



Modelação 3D da deformação da barragem do Cabril recorrendo a Sistemas de Varrimento Laser Terrestre

Bruno BAETA ¹, Gil GONÇALVES ^{1,2} e António BERBERAN ³

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra

² Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Coimbra

³ Consultor de modelação e monitorização - Lisboa

([1 baetabruno@gmail.com](mailto:baetabruno@gmail.com); [1,2 gil@mat.uc.pt](mailto:gil@mat.uc.pt); [3 berberan@epoch-suite.com](mailto:berberan@epoch-suite.com))

Palavras-chave: Barragens de Betão, Deformação, Sistemas de Varrimento Laser Terrestre, Modelação 3D, Modelo Digital de Superfície

Resumo: A monitorização das barragens de betão é obrigatória e fundamental na avaliação das condições de segurança estrutural e na ampliação do conhecimento sobre o comportamento estrutural deste tipo de obras. Monitorizar estas barragens envolve várias actividades, nomeadamente a caracterização geométrica da deformação.

Os métodos tradicionais para monitorização geométrica deste tipo de estruturas assentam na observação de um pequeno número de pontos que foram materializados e considerados representativos do comportamento estrutural do objecto em estudo. Os Sistemas de Varrimento Laser Terrestre (SVLT) além de fornecerem um modelo geométrico exacto e rigoroso da superfície reflectora, que, em termos práticos, pode ser considerado contínuo, permitem a determinação das coordenadas 3D das marcas materializadas, num mesmo sistema de coordenadas cartesianas dos métodos geodésicos tradicionais.

Neste artigo é apresentada uma metodologia complementar para a monitorização geométrica da deformação da barragem do Cabril. Recorrendo a duas campanhas de observação realizadas em épocas diferentes (Março e Agosto de 2010) com um SVLT operando em alta resolução foram calculadas as deformações do paramento jusante. O co-registo das duas nuvens de pontos foi feito em pós-processamento utilizando um algoritmo de *best-fit*.

Os resultados da comparação entre as duas nuvens de pontos e as correspondentes superfícies modeladas mostram que a metodologia apresentada é aplicável em deformações superiores a 1 cm. Além disso os SVLT permitiram modelar a deformação com elevada resolução espacial ao longo de todo o paramento de jusante da barragem, e não apenas nos pontos materializados. ¹

¹ O autor escreve, por opção pessoal, de acordo com a antiga ortografia.



1. Introdução

Em países onde os recursos hídricos ainda estão subaproveitados, como é o caso de Portugal, estão a ser construídas novas grandes barragens e a ser feito o reforço de potência em algumas barragens existentes. No âmbito destes programas é promovido o desenvolvimento/melhoria de sistemas automáticos de monitorização que requerem o desenvolvimento de metodologias para acompanhar e analisar a evolução em "tempo real" do comportamento estrutural das barragens ao longo do tempo. A monitorização de grandes barragens envolve, em geral, as seguintes actividades: 1) elaboração e execução do plano de monitorização; 2) instalação de equipamentos de monitorização; 3) recolha de dados desses equipamentos em intervalos de tempo preestabelecidos; 4) conversão dos dados em quantidades que façam sentido do ponto de vista da engenharia e interpretação dessas quantidades; 5) comparação dos dados recolhidos com dados anteriores; 6) inspecção visual da barragem; 7) emissão de um relatório de segurança e finalmente 8) identificação de medidas de correcção previstas. Utilizando as mais recentes tecnologias que permitem a automatização do processo de recolha, partilha e armazenamento de dados, novos sistemas de monitorização devem prever a utilização de sistemas informáticos que possibilitem a comparação automática de dados de observação e permitam obter resultados em modelos numéricos. Estes modelos numéricos devem ser desenvolvidos de modo a ter em consideração: (1) a interacção dinâmica entre a estrutura e a água da albufeira, (2) os efeitos dos processos de deterioração e (3) os efeitos associados a eventos excepcionais, tais como grandes inundações e terremotos (Oliveira *et al.*, 2010).

Nas últimas duas décadas os Sistemas de Varrimento Laser Terrestre (SVLT) têm contribuído para um enorme avanço nas técnicas de aquisição de dados espaciais. Estes sistemas permitem obter por varrimento vertical e horizontal, as coordenadas tridimensionais de milhões de pontos da superfície que refletiram a luz laser emitida pelo equipamento. No âmbito da engenharia de barragens, os resultados obtidos após o processamento dos dados provenientes dos SVLT, podem ser utilizados em diversas fases do ciclo de vida de uma barragem. A quantidade sem precedentes de informação geométrica e radiométrica obtida pode ser utilizada, por exemplo, somente para registo de informação das fundações, para o caso de estas terem que ser revistas após a construção da barragem, ou para mapear e acompanhar a evolução de deteriorações visíveis provenientes do envelhecimento da estrutura. Os sistemas de engenharia inversa podem também ser fácil e rapidamente desenvolvidos com o intuito de gerar modelos tridimensionais CAD (*Computer Aided Design*) tendo em mente a renovação e manutenção das barragens cujos documentos tenham sido perdidos ou estejam muito desactualizados (Baptista *et al.*, 2015). A aplicação dos SVLT na monitorização de barragens permite criar modelos tridimensionais de objectos a baixo custo, com precisão e exactidão adequadas. Obtêm-se assim modelos densos, compostos por milhões de pontos cujas coordenadas são recolhidas a frequências que podem atingir 1 milhão de pontos por segundo.

Este artigo descreve a utilização dos SVLT para a modelação 3D da deformação do paramento de jusante da Barragem do Cabril. No âmbito do estudo para o desenvolvimento de sistemas de monitorização de barragens, este trabalho foi requerido pela EDP (Energias de Portugal) e a aquisição de dados geoespaciais efectuada pela empresa Artescan, tendo sido o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) contratado como consultor. A barragem do Cabril foi construída em 1954, no Rio Zêzere, para produção de energia eléctrica. O seu paramento é uma abóbada com dupla curvatura, tem uma altura máxima acima da fundação de 132 metros e o coroamento tem um desenvolvimento de 290 metros.

2. Princípios básicos de funcionamento dos SVLT

Os SVLT, também denominados de Sistemas LiDAR Terrestre (Light Detection And Ranging), são sistemas apropriados para a escala da engenharia de estruturas, fornecendo informação geométrica 3D da superfície visível da obra em estudo. Os dados são adquiridos rapidamente e com alta resolução espacial. Estes sistemas podem medir mais de 1 milhão de pontos por segundo com uma precisão ligeiramente melhor que 3 milímetros, dependendo, entre outros, da distância e do ângulo de incidência da superfície reflectora e do equipamento utilizado. As principais características dos SVLT consistem na integridade, exactidão e rapidez na recolha de dados. O seu princípio de funcionamento é bastante simples: os feixes laser são gerados e emitidos pelo SVLT e são direccionados para o objecto de análise, com o auxílio de um espelho de varrimento, atingindo a superfície do objecto em vários pontos (Shan e Toth., 2008). O objecto reflecte o feixe laser incidente e parte deste volta ao SVLT. É possível assim determinar a distância entre o sensor e o objecto através do intervalo de tempo entre a emissão e a recepção (retorno) do feixe

laser. Os princípios básicos de funcionamento do sensor Laser poderão ser consultados em Baptista *et al.* (2015). Uma descrição mais aprofundada dos fundamentos teóricos utilizados nos SVLT com câmaras digitais poderá ser consultada em Luhman *et al.* (2006) e em Shan e Thoth. (2008).

Estes sistemas possuem três componentes principais: 1) unidade de medição laser (responsável pela emissão e recepção do sinal laser), 2) sistema de varrimento óptico-mecânico e 3) unidade de registo de medições. Em ambos os tipos de SVLT o feixe laser é emitido com dois graus de liberdade, em dois planos definidos por dois eixos de rotação, utilizando, em geral, um espelho rotativo ou um prisma oscilante, cujo mecanismo está numa cabeça rotativa. Os dois eixos de rotação devem ser perpendiculares entre si. A distância para o ponto objecto e os dois ângulos de deflexão do feixe permitem obter as coordenadas esféricas do ponto (r, θ, φ) , que são transformadas em coordenadas cartesianas instrumentais (x, y, z) . Além da medição da distância o sensor laser regista ainda, para cada ponto, a intensidade (I) do sinal laser de retorno, obtendo-se assim, nuvens de pontos com coordenadas objecto (x, y, z, I) . Para digitalizar tridimensionalmente um objecto são necessárias várias posições de varrimento existindo assim a necessidade de referenciar todas as nuvens de pontos num único sistema de coordenadas (X,Y,Z) , geralmente relacionado com o objeto. Se o sinal laser não for reflectido adequadamente por um determinado material, ou não se obtém a distância ao objecto e consequentemente não se obtém as coordenadas dos pontos do objecto ou então as coordenadas são afectadas por uma grande incerteza. Isto acontece com superfícies molhadas, em água, em vidro ou em superfícies com gordura. O tratamento posterior da nuvem de ponto (pós-processamento) permite a extração de primitivas CAD, como modelos 3D, curvas de nível, perfis e secções.

3. Especificações técnicas

A informação a recolher requer especificações técnicas detalhadas, da parte do utilizador da informação, e um planeamento cuidadoso, do lado do produtor. Os objectivos das especificações são: estabelecer parâmetros de qualidade adequados, definir critérios de rejeição/aceitação, permitir a comparação entre épocas distintas e homogeneizar suportes e formatos de dados a fim de migrar dados entre utilizadores, plataformas, redes, aplicativos e *software*. Os itens a especificar deverão incluir os metadados, a área e o objecto de interesse, as restrições à operação, o sistema de coordenadas e a sua materialização, restrições no processamento de dados, resolução cronológica (se, para efeitos de monitorização), resolução espacial e resolução radiométrica, alcance mínimo e máxima divergência do feixe laser, bem como outras especificações técnicas do equipamento, calibração e procedimentos de referência, controle de qualidade e entregas de produtos finais. Porque o sensor Laser pode ser biologicamente nocivo, a classe do Laser deve ser referida. O prestador de serviços deve fornecer ao utilizador de dados os *softwares* de visualização apropriados para documentos 3D de engenharia que só podem ser vistos em computadores (Baptista *et al.*, 2015).

Quadro 1 – Densidade (ρ) da nuvem de pontos Laser em pts/cm². ($\rho=1/d^{\wedge}2$)

PONTOS LASER	Probabilidade de detectar a forma	
	0.66	0.95
Dimensão da forma (λ) em cm	Espaçamento (d) entre pontos em cm	
	$\lambda / 3$	$\lambda / 20$

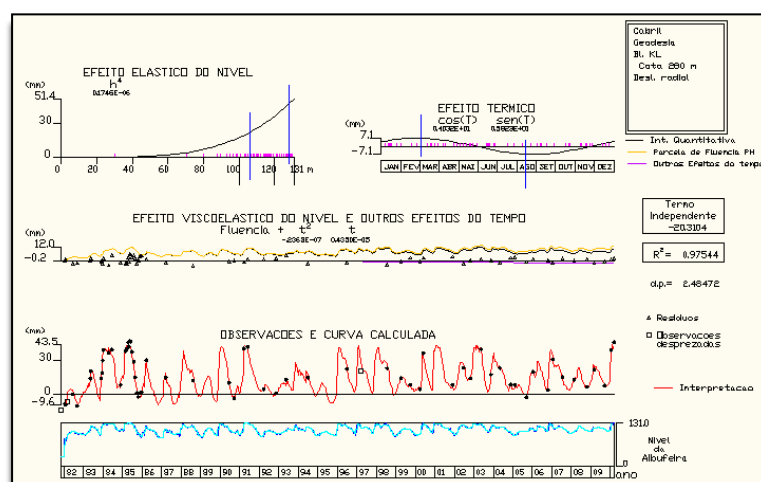


Figura 1 – Cálculo teórico por Interpretação quantitativa da deformação

Considerando que a precisão linear associada às estações totais utilizadas em trabalhos de monitorização geodésica é, em geral da ordem de $1\text{mm} \pm 1\text{ppm}$, os SVLT têm uma precisão ligeiramente inferior a este equipamento. No entanto, a precisão angular

tem tido uma evolução que já permite atingir os padrões necessários para estes trabalhos. Em termos práticos, isto significa que os vectores de deformação, com uma magnitude superior a 1 cm podem ser identificáveis, desde que seja aplicado o equipamento e metodologia apropriados (Berberan *et al.*, 2011). Neste trabalho, definiram-se as especificações técnicas, com base nos valores de deformação esperados, tendo em consideração a época do ano e a cota da albufeira. A Figura 1 (adaptada da aplicação de gestão de dados “Gest Barragens” desenvolvida pelo LNEC) ilustra a metodologia utilizada para o cálculo teórico por interpretação quantitativa da deformação e utilizada neste trabalho na fase de planeamento. Para calcular a densidade de pontos (p) adequada foram utilizadas as fórmulas empíricas do Quadro 1 que nos dão a relação entre a forma do objecto (λ) e o espaçamento (d) entre pontos para uma dada probabilidade.

4. Aquisição e processamento de dados

4.1 Aquisição de dados

A alta frequência do equipamento na aquisição de dados permite a recolha de grandes quantidades de dados num intervalo de tempo que é proporcional à densidade da nuvem de pontos: quanto maior for a densidade mais tempo se gasta em cada estacionamento. Assim, no planeamento dos trabalhos de campo teve-se em consideração todas as fases da elaboração das especificações técnicas bem como as fases do planeamento, do processamento e do controlo de qualidade.

A barragem do Cabril foi digitalizada por duas vezes em 2010 (Março e Agosto), com o intuito de comprovar a viabilidade da utilização dos SVLT na monitorização das barragens de betão. Para este efeito utilizou-se o SVLT da Riegl, VZ-400. No trabalho de campo, foram feitos diversos estacionamentos do SVLT de forma a cobrir todo o paramento jusante da barragem e a evitar obstruções que provocam “sombras” e consequentemente zonas 3D com falta de informação. A Figura 2 representa uma nuvem de pontos não editada que pode ser visualizada *in situ* e onde se podem fazer medições quase em tempo real. Na primeira campanha a barragem foi observada com a cota de albufeira em 294.5 metros (próximo da sua capacidade máxima) tendo-se recolhido mais de 19 milhões de pontos com coordenadas conhecidas (X, Y, Z, I) para a representação geométrica do paramento jusante da barragem (Figura 2). Na segunda campanha a barragem foi observada com cota da água da albufeira nos 272.6 metros e utilizando a mesma metodologia da primeira campanha. O resultado destes dois estudos será um modelo de deformação do paramento jusante entre o período chuvoso e seco.

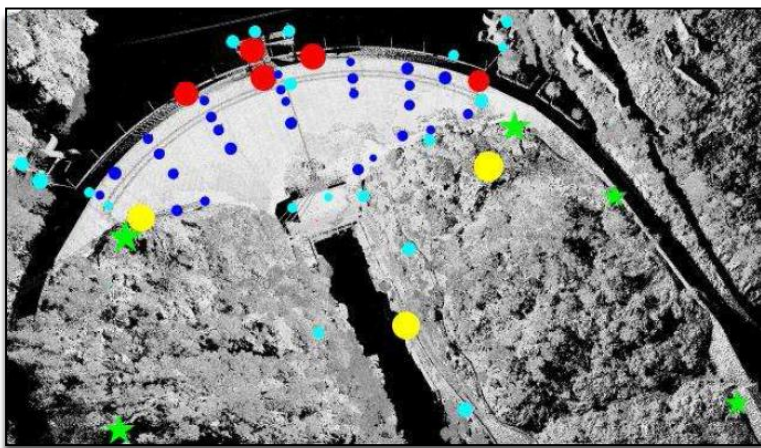


Figura 2 – Nuvem de Ponto da barragem do Cabril, com as estações de digitalização (círculos amarelo e vermelho), os pontos de referência (estrelas verde), pontos de ligação (círculos azul claro) e pontos de verificação (círculos azul escuro)

Quadro 2 – Principais características dos trabalhos de campo com o SVLT

Estações SVLT	8
Pontos XYZ recolhidos	19 004 632
Resolução espacial da nuvem de pontos	10 pontos/dm ²
Pontos de ligação	30
Pontos de referência	6
Pontos de verificação	30

Em ambas as campanhas (Março e Agosto), foi utilizada a mesma metodologia de campo nos 8 estacionamentos do SVLT (círculos amarelos e vermelhos na Figura 2) necessários para realizar o varrimento completo do paramento da barragem do Cabril. Destes estacionamentos, somente 3 (círculos amarelos) serviram para o trabalho de avaliação da deformação, pois são as posições de estacionamento mais perpendiculares ao paramento jusante da barragem. Apesar dos dados dos restantes 5 estacionamentos, feitos na zona do coroamento, não terem sido utilizados neste trabalho, estes serviram para a documentação 3D

completa da barragem e para a sua modelação 3D em CAD. Para referenciar as diferentes posições do SVLT, utilizaram-se 6 pontos de referência da rede de monitorização geodésica (estrelas verde na Figura 2), 30 pontos de ligação, alvos do SVLT (círculos azul claro na Figura 2) e 30 pontos de verificação, materializados no paramento (círculos azul escuro na Figura 2). As coordenadas dos 30 pontos de verificação, materializados no paramento, foram determinadas por métodos taqueométricos e serão utilizadas para verificar a exactidão da deformação determinada pelos dados do SVLT. O Quadro 2 resume algumas principais características dos trabalhos efectuados com recurso ao SVLT.

4.2 Fases do processamento

Ao longo de três dias de campo foram recolhidos e pré-processados os dados brutos, operação que consiste essencialmente na validação e referenciação dos dados. A referenciação dos dados é conseguida por métodos indirectos e individualmente para cada nuvem de pontos. O processamento destas nuvens de pontos já referenciadas em gabinete leva consideravelmente mais tempo. A duração efectiva da fase de processamento depende do tipo e da diversidade dos produtos finais, bem como das suas especificações. Para cumprir os objectivos deste trabalho, foi necessário um mês, com dois técnicos a trabalhar a tempo inteiro para se obter os resultados previstos.

O fluxo de trabalho, representado na Figura 3, desta fase consiste nas seguintes principais etapas: 1) filtragem de dados, 2) reamostragem, 3) modelação tridimensional, 4) análise da deformação e 5) análise da exactidão. Neste caso particular, comparou-se a modelação de cada uma das campanhas, realizadas em épocas distintas, a fim de modelar as deformações.

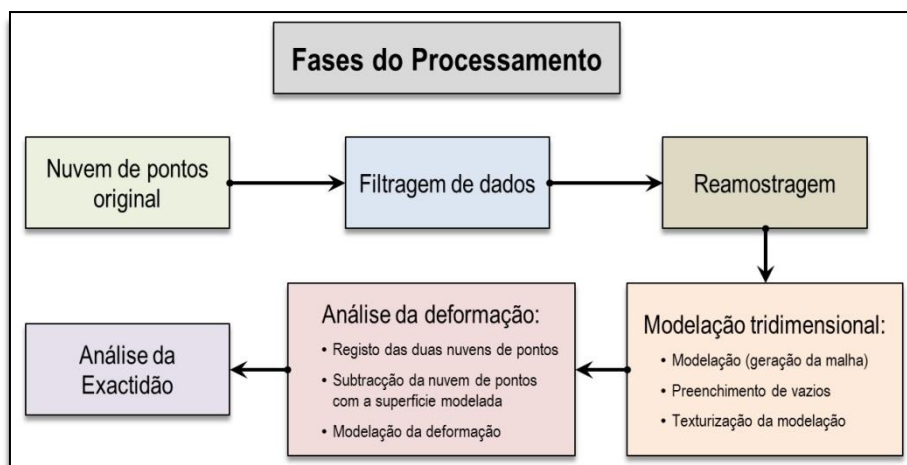


Figura 3 – Fluxograma das fases do processamento

4.2.1 – Filtragem de dados

Entre os milhões de pontos recolhidos, existe uma quantidade considerável de ruído devido a muitos e variados factores, como obstruções temporárias ou permanentes, multi-reflexões, fraca reflectividade da superfície, entre outros. A filtragem manual (i.e. limpeza) de dados foi feita sempre que era possível ao operador identificar pontos que não estão relacionados com o objecto em estudo. A filtragem automática de dados foi feita recorrendo a algoritmos automáticos de filtragem próprios dos *softwares* de edição de nuvens de pontos. Tanto na filtragem manual como na automática, a remoção de ruído foi executada de forma a garantir uma fidelidade, aceitável para o trabalho em causa, entre o objecto real e a sua representação virtual (Baptista *et al.*, 2015).

4.2.2 – Reamostragem

A resolução das nuvens de pontos recolhidas varia em função do ângulo de deflexão do feixe laser e da distância ao objecto, o que pode levar a uma sobre amostragem nos cenários mais próximos e a uma subamostragem nos planos mais afastados. Considerando a grande quantidade de dados a ser processada, procedeu-se a uma reamostragem dos dados com o intuito de eliminar e reduzir os pontos que não adicionam informação útil ao modelo, melhorando assim a velocidade de processamento, de

transferência e de armazenamento dos dados. Neste processo foi igualmente considerada a qualidade da representação do objecto em causa (Baptista *et al.*, 2015).

4.2.2 – Modelação tridimensional

Após a filtragem e a reamostragem de dados procede-se à geração de uma TIN (*Triangular Irregular Network*), que é um modelo 3D contínuo, um produto intermédio entre a nuvem de pontos e os produtos finais, e que é obtida por uma triangulação de *Delaunay* numa representação paramétrica da superfície do paramento (George e Borouchaki, 1997).

Na Figura 4 representam-se as diferentes fases de processamentos dos dados do paramento jusante da barragem. Da esquerda para a direita: 1) corte transversal da nuvem de pontos original do paramento; 2) pormenor da nuvem original onde se identificam os passadiços construídos no paramento jusante; 3) reamostragem da nuvem de pontos já filtrada do ruído; 4) paramento de jusante modelado como superfície representada com uma triangulação irregular. Depois de gerada esta superfície é feito o preenchimento de vazios. Caso se justifique, esta modelação pode também ser texturizada com a informação pictórica proveniente da cobertura fotográfica.

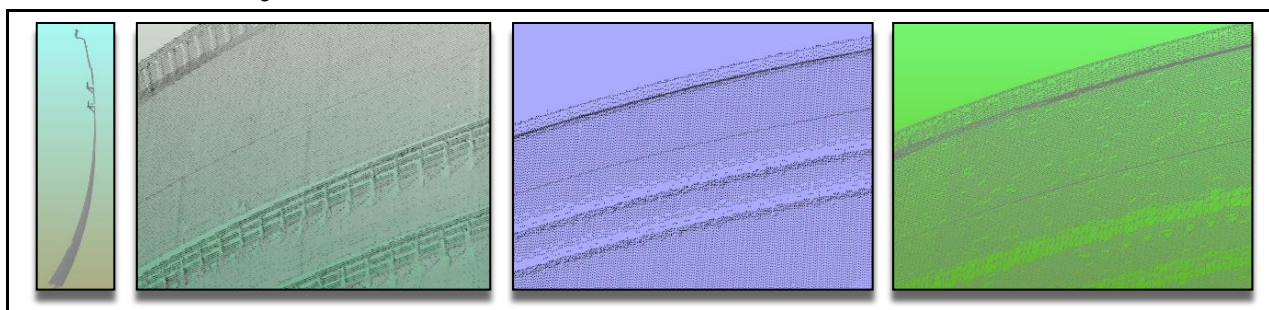


Figura 4 – Pormenor do paramento de jusante da barragem do Cabril - Diferentes fases do processamento

4.3 Análise da deformação

A monitorização da deformação num sistema de referência externo à influência da barragem é tradicionalmente feita com métodos geodésicos. