

Modelação 3D de grutas

I. M. Silvestre¹, J. I. Rodrigues^{1,2}, M. Figueiredo^{1,2}, C. Veiga-Pires^{1,3}

¹Centro de Investigação Marinha e Ambiental – CIMA

²Instituto Superior de Engenharia – Universidade do Algarve

³Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade do Algarve

Resumo—A representação computacional de objetos espaciais complexos, como é o caso de grutas, possui variados campos de aplicações em domínios técnicos, científicos e artísticos. A construção destas representações envolve múltiplas tecnologias de aquisição e processamento de grandes conjuntos de dados.

O presente trabalho apresenta um caso prático de criação de um modelo 3D do interior da gruta *Algar do Penico* (Algarve, Portugal) a partir de um levantamento por *laser scanning terrestre* (LST), com objectivo de identificar e cartografar estruturas geomorfológicas.

Além do objectivo principal, a concepção de um modelo tridimensional permite reconstruir ambientes realistas para aplicações no domínio da criação artística, como por exemplo, animação 3D e Realidade Virtual.

Palavras chave—Grutas, Modelação 3D, MeshLab, Realidade Virtual

I. INTRODUÇÃO

No âmbito da conferência Artech'2012, o presente trabalho enquadra-se nos temas ambientes 3D e Realidade Virtual. O seu principal objetivo é a criação de um modelo 3D de uma gruta, que permita identificar e cartografar estruturas geomorfológicas no seu interior e a integração desta informação georreferenciada numa base de dados espaciais (de um Sistema de Informação Geográfica 3D – SIG3D). Para além deste objetivo específico, a representação computacional poderá ser utilizada na criação de cenários em ambientes virtuais que permitam a visualização e interação com o modelo 3D [1]. O modelo 3D final permite ainda um espaço de experimentação de Realidade Virtual de baixo custo, para visualização e interação com ambientes realistas.

A gruta selecionada é uma cavidade calcária conhecida por *Algar do Penico* localizada na região sul de Portugal (Algarve), a oeste da cidade de Loulé (Fig. 1.a). A gruta apresenta uma profundidade de cerca de 20 metros, com duas salas, cujo mapa se apresenta na Fig. 1.b. Para a reprodução digital, foi efetuado o levantamento de vários conjuntos de pontos por *laser scanning terrestre* (LST) no interior de cada uma das salas da gruta [2].

A representação computacional de superfícies é um problema amplamente estudado com uma vasta bibliografia de referência. Para representação computacional, estas superfícies são habitualmente aproximadas por

malhas poligonais. Uma malha poligonal é definida por uma coleção de faces, habitualmente triangulares ou quadrangulares, onde, nestes casos, cada face corresponde a um conjunto de 3 ou 4 vértices, respetivamente. A construção destas malhas pode ser obtida a partir de modelos de superfícies, objetos 3D ou a partir de nuvens de pontos. Como plataforma para a representação computacional da gruta selecionada foi utilizado o software *MeshLab* [3].

O software *MeshLab*, para além de funcionalidades de visualização e manipulação de largos conjuntos de pontos e malhas, inclui a implementação de dois algoritmos para criação de malhas triangulares, *Ball-pivoting* [4] e *Poisson surface reconstruction* [5]. Os resultados obtidos por cada um destes algoritmos é analisado mais adiante no presente trabalho.

Várias operações de processamento dos dados obtidos por LST foram realizadas usando algoritmos especificamente desenvolvidos pelos autores, implementados com recurso à linguagem *python*, nomeadamente, transformação de coordenadas para georeferenciação das diferentes nuvens de pontos e investigação de propriedades e características do parâmetro intensidade, com o objetivo de identificar diferentes estruturas no interior da gruta (e.g. figuras 2.b) e 3).

II. METODOLOGIA

Como referido na secção anterior, o interior das duas salas da gruta (Fig. 1.b) foi objeto de levantamento LST. O conjunto de pontos foi obtido para um espaçamento correspondente a 1 cm a 10 m do *laser scan*. Contudo, considerando a configuração e dimensão das salas e as várias localizações do *laser scan*, a equidistância efetiva é inferior a este valor (1 cm). Neste levantamento, cada ponto está representado por um conjunto de 4 parâmetros, coordenadas (x,y,z) e intensidade.

