

***Laser Scanning 3D: Nuvens de pontos como documentação primária do património
– o caso da Torre do Castelo de Mota del Marqués em Valladolid –***

Luís Miguel Cotrim MATEUS, Licenciado, Assistente da F.A.U.T.L., lmateus@fa.utl.pt

Juan José Fernández MARTÍN, Doutor, Professor da E.T.S.A.-UVA ⁽¹⁾, Director L.F.A.-UVA ⁽²⁾, juanjo@ega.uva.es

José Martínez RÚBIO, Licenciado, L.F.A.- UVA ⁽²⁾, jmr@ega.uva.es

Jesús San José ALONSO, Doutor, Professor da E.T.S.A.-UVA ⁽¹⁾, L.F.A.-UVA ⁽²⁾, jesusanjose@ono.com

⁽¹⁾ Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid

⁽²⁾ Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica de la ETSA-UVA

Abstract:

Neste relatório pretende-se descrever uma aplicação da tecnologia de *Laser Scanning* 3D (em português poderá adoptar-se a designação de tecnologia de Varrimento Laser 3D – VL3D) à documentação do património. O caso de estudo é a Ruína da Torre do Castelo de Mota del Marqués na província de Valladolid. Esta documentação foi parcialmente produzida no âmbito de uma acção de formação incluída no Projecto FCT: PTDC/AUR/ 66476/2006 “Contributos para o projecto de conservação do Património Arquitectónico: Metodologia documental baseada na fotogrametria digital e na digitalização laser 3D terrestres”. Teve lugar no Laboratório de Fotogrametria da Universidade de Valladolid entre os dias 8 e 20 de Março de 2008.

Neste caso as nuvens de pontos com a informação radiométrica aplicada constituíram a documentação base. Descrever-se-á o *workflow*, desde a aquisição de dados em campo até à produção dos elementos gráficos finais. Nesta descrição far-se-á referência aos *softwares* utilizados, em particular aos que foram desenvolvidos pela Universidade de Valladolid.

Palavras chave: *Laser Scanning* 3D (VL3D), Documentação do património, nuvens de pontos, UVACad.

1. Introdução

O Castelo de Mota del Marqués, na província de Valladolid em Espanha, está situado sobre uma elevação dominando a aldeia com o mesmo nome [1]. Esta foi outrora uma cidade amuralhada. Encontra-se hoje em dia em estado de ruína restando apenas parte da torre de menagem e vestígios da muralha. Este estado de conservação decorreu da destruição a que foi sujeito aquando das invasões

Francesas de 1810. A Torre de menagem destaca-se pela sua invulgar planta circular, que é única em toda a Castela [2].

Pelo seu valor histórico e patrimonial, entendeu-se necessário proceder a um registo gráfico da sua situação actual que sirva para documentar o estado de conservação em que se encontra e que sirva como base para planeamento de intervenções futuras.

Na altura de documentar graficamente há sempre, pelo menos em teoria, muitas abordagens possíveis. Estas encontram-se no vasto intervalo que vai desde o levantamento manual clássico até aos métodos mais sofisticados de posicionamento por GPS. Também é facto que na maior parte dos casos uma abordagem única, no que respeita à escolha das técnicas a utilizar, não produzirá os resultados desejáveis.

Devido à sua localização, dimensões e estado de conservação, optou-se por efectuar a documentação recorrendo à tecnologia de VL3D articulada com a fotogrametria. Esta apresenta a vantagem evidente de ser a que permite uma maior e mais precisa recolha de dados e processamento de informação num mais curto intervalo de tempo. Foi utilizado um *scanner* 3D de tempo de voo da marca Optech e modelo Ilris3D. Para a recolha fotográfica foi utilizada uma câmara digital Olympus E-500 com sensor de 8Mp.

2. Principio de funcionamento de um *scanner laser* 3D

Não existe apenas uma tecnologia de VL3D. Por um lado podemos dividi-la em aérea (Lidar) e terrestre, consoante seja aplicada a partir de uma plataforma aérea em movimento (por exemplo um avião) ou aplicada a partir de uma plataforma imóvel situada ao nível do chão (por exemplo sobre um tripé). Esta é uma divisão muito geral e na verdade as fronteiras não são assim tão nítidas. Para efeitos da nossa exposição interessa-nos considerar apenas o caso terrestre.

