

## ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE DUNAS BARCANAS DO PLANETA MARTE COM O USO DA CÂMERA *HIGH RESOLUTION IMAGING SCIENCE EXPERIMENT*

TASSIUS PEREIRA LIMA<sup>1</sup>; YAN CHAVES PEREIRA ARAUJO<sup>2</sup>; ALEXANDRE FELIPE BRUCH<sup>3</sup>; CAMILE URBAN<sup>4</sup>; HUMBERTO DIAS VIANNA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas, e-mail: tassius.lima.tl@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas, e-mail: yanchaves28.yc@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas, e-mail: afbruch@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas, e-mail: camile.urban@ufpel.edu.br

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas, e-mail: hdvianna@ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

Dunas barcanas são dunas isoladas em formato de lua crescente, que se formam na Terra sob suprimento limitado de sedimentos em áreas abertas e sem vegetação com ação predominante de ventos unidirecionais (HESP *et al.*, 1998). A duna é descrita por conter um lado de barlavento (convexo), um lado de sota-vento (face de deslizamento), crista na qual o ponto mais alto da duna separa o lado de barlavento e sota-vento; e duas asas que apontam na direção do vento. As pontas das asas são locais onde se perde sedimentos, que darão origem a novas dunas barcanas, o que as caracteriza como dunas móveis (ELBELRHITI *et al.*, 2014).

De acordo com ROBACK *et al.* (2022), campos de dunas barcanas na superfície marciana foram revelados nas imagens do orbitador *Mariner 9* em 1971, porém as imagens de baixas qualidades não permitem análises concretas da superfície do planeta Vermelho. Contudo, em 2006 a sonda *Mars Reconnaissance Orbiter* começa a orbitar Marte, e dentre os instrumentos a bordo há uma câmera intitulada *High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE)*, construída sob a direção do Laboratório Lunar e Planetário da Universidade do Arizona pela *Ball Aerospace & Technologies*. A câmera capta imagens da superfície em alta resolução de até 30 cm por *pixel*, sendo um instrumento fundamental para estudos da superfície marciana, assim como selecionar locais de pouso para exploração robótica, entre outras aplicações (THE UNIVERSITY OF ARIZONA, 2023).

Os estudos sobre as dunas barcanas da superfície de Marte ainda são incipientes, apesar da disponibilidade pública das imagens pela *The University of Arizona*. Portanto, esse trabalho visa examinar a morfometria de um campo de dunas barcanas, para a obtenção principal de dados da altura, comprimento, largura de asa a asa e ângulo de escorregamento de sota-vento.

### 2. METODOLOGIA

Em 12 de janeiro de 2015, a câmera *HiRISE* registrou uma imagem digital de um campo de dunas barcanas (Figura 1), situado nas coordenadas elipsoidais de 41.496°S e 44.614°E, no centro da imagem. A imagem possui uma resolução de 25 cm/pixel e é intitulada "*Barchan Dune Changes*".

O Modelo Digital de Elevação (MDE) empregado para a análise foi adquirido do website da *HiRISE*, onde o dado bruto é uma matriz tridimensional no formato IMG, a qual foi convertida para um plano topográfico local, buscando o enquadramento de latitude, longitude e altitude conhecidas. Para tanto, o sistema de origem das coordenadas foi definido como plano retangular, em 0 m em ambos os eixos.

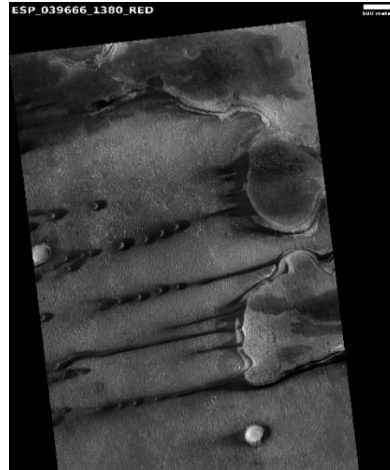


Figura 1: Imagem do campo de dunas barcanas de Marte sem processamento (Fonte: HiRISE).

Consequente, uma representação tridimensional da área de estudo foi criada por meio da utilização do *software Surfer* e da ferramenta 3D *Surface*. Esta técnica proporcionou uma perspectiva do relevo da região.

Para determinar a altura, largura da asa e comprimento das dunas, foi empregada a abordagem descrita por Hesp *et al.* (1998), conforme ilustrado na Figura 2. Utilizando o *software* Quantum GIS (QGIS) com a extensão *Profile Tool*, perfis topográficos foram gerados por meio de uma linha posicionada no eixo central, conectando os pontos de barlavento, crista e sota-vento. Esses dados permitiram calcular o comprimento da duna, e por diferença de altitude entre sota-vento e crista, forneceu a altura da duna. A largura da asa foi determinada traçando-se uma linha perpendicular entre as duas extremidades da asa.