Após levantamento dos vários conjuntos de pontos, observados a partir de várias posições do *laser scan*, as respetivas coordenadas são transformadas para um sistema de referência global utilizando diversos pontos comuns. Com esta nuvem de pontos da sala 1 da gruta, elaboraram-se várias malhas triangulares utilizando os algoritmos *Ball-pivoting* e *Poisson surface reconstruction*, atrás referidos. As malhas obtidas pelo primeiro algoritmo (*Ball-pivoting*) apresentam os vértices das faces coincidentes com pontos do levantamento. A superfície obtida apresenta grande fragmentação, com elevado

Trabalho parcialmente suportado pelo projeto PTDC/AAC-CLI/100916/2008-SIPCLIP, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia

número de componentes desconexas. Este facto está associado à presença de *zonas de sombra* nas quais ou não existem pontos (levantados) ou a sua distância a pontos próximos é muito variável, já que os melhores resultados deste algoritmo ocorrem para conjuntos com distribuição uniforme. A redução de zonas de sombra é à priori possível com o aumento do número de estações (pontos de posicionamento) do *laser scan*, contudo, devido às características físicas da gruta, com a atual tecnologia, tal solução será difícil (senão impossível) de implementar na prática.

As malhas triangulares obtidas pelo segundo (*Poisson surface reconstruction*), pelo contrário, apresentam superfície contínuas, com nível de detalhe variável associado aos valores do parâmetro *octree depth*. Ainda que esteja fora do escopo deste trabalho uma análise aprofundada do algoritmo, é útil notar que os vértices das faces destas malhas não coincidem com os pontos do levantamento. A metodologia de geração das faces, associada mas não vinculada à posição dos pontos do levantamento, permite produzir vértices mesmo em *zonas de sombra*, por interpolação, produzindo superfícies contínuas, visualmente mais agradáveis e topologicamente mais realistas. Sendo por estes aspetos o algoritmo adotado no presente trabalho para a geração dos modelos computacionais da gruta.

De acordo com Pesci e Teza, a intensidade é um parâmetro que varia de acordo com o ângulo de incidência, com a irregularidade da superfície e com a refletância da matéria que compõe os alvos [6]. O que nos leva a considerar a intensidade como um importante parâmetro para o reconhecimento de estruturas no interior da gruta.

Explorando os valores e variações do parâmetro intensidade foram efetuados ensaios de atribuição de escalas de falsa cor aos vértices e faces das malhas poligonais produzidas. Estas atribuições permitem a identificação visual de estruturas no interior da gruta, como se pode constatar na Fig. 2.b. Nesta figura, à esquerda pode-se observar a imagem fotográfica de uma estrutura geomorfológica que inclui estalagmites e estalactites que facilmente se reconhece no modelo à direita (Fig. 2.b). A atribuição da cor azul aos valores mais elevados do parâmetro intensidade permite colocar em evidência os alvos artificiais colocados no interior da gruta (para operações de transformações de coordenadas entre os conjuntos de pontos levantados de diferentes posicionamentos do *laser scan*). Um destes alvos pode ser encontrado à esquerda na Fig. 2.b. O alvo corresponde à coroa circular azul.

A Fig. 3 apresenta várias imagens de parte da estrutura geológica atrás referida. Nomeadamente, a Fig. 2.a mostra a nuvem de pontos obtida por LST e a Fig. 2.b uma malha triangular produzida no *MeshLab* com o algoritmo de *Poisson*. Sobre esta malha foi feita uma aplicação de uma escala de falsa cor, com as tonalidades de vermelho associadas a menores valores de intensidade e as verde a maiores valores do parâmetro intensidade.

III. RESULTADOS E CONCLUSÕES

As malhas obtidas pelo algoritmo *Ball-pivoting* à priori apresentam um maior rigor posicional, dado que os vértices das suas faces (triangulares) coincidem com pontos da superfície da gruta. Contudo, a superfície obtida apresenta muitas descontinuidades que resultam da existência de *zonas de sombra* devidas à acentuada irregularidade das superfícies do interior da gruta. Em certas condições, estas zonas de sombra poderão ser minimizadas ou mesmo eliminadas aumentando o número de estações do *laser scan*. Contudo, pelas características físicas da gruta *Algar do Penico*, com a atual tecnologia, tal solução não é exequível. No presente trabalho, o levantamento do interior da sala 1 desta gruta, com cerca de 45 milhões de pontos observados, foi efetuado a partir de três estacionamentos do *laser scan*. O algoritmo *Poisson surface reconstruction*, produzindo malhas triangulares a partir de vértices obtidos por interpolação, permite produzir superfícies contínuas e suavizadas, com aspeto visual mais agradável. Aspeto que motiva a adoção deste método para a produção de representações computacionais da gruta.