Um *scanner laser* 3D pode ser sumariamente descrito como um instrumento que utiliza a luz laser para medir as coordenadas tridimensionais de um objecto ou conjunto de objectos de forma automática, numa ordem sistemática e com uma cadência regular muito elevada, quase em tempo real [MB06].

Podemos, de um modo geral, subdividir as tecnologias VL3D terrestres em três grupos:

- A tecnologia de tempo de voo (TOF – do inglês Time of Flight)
- A tecnologia de comparação de fase
- A tecnologia de triangulação óptica

Em qualquer dos casos trata-se de tecnologia activa (os instrumentos recebem luz que emitem), em que há luz *laser* que é emitida pelos dispositivos, reflectida pelas superfícies a registar e recebida de novo pelos dispositivos, que opera de acordo com os princípios da detecção remota.

Os sistemas de tempo de voo baseiam-se na medição do tempo de ida e volta de impulsos discretos de luz *laser*. Conhecendo a velocidade de propagação da luz é possível estimar a distância do instrumento ao ponto de onde foi reflectida a luz.

Nos sistemas de comparação de fase a emissão de laser é contínua e a medição das distâncias é feita através das diferenças de fase entre os sinais emitidos e recebidos. Uma vez que se trata de um processo contínuo, este tipo de *scanners* consegue ser mais rápido que os de tempo de voo.

Os sistemas de triangulação óptica baseiam a medição das distâncias na triangulação da posição do ponto em que o laser é reflectido. No *scanner*, os dispositivos de emissão e recepção do laser encontram-se separados por uma distância designada base. Com esta distância e com os ângulos de emissão e recepção do *laser* é possível determinar um triângulo em que o vértice oposto à base corresponde ao ponto a medir.

As coordenadas dos pontos ficam registadas através de uma distância e dos ângulos azimutal e zenital da linha percorrida pelo impulso de luz. Estas podem ser automaticamente convertidas em coordenadas rectangulares.

Dependendo das marcas e dos fabricantes, estes equipamentos podem ter campos de visão piramidais, cilíndricos ou esféricos.

O resultado da aquisição de dados por *scanner laser* 3D posicionado numa única estação é o que se designa por nuvem de pontos. Uma única nuvem de pontos pode ter desde milhares de pontos, até milhões de pontos.

Por ordem decrescente relativamente às distâncias a que podem operar dos objectos a registar temos: tempo de voo (até 1000m), comparação de fase (até 100m), triangulação (até 5m) [FM08].

Cada nuvem de pontos está posicionada num referencial em que a origem corresponde ao ponto de estação do equipamento laser.

3. Planeamento e Aquisição dos dados em campo

Independentemente da técnica a utilizar, a primeira etapa de um trabalho de levantamento passa pelo planeamento. Aqui tem de se equacionar o tipo de informação que se pretende obter com os meios disponíveis para a conseguir. Neste caso a informação básica que se pretendia obter era um conjunto de representações planimétricas (plantas, cortes e alçados) da torre do castelo, com a cor associada, e do seu enquadramento na topografia.

Os dados a recolher em campo são de dois tipos: (i) dados posicionais, isto é, as coordenadas tridimensionais de pontos da torre, e (ii) dados radiométricos, isto é, informação sobre a cor da torre.

A torre encontra-se implantada no alto de um monte à volta do qual existe um caminho. Para proceder a um varrimento completo do exterior da torre e de algumas partes interiores foram consideradas 49 estações distribuídas ao longo desse caminho. Consideraram-se ainda mais 2 estações directamente sob a torre para capturar o seu interior.

Em cada uma dessas estações é feita a recolha dos dois tipos de dados, posicionais e radiométricos.

Os dados posicionais foram obtidos recorrendo a um *scanner* de tempo de voo da marca Optech (figura 1). Os dados radiométricos foram obtidos recorrendo a uma câmara digital Olympus E-500.

