



**P**  
**ARA CONHECER**  
**A TERRA**  
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS  
DE GEOCIÊNCIAS  
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Lopes, F. C., Andrade, A. I.,  
Henriques, M. H., Quinta-Ferreira, M.,  
Barata, M. T. & Pena dos Reis, R.  
Coordenação

## SUPER-RESOLUÇÃO DE UMA REDE DE DRENAGEM EM TITÁ

### SUPER-RESOLUTION OF A DRAINAGE NETWORK IN TITAN

E. I. Alves<sup>1</sup>, A. I. Andrade<sup>2</sup> & M. T. Barata<sup>2</sup>

**Resumo** – As imagens com melhor resolução existentes da superfície de Titá foram adquiridas em 14 de Janeiro de 2005 na trajetória de pouso da sonda Huygens. Mostra-se aqui um aumento sintético da resolução de uma pequena rede de drenagem, baseado em duas imagens integradas num algoritmo de super-resolução.

**Palavras-chave** – Super-resolução; Titá; Detecção remota; Processamento de imagem; Geologia planetária

*Abstract* – The best Titan surface resolution images available were acquired on January 14, 2005, in the descent trajectory of the Huygens probe. This work shows a synthetic resolution enhancement of a small drainage network, based on two Huygens images integrated in a super-resolution algorithm.

*Keywords* – Super-resolution; Titan; remote sensing; Image processing; Planetary geology

#### 1 – Introdução

A missão *Cassini/Huygens* é um esforço conjunto da Administração Espacial Norte-Americana (NASA), da Agência Espacial Italiana (ASI) e da Agência Espacial Europeia (ESA). A finalidade desta missão é investigar Saturno e o seu sistema de satélites, principalmente o maior de todos, Titá.

Às 04:43 do dia 15 de Outubro de 1997, partia de Cabo Canaveral um foguetão *Titan IVB/Centaur*, transportando uma carga útil (“*payload*”) de 2500 kg: o satélite *Cassini*

---

<sup>1</sup> Centro de Geofísica, Instituto Geofísico e Dep. Ciências da Terra da Universidade de Coimbra: livo@ci.uc.pt

<sup>2</sup> Centro de Geofísica da Universidade de Coimbra: aandrade@ci.uc.pt; mtbarata@gmail.com

(2150 kg) e o módulo de pouso *Huygens* (350 kg). A fim de permitir transportar esta carga para a órbita de Saturno iria ser necessário recorrer às assistências gravitacionais, por ordem, de Vénus, da Lua, da Terra e de Júpiter (MATSON *et al.*, 2002).

Em 1 de Julho de 2004, a nave passou entre os anéis F e G de Saturno e inseriu-se na sua órbita nominal, tendo sido a primeira missão a orbitar Saturno. No dia 25 de Dezembro de 2004, o módulo *Huygens* separou-se do orbitador *Cassini*; em 14 de Janeiro de 2005, às 10:13 UTC, entrou na atmosfera, tendo pousado na superfície às 12:43 UTC. As imagens obtidas pelas câmaras da sonda *Huygens* encontram-se todas acessíveis em ESA (2005).

Estas imagens estão armazenadas em formato JPEG como um total de 367 tripletos, correspondentes às três câmaras do instrumento DISR (*Descent Imager/Spectral Radiometer*): horizontal de baixa resolução, 45° de média resolução e nadir com a resolução mais alta (TOMASKO *et al.*, 2002).

## 2 – Super-resolução

O termo “super-resolução” compreende um conjunto de técnicas concebidas para aumentar artificialmente a resolução das imagens de uma cena.

Os métodos de super-resolução são geralmente divididos em dois grupos: temporalmente invariantes e de variação temporal (PARK *et al.*, 2003).

O primeiro grupo inclui métodos para aumentar a resolução de uma única imagem. Em geral, eles podem ser considerados métodos de interpolação e, assim, a imagem final tem a mesma quantidade de informação que a imagem inicial. Todos os pacotes comerciais de processamento de imagem incluem métodos de interpolação, desde os mais simples (vizinho mais próximo, linear, bicúbica) até aos mais complexos e eficientes (splines, óndulas). Um dos últimos é a transformada de Lanczos que, entre outras vantagens, elimina os artefactos produzidos por algoritmos de compressão, como aqueles usados na produção de imagens nos formatos GIF, JPEG ou TIFF (DUCHON, 1979).

No segundo grupo encontram-se métodos que, utilizando a informação contida em várias imagens da mesma cena, tiradas em diferentes momentos, produzem uma imagem que contém mais informação que qualquer uma das originais. Dos vários métodos disponíveis, destaca-se o algoritmo de IRANI & PELEG (1991).

