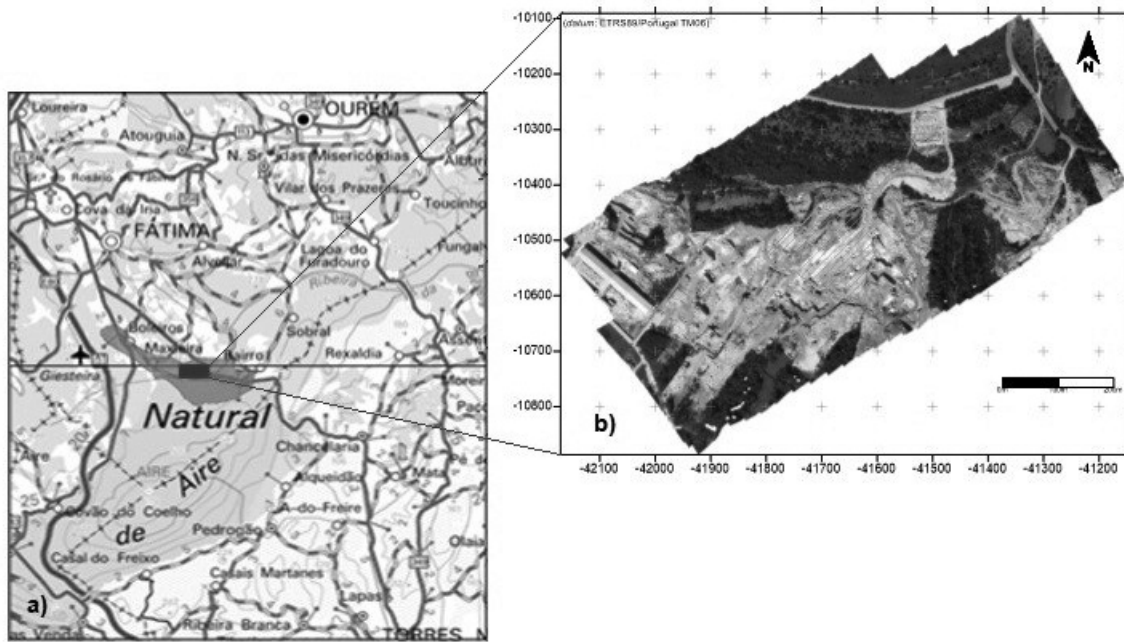


Figura 1. Excerto das Cartas Militares de Portugal Série M888, folhas 309 – Vila Nova de Ourém e 319 – Minde (Alcanena), à escala 1:25 000, do Instituto Geográfico do Exército. a) localização da área de estudo identificada pela janela no polígono vermelho. Polígono azul; b) localização da área de estudo no ortofotomapa da área de atividade extrativa, com a delimitação da exploração da Filstone S.A. polígono verde.

Figure 1. Excerpt from the Portuguese Military Maps Series M888, sheets 309 – Vila Nova de Ourém and 319 – Minde (Alcanena), at 1: 25,000 scale, from the Army Geographic Institute. a) location of the study area identified by the window in the red polygon. Blue polygon; b) location of the study area in the orthophotomap of the extractive activity area, with the delimitation of the exploration of Filstone S.A. Green polygon.

Tabela 1. Especificações do modelo de VANT.

Table 1. UAV model specifications.

	PLATAFORMA
Tipo de quadro:	Quadricóptero retrátil Tarot Iron Man 650
Motores:	4 T-Motor Navigator MN3110 470KV
Dimensões e peso:	95 cm e 1,5 kg com todo o equipamento
Modo de voo:	Controlo remoto
Autonomia:	Máx. 18 Minutos
	Câmara Digital
Suporte:	Walkera g-2D brushless gimbal
Configuração:	GoPro Hero4 Silver
	Sensor: CMOS - 12 megapixeis - 1/2,3 polegadas
	Tipo de lente: Lente vidro; Grande angular
	Distância focal: 3mm (17,2 mm eq. 35 mm)
	f-stop 2,8
	Peso: 2,9oz (84 g)
	Controlo Remoto
Controlador:	DJI Naza V2(GPS)
Comando de voo:	Futaba 8J FHSS - FUTABA
	2-manípulos, 8-canaís, sistema S-FHSS, embutido
	Dupla antena
	Frequência: 2,4 GHz
FPV (First Person View) Tx/Rx:	DJI Video Link 5,8 Ghz 500 mw
Monitor:	Lcd de 7 ′′



Figura 2. Fluxo de trabalho da obtenção dos dados até à projecção e tratamento estatístico.