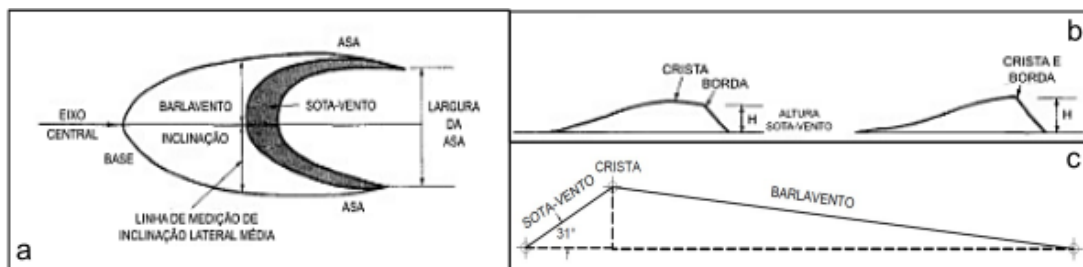


Figura 2: Metodologia adotada por Hesp *et al.* (1998) para análise morfológica de dunas barcanas. Em (a) duna vista em planta e indicação de seus atributos; (b) Crista e linha marginal da face deslizante, a esquerda separadas e direita coincidentes; (c) Exemplo de modelo gráfico gerado para obtenção do ângulo de escorregamento da face de sota-vento.

A fim de calcular o ângulo de inclinação na face sota-vento, foi desenvolvido um modelo gráfico para cada duna investigada, utilizando um *software* CAD. Esse modelo teve como referência os pontos de partida da cota na face de barlavento, o ponto final da cota na face de sota-vento e na cota da crista (Figura 2c).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a conversão da imagem original (Figura 1) para o plano topográfico local, obtivemos a Figura 3a, na qual o enquadramento da latitude, longitude e altitude possibilitou a análise dos dados de interesse em 13 dunas de formas bem definidas e

dispostas de maneira em linha mas isolada uma da outra. Na representação tridimensional (Figura 3b), é evidente a proveniência dos sedimentos que formam as dunas, assim como essas são formadas próximos a área fonte à Leste da imagem.

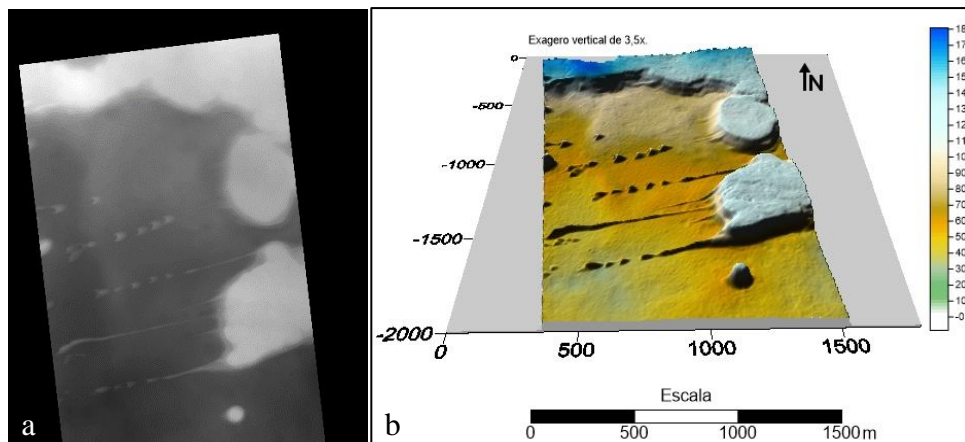
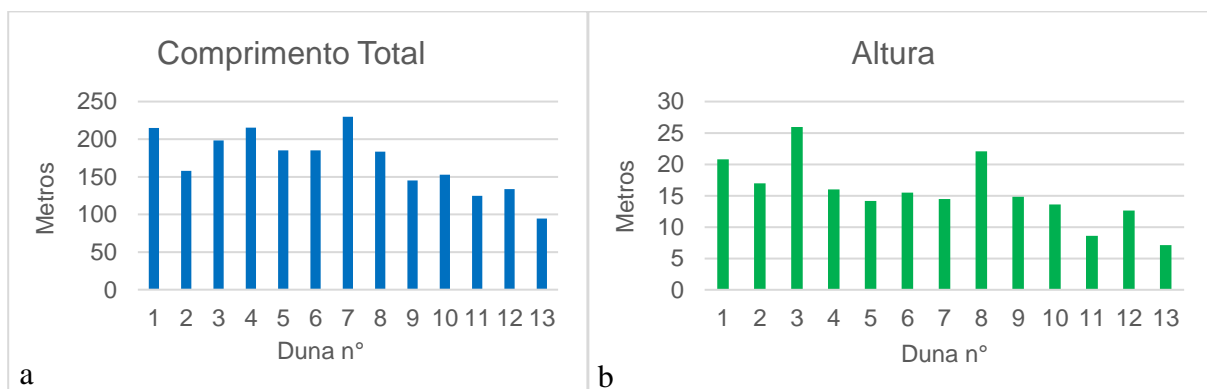


Figura 3: (a) Imagem da área de estudo obtida após enquadramento de latitude, longitude e altitude; (b) Imagem tridimensional da área de estudo.