Este algoritmo é uma retropropagação de erros que, como habitualmente, requer um cuidadoso pré-processamento das imagens de entrada, como se verá no ponto seguinte.

O algoritmo de Irani e Peleg começa por criar um quadro hipotético de saída,  $T_0$ , e, com base em informação recolhida durante o processo de alinhamento (diferenças entre as imagens), cria um conjunto de imagens de entrada simuladas. Em seguida, os erros por pixel entre as imagens originais e simuladas são calculados, retropropagados e subtraídos de  $T_0$  dando origem a uma nova hipótese,  $T_1$ . Este processo é iterado  $n$  vezes para atingir uma imagem  $T_n$  cujo erro é arbitrariamente mínimo.

## 3 – Processamento de imagens *Huygens*

Para o presente trabalho escolhemos a bem conhecida cena de uma pequena rede de drenagem, baseada nos tripletos 541a e 553a (Fig. 1).

Recorde-se que, em virtude de as imagens serem recolhidas numa trajetória de descida, com o módulo *Huygens* em rotação, duas imagens sucessivas não têm a mesma escala nem a mesma resolução e nem a mesma iluminação (brilho/contraste), pelo que a super-resolução a partir de um qualquer conjunto requer um razoável pré-processamento.

Assim, as imagens da Fig. 1 foram extraídas (recortadas) dos respetivos tripletos e registadas de modo a serem sobreponíveis (Fig. 2).

Depois, as imagens da Fig. 2 sofreram o seguinte processamento:

a) A fim de homogeneizar as suas propriedades espectrais, os histogramas, inicialmente com distribuições lognormais assimétricas à esquerda, foram normalizados entre  $\mu - \sigma$  e  $\mu + \sigma$ ;

b) Os brilhos foram reduzidos em 50% e os contrastes aumentados em 50%;

c) A fim de eliminar artefactos introduzidos pela compressão JPEG e, ao mesmo tempo, para melhorar a acutância, as imagens foram convolidas com um núcleo composto de um delta de Dirac menos uma função gaussiana, com raio 0,6 pixels, num processo geralmente referido como “*unsharp masking*” (POLESEL *et al.*, 2000).

Este processamento produziu as imagens da Fig. 3.

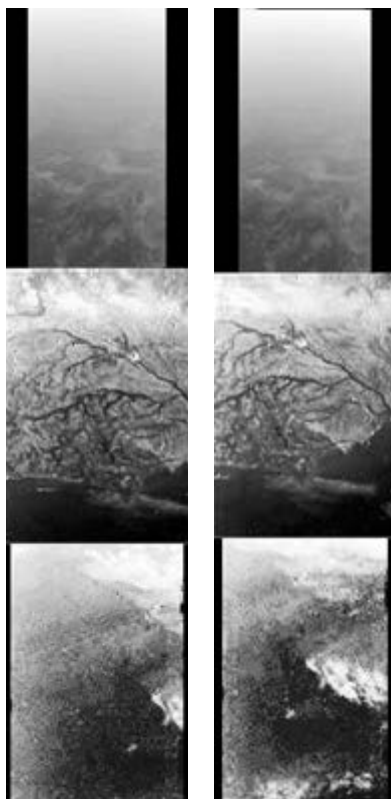


Fig. 1 – Os tripletos 541a, à esquerda, e 553a, à direita (ESA/NASA/JPL/University of Arizona).

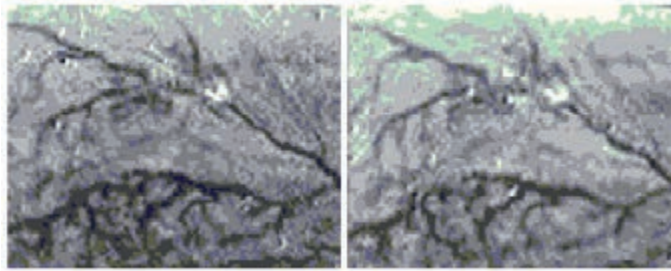


Fig. 2 – Imagens nadir da câmara DISR. À esquerda, do triplo 541a, original com 140 x 90 pixels; à direita, do triplo 553a, original com 120 x 80 pixels (ESA/NASA/JPL/University of Arizona).

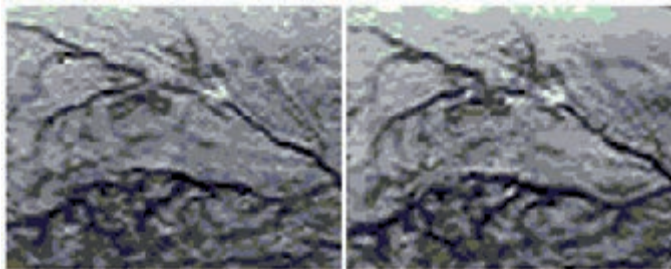


Fig. 3 – Resultado do pré-processamento das imagens da Fig. 2.