Figure 2. Workflow from data collection to projection and statistical treatment.

5. Resultados obtidos

Do processamento no *software Agisoft PhotoScan*, foi obtida uma nuvem de pontos 3D de alta precisão (Fig. 3), sobre a qual foram extraídos os planos das descontinuidades, existentes no modelo. O programa utilizado para o fim foi *CloudCompare* (Girardeou-Montaut, 2011), um programa de código aberto. Para a extração dos planos, optou-se em primeiro lugar por identificar manualmente as descontinuidades existentes no modelo. É importante verificar se a descontinuidade identificada permite a colocação de pelo menos três pontos, não colineares, na sua superfície (Fig. 4). Seleccionada a área correspondente, o programa gera automaticamente um plano que possibilitou a determinação da sua atitude (*Dip direction* e *Dip angle*). O valor da atitude de cada um dos planos, foi projetado e

sujeito a tratamento estatístico no Stereonet (Rede estereográfica (Fig. 5) e Diagrama de rosas (Fig.6 a), sendo posteriormente este último comparando com o trabalho de Carvalho (2013). A qualidade e precisão dos valores obtidos, só foi possível devido à correta georreferenciação da nuvem de pontos. Procedeu-se, para melhor visualização da marcação das descontinuidades identificadas, à sua projecção linear no ortofotomapa aplicado sobre o *Google Earth Pro* (Fig. 6b). Neste estudo, foi apenas considerada para fins estatísticos a orientação das descontinuidades, cujos valores determinados são: Max. Valor = 35,48% entre 311° e 320°; Dir. média = 315,1° ± 05, 2°. Comparando os resultados obtidos com os apresentados em Carvalho (2013), identifica-se uma correspondência entre a representação das diaclases na figura 7a) e a restante projecção resultante da aplicação da metodologia (Fig. 7b). Os valores máximos de direcção que variam entre 280° e 330° para a projecção (a) e entre 291° e 335° para a projecção (b). As diferenças existentes podem estar associadas ao número de observações da amostragem, bem como das variações estruturais locais.

6. Considerações finais

A utilização dos levantamentos aerofotogramétricos, revelou-se útil na aquisição de dados para a caracterização geológico-estrutural, tendo em conta que:

1. Complementou os dados de campo relativamente à identificação das estruturas;
2. Reduziu o tempo de trabalho de campo e facilitou o acesso aos dados em zonas mais remotas.

Em trabalhos futuros, propõe-se a comparação de métodos, quantificando os custos inerentes à sua aplicação (recursos humanos/materiais/tempo despendido) versus quantidade e qualidade (resolução, precisão) dos dados obtidos. Esses trabalhos são da máxima importância para a validação a metodologia proposta, abrindo as portas para o uso intensivo desta geotecnologia na caracterização geológico-estrutural de maciços rochosos.



Figura 3. Ortofotomapa criado a partir dos dados obtidos no voo VANT realizado na propriedade da empresa Filstone S.A.

Figure 3. Orthophotomap created from the data obtained on the UAV flight performed on the property of Filstone S.A.