Como este scanner tem um campo de visão piramidal, e como em alguns casos interessava recolher informação panorâmica, numa mesma estação podem ter sido feitas mais que uma recolha de dados posicionais rodando o scanner.

Do mesmo ponto de vista do scanner foram recolhidas imagens fotográficas. As imagens foram recolhidas do mesmo ponto de vista, embora em teoria não tenham de o ser, para minimizar o efeito de paralaxe entre os pontos de vista da câmara e do *scanner*.



Figura 1: *Recolha de dados com o scanner laser 3D*

4. Processamento dos dados em gabinete

O primeiro passo do trabalho de gabinete consiste em descarregar os dados de campo.

De seguida os dados são processados recorrendo a várias ferramentas de *software*. Neste caso foram utilizadas as seguintes ferramentas de *software* que a seguir se enquadram no processo: Parser, PifEdit, Polyworks, UVACad, AutoCAD, PTGui.

Os dados em bruto do *scanner laser 3D* são um conjunto de nuvens de pontos, num formato nativo da marca de *scanner* utilizada. No essencial um ficheiro de nuvem de pontos é uma sequência de valores

numéricos que representam as coordenadas 3D de pontos e os valores da intensidade da recolha dos sinais luminosos reflectidos pelo objecto em cada ponto (reflectância).

Os ficheiros nativos de nuvens de pontos apresentam um formato próprio da marca do *scanner*, o formato *.i3d. Os ficheiros com o formato *.i3d não podem ser directamente utilizados pelo *software* que realiza as operações de registo das nuvens de pontos, o *software* Polyworks. Para os tornar em ficheiros legíveis por aquele *software* utilizou-se o *software* Parser. Com esta ferramenta, cada ficheiro de formato *.i3d é convertido em três ficheiros: (i) ficheiro de nuvens de pontos em formato *.pf. (figura 2), (ii) ficheiro de metadados relativos à nuvem de pontos em formato *.txt (figura 3), e (iii) ficheiro de imagem de formato *.bmp em tons de cinza (figura 4).

```

Decode Software Version: 3.1.1

=====
Image Information:
=====
Name of 3d image file: M:\mota del marques\i3d\luis3.i3d
Size of input file: 13059KB
Meta header version: 2
Unit title: ILRIS-3D
Unit serial number: SN010180
Unit software version: 3.1.3
System palm ID: GENERAL
Time stamp: 03/11/2008 10:56
Horizontal angle: 50
Vertical angle: 50
Image type: BMP
Number of scan blocks: 1
Number of scan loops: 0
Input total shots: 1267736
Output total shots: 1267736

=====
Operator Log:
=====

Block Header Info:
=====
Scan Block No.1:
Input: Number of shots: 1267736
      Number of rows: 1250
      Number of columns: 1015
      Pulse mode: First Pulse
      Shot type: I3D
      Pattern type: Step Stare
      Box ID: 1
      Start position: Lower Left
      Loop number: 0x01
      Average range: 51.65m
      Step stare info:
      X spot spacing(mm/integer): 19mm/(14)
      Y spot spacing(mm/integer): 19mm/(14)
      Orientation: Horizontal
Output: Number of shots: 1267736
      Number of rows: 1250
      Number of columns: 1015
      Number of outliers removed: 2294

Parser Settings Info:
=====
Output File Name: M:\mota del marques\i3d\luis3.pf
Output File Type: pf
Range Gate: 0.000m to 2000.000m
Intensity Gate: 0 to 255
Reduction Factor: 1
Shot Data is Trimmed: No
Intensity is output: Yes
Keep Saturated Readings: Yes
Keep Dropout Readings: Yes
Shot Number is Reordered: No
Outliers are Removed: Yes
BMP file is generated: Yes
    
```