A Fig. 4 mostra a super-resolução, pelo algoritmo de IRANI & PELEG (1991), a partir das imagens da Fig. 1 processadas como referido acima. A comparação das imagens ao nível do pixel é esclarecedora, como se pode ver na Fig. 5.

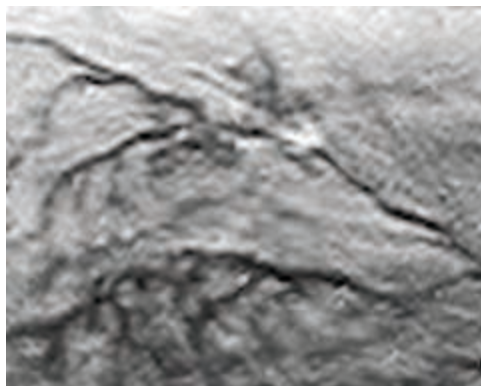


Fig. 4 – Imagem com quádrupla resolução, obtida a partir das imagens da Fig. 3, sem qualquer pós-processamento.

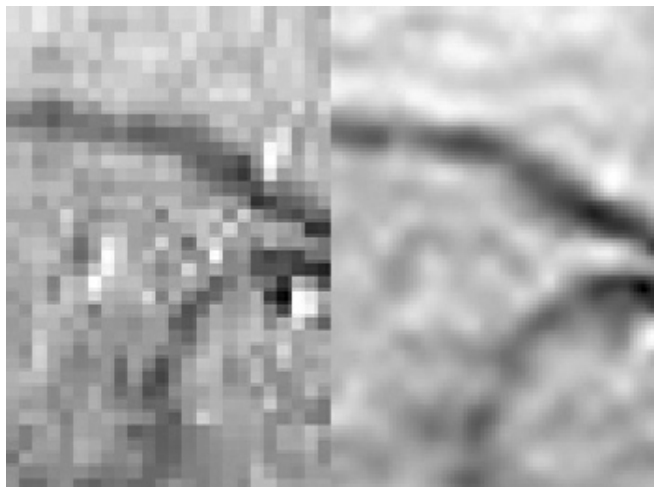


Fig. 5 – Comparação do canto noroeste na imagem 541a e na imagem super-resolvida.

#### 4 – Conclusões e trabalho futuro

Esta técnica vai permitir-nos ter um olhar mais próximo da superfície de Titã e pode ser facilmente estendida a imagens de outros planetas.

Além da super-resolução de imagens da descida da sonda *Huygens*, estamos a começar um trabalho semelhante nas imagens SAR da sua nave-mãe *Cassini* e de outras redes de drenagem, de modo a permitir a sua caracterização morfométrica e posterior comparação com análogos terrestres.

**Agradecimentos** – Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, ao abrigo do contrato PEst-OE/CTE/UI0611/2012 – Centro de Geofísica da Universidade de Coimbra (CGUC).

#### Referências Bibliográficas

- DUCHON, C. E. (1979) – Lanczos filtering in one and two dimensions. *Journal of Applied Meteorology*, 18, p. 1016–1022.
- ESA, EUROPEAN SPACE AGENCY (2005) – Raw images from the Huygens probe descent on 14 January 2005. <http://esamultimedia.esa.int/docs/titanraw/index.htm> (Consultado em 2012.01.28).
- IRANI, M. & PELEG, S. (1991) – Improving resolution by image registration. *Graphical Models and Image Processing*, 53, p. 231–239.
- MATSON, D. L., SPILKER, L. J. & LEBRETON, J.-P. (2002) – The Cassini/Huygens Mission to the Saturnian System. *Space Science Reviews*, 104, p. 1-58.

- PARK, S. C., PARK, M. K. & KANG., M. G. (2003) – Super-resolution image reconstruction: a technical overview, *IEEE Signal Processing Magazine*, 20, p. 21–36.
- POLESEL, A., RAMPONI, G. & MATHEWS, V. J. (2000) – Image Enhancement via Adaptive Unsharp Masking, *IEEE Transactions on Image Processing*, 9, p. 505-510.
- TOMASKO, M. G., BUCHHAUSER, D., BUSHROE, M., DAFOE, L. E., DOOSE, L. R., EIBL, A., FELLOWS, C., MCFARLANE, E., PROUT, G. M., PRINGLE, M. J., RIZK, B., SEE, C., SMITH, P. H. & TSETSENEKOS, K. (2002) – The Descent Imager/Spectral Radiometer (DISR) Experiment on the Huygens Entry Probe of Titan, *Space Science Reviews*, 104, p. 469–551.