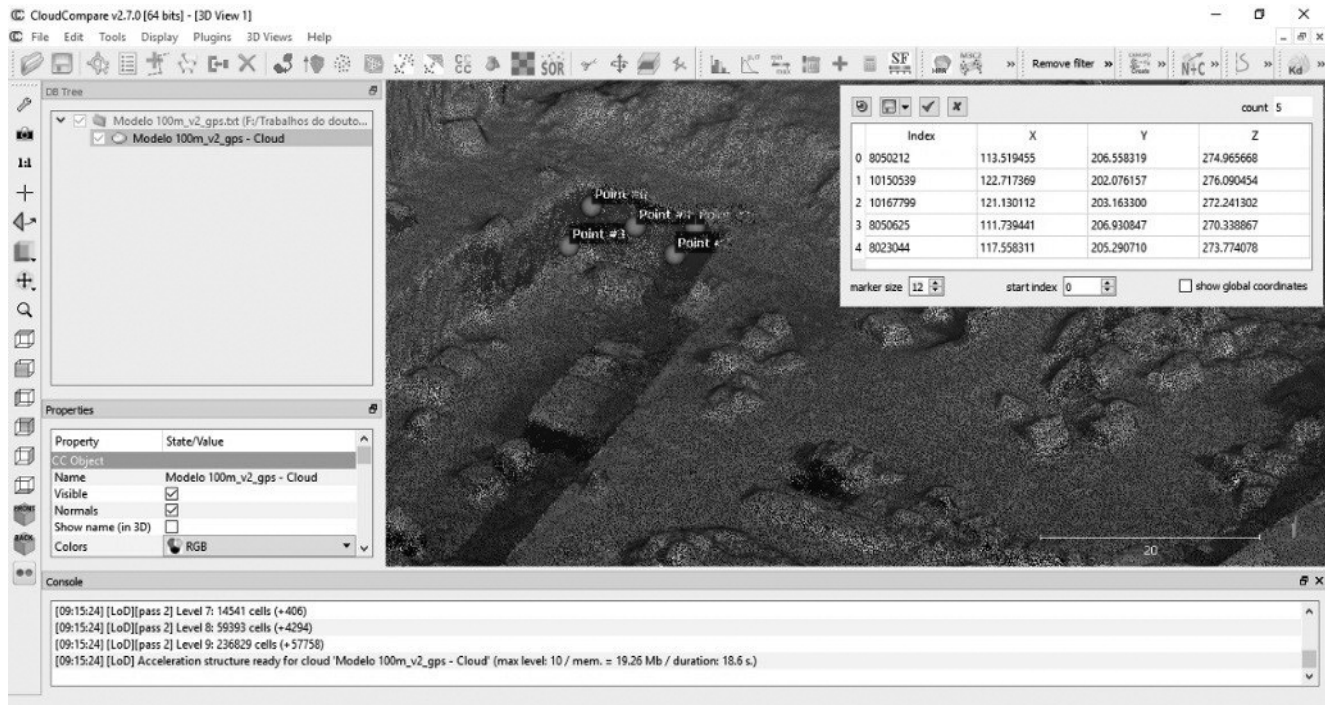


Figura 4. Procedimento de identificação e colocação dos pontos na superfície da descontinuidade.

Figure 4. Procedure of identification and placement of points on the surface of the discontinuity.

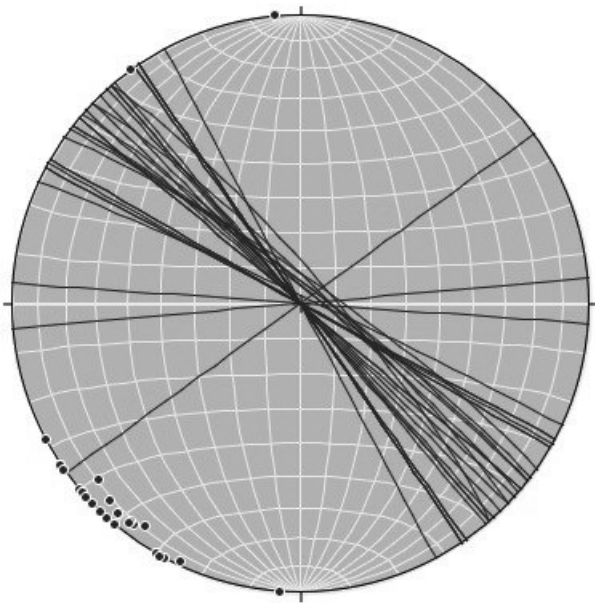


Figura 5. Rede estereográfica do Stereonet com a projecção dos valores da atitude de cada um dos planos criados e os respectivos polos.

Figure 5. Stereonet stereographic network with the projection of the attitude values of each of the created planes and their poles.

Agradecimentos

À Filstone S.A. por permitir a utilização das instalações e dos dados topográficos. À Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através da atribuição da bolsa de investigação SFRH / BDE / 51635 / 2011, financiada pelo POPH – QREN, Fundo Social Europeu e

fundos nacionais do MEC. O apoio financeiro da FCT-MEC através de fundos nacionais e, quando aplicável, co-financiado pelo FEDER no âmbito da parceria PT2020, através dos projetos de investigação UID/Multi/00073/2013 do Centro de Geociências e UID/Multi/00308/2013.

Referências

- Carvalho, J. M. F. D., 2013. *Tectónica e caracterização da fracturação do Maciço Calcário Estremenho, Bacia Lusitaniana. Contributo para a prospeção de rochas ornamentais e ordenamento da atividade extrativa*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa (não publicada).
- Duarte, J., Gonçalves, G., Duarte, D., Figueiredo, F., Mira, M., 2015. Comparison of 3D point clouds obtained by photogrammetric VANTs and TLS to determine the attitude of dolerite outcrops discontinuities. *Geophysical Research Abstracts*. **17**, EGU2015-6630, 2015. EGU General Assembly 2015.
- Duarte, J., Cunha, M., Gonçalves, G., Figueiredo, F., 2017. A UAV and SFM approach as a fast and complete methodology on morphostratigraphic analysis. *UAS4envir, small Unmanned Aerial Systems for Environmental Research, 5th International Conference*, Abstract Book, Vila Real, 28-30 Jun 2017, Portugal, 107-108.
- Girardeau-Montaut, D., 2011. Cloudcompare-open source project. OpenSource Project.

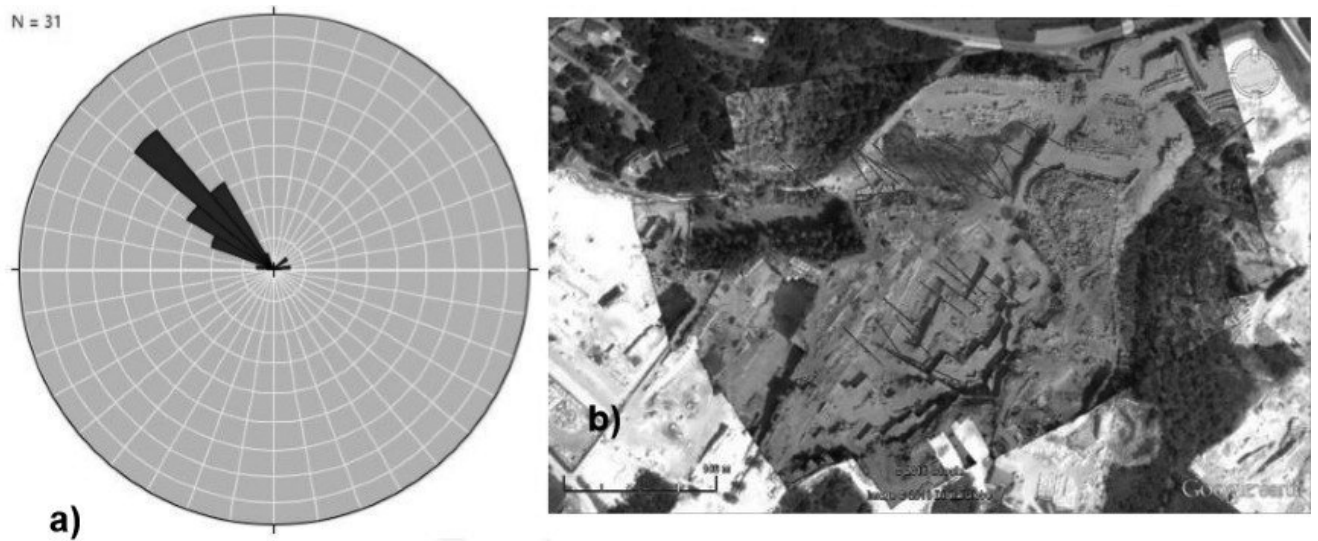


Figura 6. a) Representação no diagrama de rosas das orientações das descontinuidades na propriedade da empresa Filstone S.A. Está representadas as classes (10°); b) Localização da amostragem no mapa. Linhas – Descontinuidades identificadas por levantamento VANT.

Figure 6. a) Representation in the rose diagram of the discontinuity guidelines in the property of Filstone S.A. The classes (10°) are represented; b) Location of sampling on the map. Lines - Discontinuities identified by the UAV survey.

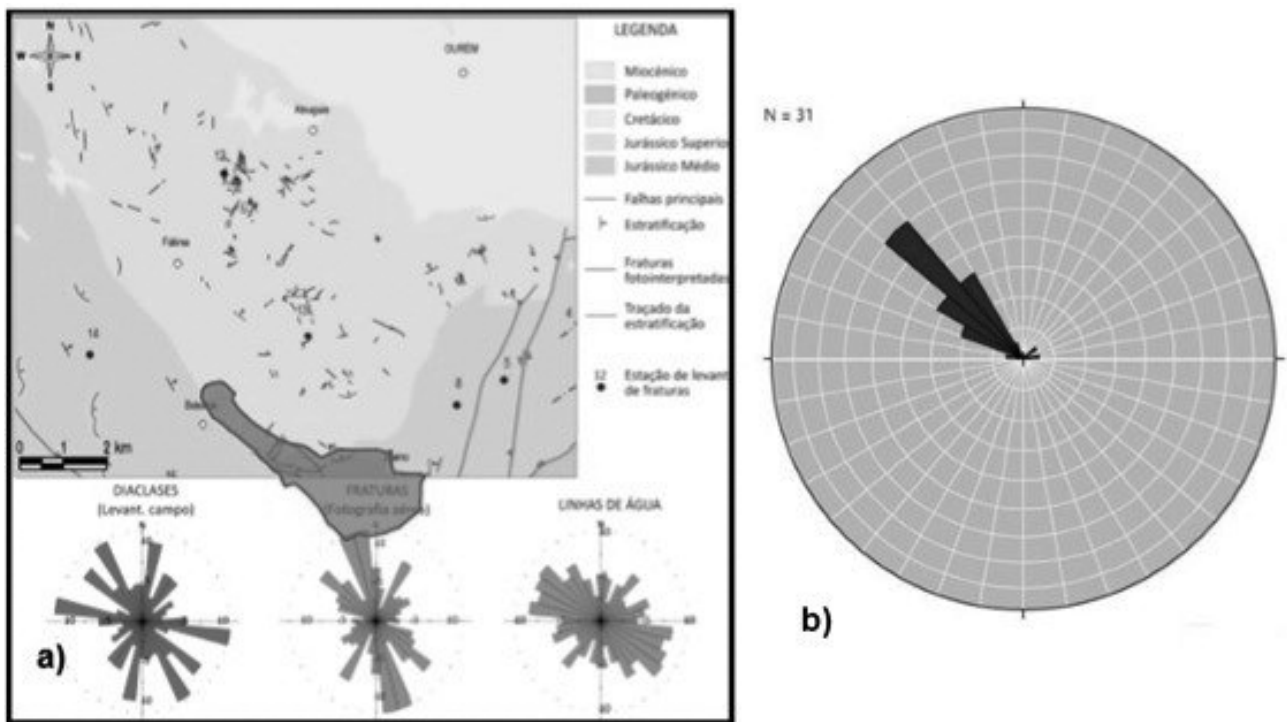


Figura 7. a) fraturas foto interpretadas no Jurássico Superior do Planalto de Fátima (Adaptado Carvalho, 2013); b) representação no diagrama de rosa das orientações das descontinuidades na propriedade da empresa Filstone S.A.(VANT).

Figure 7. a) photo fractures interpreted in the Upper Jurassic Plateau of Fatima (Adapted Carvalho, 2013); b) representation in the rose diagram of the discontinuity guidelines owned by Filstone S.A. (UAV).