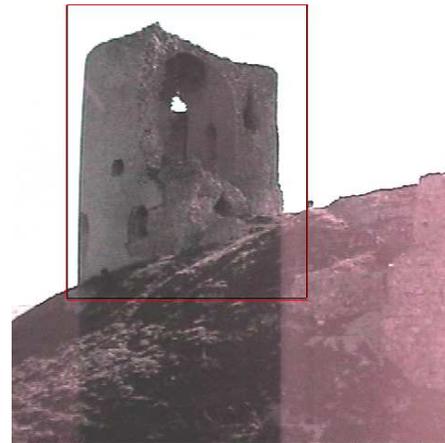


Figura 3: Imagem associada a nuvem de pontos

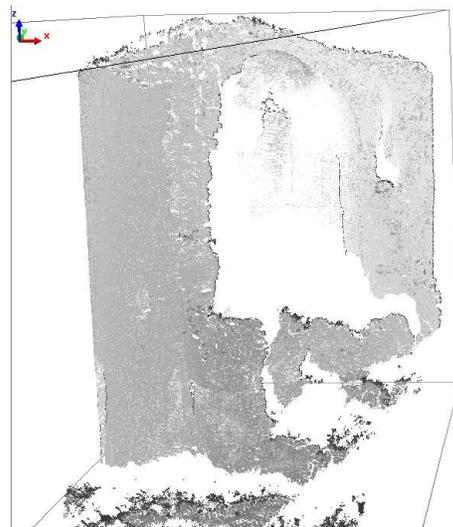


Figura 2: Metadados de nuvem de pontos **Figura 4:** Nuvem de pontos no formato *.pf

É normal que cada nuvem de pontos apresente alguma informação residual resultante de falhas na leitura ou de outro tipo de perturbações. Na prática esta informação são pontos que não têm correspondência no objecto ou que, correspondendo, se consideram desprezáveis por alguma razão. Por conseguinte devem ser apagados. Para realizar esta primeira operação, editam-se os ficheiros de formato *.pf com o *software* PifEdit.

4.1 Registo das nuvens de pontos

O passo seguinte do *workflow* é o registo das nuvens de pontos. Esta operação consiste em colocar todas as nuvens de pontos num referencial único formando um modelo de pontos do objecto coerente, e realizou-se com o *software* Polyworks. Na prática, o referencial de uma das nuvens de pontos é considerado como o referencial relativamente ao qual se irão posicionar as restantes nuvens de pontos. Existem quatro métodos para realizar esta operação [MB06]. No presente caso considerou-se apenas o recurso ao algoritmo ICP (*Iterative Closest Point*) de correspondência de superfícies após orientação manual. Depois desta operação de registo concluída, a cada ficheiro de nuvem de pontos com o formato *.pf fica associada uma matriz quadrada de ordem 4 que traduz a posição daquela nuvem de pontos (3 translações em x, y e z; e 3 rotações em torno de x, em torno de y rodado, e em torno de z rodado pela segunda vez) . Esta matriz pode ser exportada sob a forma de um ficheiro de texto e pode ser utilizada para futuras operações de manipulação posicional da nuvem de pontos.

4.2 Mapeamento da cor das nuvens de pontos

Paralelamente faz-se o tratamento das imagens fotográficas. Em alguns casos uma única imagem corresponde a uma nuvem de pontos. Noutros casos múltiplas imagens correspondem a uma nuvem de pontos (figuras 5 e 7). Nesta última situação é necessário editar as múltiplas imagens e construir com elas uma vista panorâmica que constituirá a nova imagem que corresponde à nuvem de pontos (figura 6). Note-se que para o efeito, as imagens têm de ser adquiridas a partir de um ponto de vista comum que é também o ponto de vista do *scanner laser*. Para proceder a esta tarefa utilizou-se o *software* PTGui.



Figura 5: *Conjunto de imagens fotográficas isoladas tiradas do mesmo ponto de vista do Scanner 3D relativo à nuvem de pontos 05*



Figura 6: *Imagem panorâmica produzida com o software PTGui correspondente à nuvem de pontos 05.*