O campo de dunas da área de estudo encontra-se no limiar de uma cratera, posicionado em cotas mais próximas da superfície. Segundo Elbelrhiti *et al.* (2014), em um estudo amplo do planeta, as dunas intracrateras do tipo barcanas isoladas de Marte tem altura média de 47 m e comprimento de 275 m. Também de acordo com análises realizadas por Bourke *et al.* (2006), utilizando a metodologia de Hesp *et al.* (1998), obteve-se altura média de 23 m das dunas barcanas.

Os dados obtidos nesta análise são mostrados na Figura 4, onde as dunas tem comprimento de 171 m e altura de 16 m em média. Apesar do campo de dunas estar no limiar da cratera, os resultados apresentam alturas e comprimentos consistentes com a literatura, mas não iguais. Uma das causas das diferença de resultados pode ser explicada pela ação do vento, pois na imagem é possível verificar que as dunas isoladas estão alinhadas à formação de Dunas Lineares. Estes tipos de dunas, são formadas por ventos bidirecionais, diferente das dunas barcanas, na qual o vento, em geral, deve ser unidirecional e no mesmo sentido. Com base nas observações descritas é possível afirmar que, o vento age de forma variável nesta região, do tipo bidirecional mais próximo da fonte de sedimentos, e unidirecional mais distante da área fonte. Pode ser um resultado devido a posição geográfica que se encontram, onde comportamento dos agentes formadores das dunas podem sofrer alterações, cuja evidência deste fato são, justamente, os resultados obtidos por Elbelrhiti *et al.* (2014).



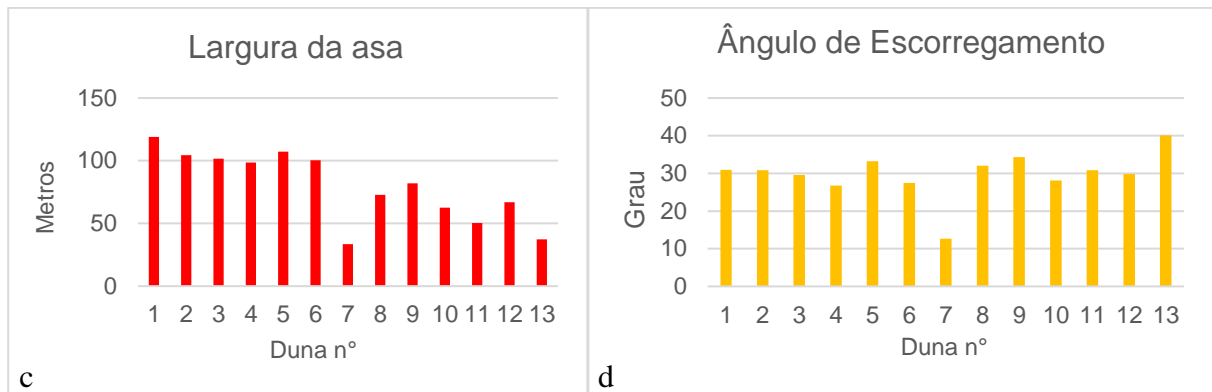


Figura 4: Resultados obtidos de forma gráfica. (a) Distribuição dos comprimentos (m) por duna analisada; (b) Distribuição das alturas (m) por duna; (c) Distribuição da largura de asa a asa (m) por duna; (d) Distribuição do ângulo (°) de escorregamento da sotavento por duna.

Outro dado possível de ser obtido em decorrência de sua formação é largura média entre asas de 80 m e ângulos de escorregamento de 30°. De acordo com Bagnold (1941), o ângulo de repouso da face de escorregamento na Terra é de 34°, portanto, o resultado obtido é conciso com literatura.

#### 4. CONCLUSÕES

A metodologia adotada para a análise morfométrica das dunas barcanas de Marte, apresentou-se efetiva na obtenção dos resultados. Portanto, a aplicação dessa metodologia pode ser aplicada em outras áreas de campos de dunas barcanas na superfície marciana, assim pode-se levantar dados que auxiliam posteriores inferências sobre os mecanismos de formação das dunas em Marte.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAGNOLD, R. A. **The physics of blown sand and desert dunes**. Londres: Methuen, 1941. p. 201-203.
- BOURKE, M. C., BALME, R. A., WILLIAMS, K. K., ZIMBELMAN, J. A comparison of methods used to estimate the height of sand dunes on Mars. **Geomorphology**, v. 81 (3) (4), 440-452, 2006.
- ELBELRHITI, H., HARGITAI, H. Barchan. In: Encyclopedia of Planetary Landforms. **Springer**, New York, 1 – 11, 2014.
- HESP, P. A., HASTINGS, K. 1998. Width, height and slope relationships and aerodynamic maintenance of barchans. **Geomorphology**, v. 22 (2), 193-204, 1998.
- ROBACK, K. P., RUNYOUN, K., NEWMAN, C., AVOUAC, J. P. Multi-year measurements of ripple and dune migration on Mars: Implications for the wind regime and sand transport. **Icarus**, v. 380, 2022.
- THE UNIVERSITY OF ARIZONA. **HiRISE**. About Us: Principal & Co-Investigators. Disponível em: <<https://www.uahirise.org/epo/about/>>. Acessado em 09 ago. 2023.