Para aplicações no domínio das artes ou para simulações de cenários em ambientes de Realidade Virtual, os modelos 3D da gruta produzidos com *MeshLab* poderão ser manipulados em outras plataformas (e.g. *Blender*, *OpenSceneGraph*).

O modelo da gruta *Algar do Penico* poderá ainda ser visualizado em páginas web, em ambiente interativo¹, aproveitando a livreria X3Dom [7] [8] e a linguagem HTML5 para estruturação e apresentação de conteúdo para a *World Wide Web*.

A portabilidade dos modelos entre as diferentes plataformas é assegurada de forma fácil através de formatos de dados de domínio público (e.g. PLY - *Polygon File Format* ou *Stanford Triangle Format*), quando os softwares apresentem funcionalidades de leitura destes formatos, como os referidos anteriormente.

REFERÊNCIAS

- [1] A. M. B. Pucci, "Olerdola's cave, catalonia: a virtual reality reconstruction from terrestrial laser scanner and gis data," *International archives of photogrammetry and remote sensing*, vol. 38, no. 5/W1, 2009.
- [2] J. L. Lerma, S. Navarro, M. Cabrelles, and V. Villaverde, "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*, vol. 37, no. 3, pp. 499 – 507, 2010.
- [3] P. Cignoni, M. Callieri, M. Corsini, M. Dellepiane, F. Ganovelli, and G. Ranzuglia, "Meshlab: an open-source mesh processing tool.," in *Eurographics Italian Chapter Conference* (V. Scarano, R. De Chiara, and U. Erra, eds.), pp. 129–136, Eurographics, 2008.
- [4] F. Bernardini, J. Mittleman, H. Rushmeier, C. Silva, and G. Taubin, "The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 5, pp. 349–359, 1999.
- [5] M. M. Kazhdan, M. Bolitho, and H. Hoppe, "Poisson surface reconstruction.," in *Symposium on Geometry Processing* (A. Sheffer and K. Polthier, eds.), vol. 256 of *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 61–70, Eurographics Association, 2006.

¹<http://193.136.227.170/sipclip>

- [6] A. Pesci and G. Teza, "Effects of surface irregularities on intensity data from laser scanning: an experimental approach.," *Annals of Geophysics*, 2008.
- [7] J. Behr, P. Eschler, Y. Jung, and M. Zöllner, "X3dom: a dom-based html5/x3d integration model.," in *Web3D* (S. N. Spencer, D. W. Fellner, J. Behr, and K. Walczak, eds.), pp. 127–135, ACM, 2009.
- [8] A. Guarnieri, F. Pirotti, and A. Vettore, "Cultural heritage interactive 3d models on the web: An approach using open source and free software," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11, no. 3, pp. 350 – 353, 2010.

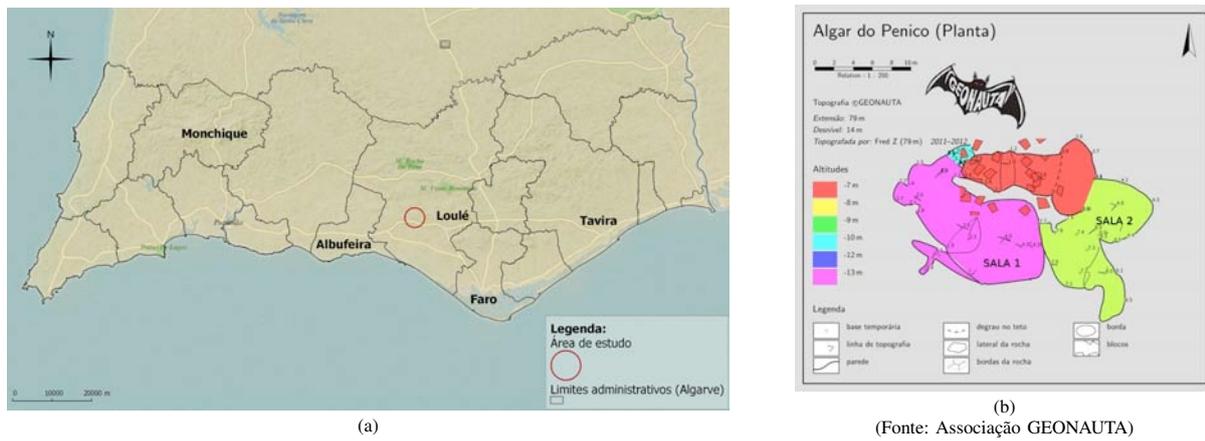


Figura 1. Gruta Algar do Penico. Localização (a) e planta esquemática (b).

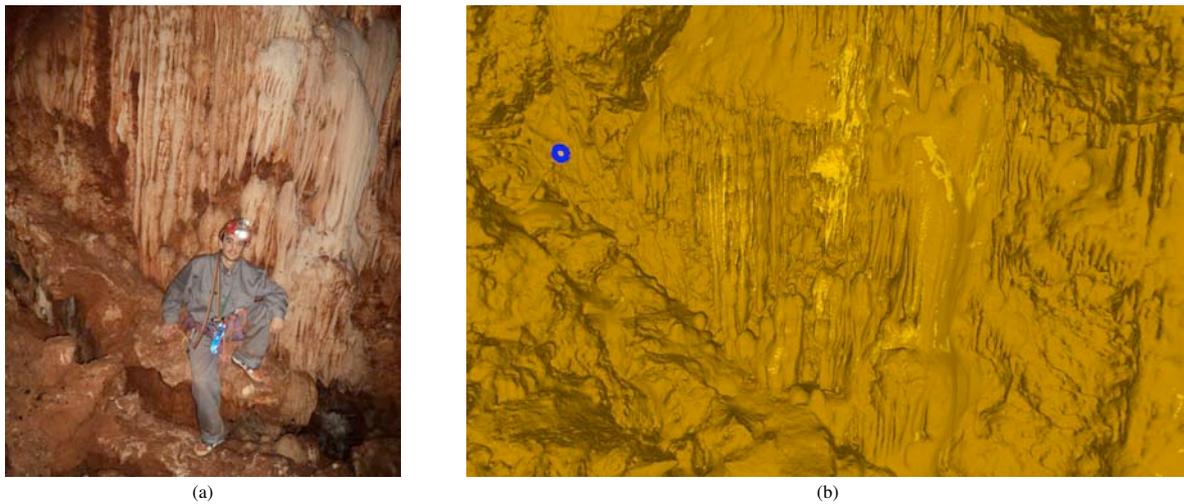


Figura 2. Fotografia (a) e modelo 3D do interior da gruta com aplicação de falsa cor (b).

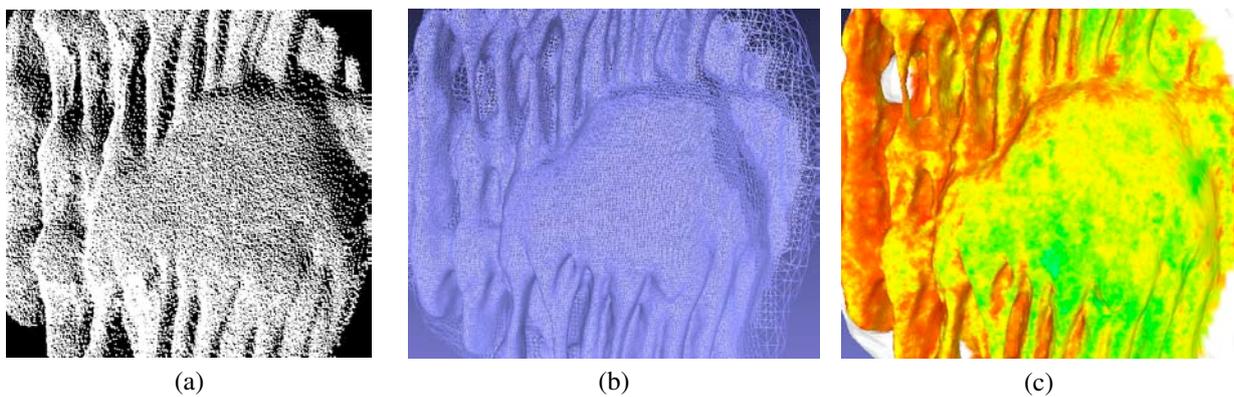


Figura 3. Pormenor de estrutura no interior da gruta. Nuvem de pontos (a), malha triangular (b) e escala de falsa cor com tonalidades entre vermelho e verde, para crescentes valores de intensidade (c).

6th International Conference on Digital Arts

Teresa Chambel, Alberto García Ariza, Gavin Perin
Mírian Tavares, José Bidarra, Mauro Figueiredo (Eds.)

November 7–9, 2012
Faro, Portugal