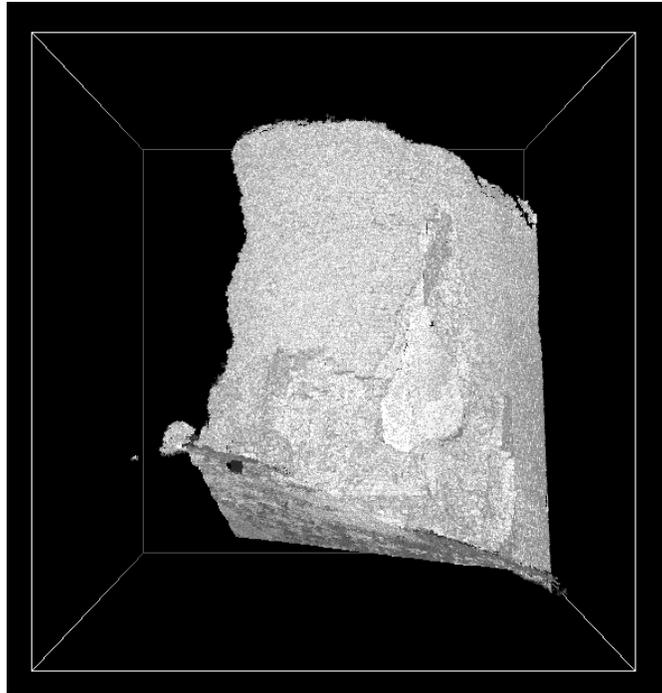


Figura 7: Imagem da nuvem de pontos 05.

Depois de se terem as imagens correspondentes às nuvens de pontos, o passo seguinte consiste em atribuir aos pontos das nuvens de pontos os valores de RGB dos pontos homólogos das imagens (figura 8). Esta operação é realizada nuvem a nuvem. Para a levar a cabo utilizou-se o *software* UVACad. Este foi concebido pela Universidade de Valladolid com a colaboração entre o Laboratório de Fotogrametria e a Faculdade de Engenharia Informática da mesma universidade. Para que o *software* UVACad possa ler as nuvens de pontos é necessário exportá-las a partir do formato *.pf para um formato ASCII.xyz. Neste, cada ponto tem originalmente associado um valor de cinza correspondente à intensidade do retorno do sinal *laser*, que é função da reflectividade do material face ao comprimento de onda da luz *laser*, da distância do *scanner* ao objecto, e da inclinação da direcção do feixe de *laser* em relação à superfície em que incide.

Como resultado desta operação cada nuvem de pontos é agora uma listagem de valores numéricos em que estão representadas as coordenadas dos pontos bem como os valores de RGB de cada ponto. O resultado pode ser guardado com um formato binário próprio do *software* UVACad, o formato *.uvc, ou pode ser exportado para o formato *.pf. Com efeito, para o passo seguinte foi este último formato que nos interessou.

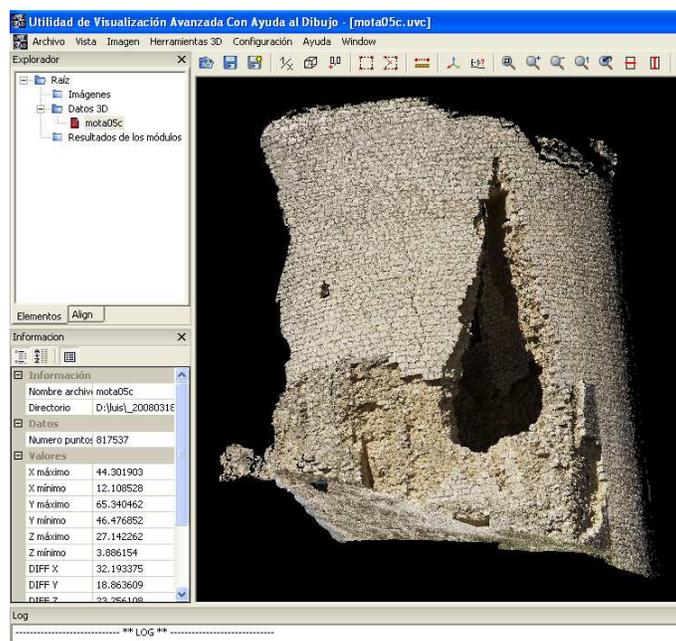


Figura 8: Imagem da nuvem de pontos 05 com a cor aplicada – software UVACad.

Nesta fase do processo têm-se por uma lado as matrizes de posição de cada nuvem de pontos e paralelamente as nuvens de pontos com os valores de RGB associados. O passo seguinte consiste em posicionar espacialmente as nuvens de pontos que têm a cor associada. Esta operação consiste em associar as matrizes de posição, previamente determinadas, aos ficheiros de nuvens de pontos com a informação RGB associada. Para a realizar utilizou-se o *software* polyworks. O resultado foi guardado em dois formatos, o formato *.pf e o formato *.xyz. Os ficheiros com o primeiro formato podem seguir sendo manipulados pelo *software* Polyworks enquanto que os ficheiros com o formato *.xyz foram importados pelo *software* UVACad para posteriores manipulações.

A partir das nuvens de pontos, com o Polyworks pode-se: produzir modelos triangulados, efectuar secções planas, preencher vazios nos modelos triangulados, modelar com *nurbs*, sólidos e superfícies.

Com o UVACad podem-se fazer reamostragens de nuvens de pontos, concatenação de nuvens de pontos, exportação de orto-imagens, processamento de imagens. Também é possível exportar os resultados para formatos que possam ser editados com outras ferramentas. Por exemplo, é possível exportar nuvens de pontos para o formato *.DXF de modo a serem importadas pelo AutoCAD, e também possível exportar imagens em formatos correntes como *.bmp ou *.jpg.

4.3. Produção da informação final

Para a produção da documentação final, as nuvens de pontos são manipuladas da forma mais conveniente. São produzidas, com o UVACad, novas nuvens de pontos em função dos elementos

gráficos a obter: plantas, cortes, alçados. Destas extraem-se as linhas de secção bem como as imagens que são associadas aos desenhos a produzir. Optou-se por desenhar as linhas de secção manualmente no AutoCAD, embora se pudessem obter automaticamente com outras ferramentas, por se entender que esta operação deve comportar um entendimento e uma interpretação sobre o objecto arquitectónico que de outro modo não seria realizada, ou mais dificilmente o seria. Quanto às imagens, dependendo da escala pretendida é otimizada a relação entre o número de *pixels* de imagem e a correspondente área no objecto que estes representam. Assim, uma imagem poderá ser suficiente ou poderá ter de se recorrer a um mosaico de imagens para documentar determinada área do objecto arquitectónico. Esta obrigação deriva de limitações de *software* e *hardware* com capacidade para processar toda a informação relativa a uma determinada área, por exemplo num alçado. Também aqui há considerações importantes a fazer no que diz respeito à escala de saída que se pretende para o produto. Considerando que a capacidade de resolução do olho humano é de 10 pl/mm (pares de linhas por milímetro) a uma distância de aproximadamente 50cm do objecto observado [T08], e considerando que na maior parte dos casos os desenhos são feitos para imprimir, deve colocar-se a questão: Existe informação para suportar o nível de detalhe na escala de saída da informação?

De seguida as nuvens de pontos podem ser seccionadas, decimadas, e orientadas de acordo com a documentação a produzir. Dada a densidade de pontos que se conseguiu obter, e tendo em conta a questão previamente colocada, foi possível produzir imagens a partir dos pontos coloridos de modo a que tenham uma resolução próximo da escala 1/50.

As imagens são inseridas no AutoCAD e combinadas com desenho vectorial dando origem às representações planimétricas e altimétricas pretendidas (plantas, cortes e alçados). Na figura 9 apresenta-se o exemplo de um alçado.

Deve notar-se que, embora no presente caso se pretendesse apenas derivar informação 2D, também é possível obter dados 3D como por exemplo modelos de realidade virtual.

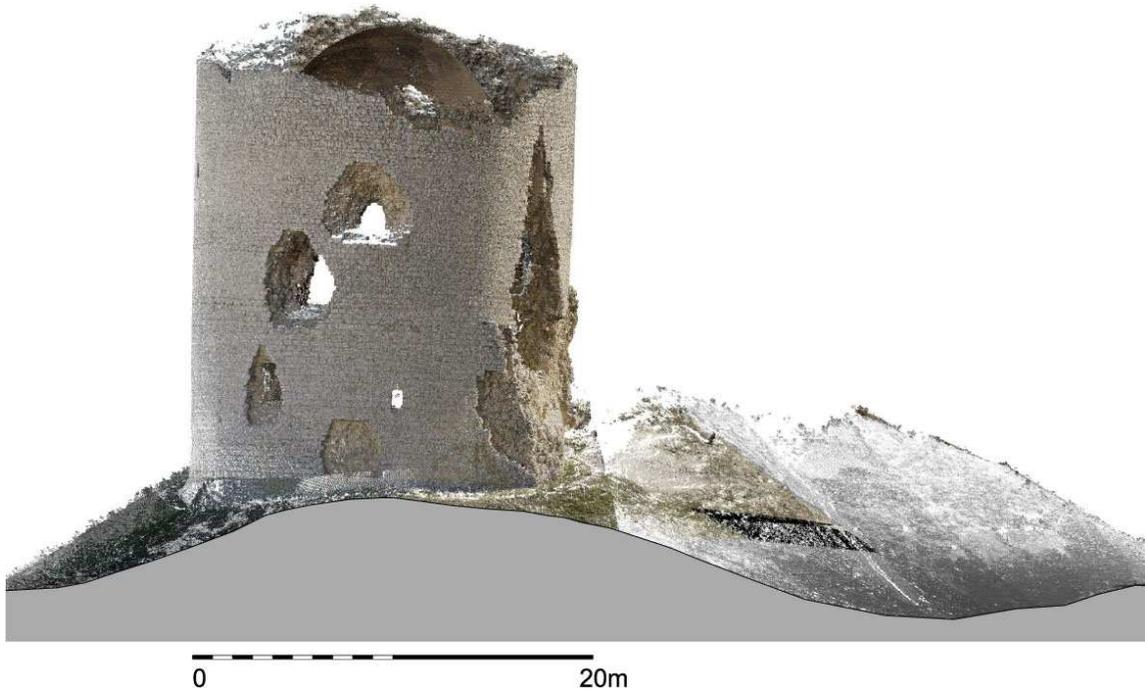


Figura 9: *Alçado da Torre do Castelo.*

5. Conclusões

Foi apresentada uma metodologia para a produção de informação 2D a partir de nuvens de pontos. Nesta metodologia procura-se evitar o processamento das nuvens de pontos de modo a gerar qualquer tipo de malhas. Toda a manipulação de informação é feita sobre os pontos e destes se deriva directamente todos os elementos gráficos, sejam vectoriais ou imagens.

A metodologia apresenta vantagens e inconvenientes.

Como vantagens nota-se que:

- Não há geometria interpolada (não há malhas triangulares ou de outro tipo).
- A interpretação ao desenhar não é feita sobre uma geometria processada considerando-se, por isso, que é mais próxima do objecto.

Como inconvenientes nota-se que:

- A densidade de pontos não permite escalas muito grandes (usualmente adoptam-se escalas de 1/10 a 1/100).
- O processo manual de desenho de secções a partir dos pontos é moroso.

A metodologia para produção de informação 2D é eficaz embora não seja única.

É possível utilizar modelos triangulados para tirar maior partido da informação radiométrica (cor) disponível e é também possível proceder às operações de seccionamento de modo automático o que diminui o tempo de operador.

Observa-se como facto muito positivo e interessante a utilização, pelo menos parcial, de ferramentas informáticas desenvolvidas em contexto académico, o que permite ter alguma independência de softwares comerciais.

Referências:

[1] CastillosNet: <http://www.castillosnet.org/programs/castillosnet.php?tip=inf&dat=valladolid/VA-CAS-013>, disponível em 2008/09/10

[2] Mota del Marqués: <http://centros4.pntic.mec.es/cp.la.besana/mota.htm>, disponível em 2008/09/10

[FM08] FROHLICH C., METTENLEITER M.: Terrestrial Laser Scanning – New perspectives in 3D surveying, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI - 8/W2, 2008

[Kra07] KRAUS K.: *Photogrammetry – Geometry from Images and laser scans*, de Gruyter, 2007

[MB06] MILLS J., BARBER D.: *An addendum to the metric survey specifications for English heritage – The collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or other methods*, English Heritage, 2006

[T08] TRIGO T.: Imagens e percepção visual, <http://www.fullframe.com.br/artigos/thales03.html>, disponível em 2008/09/10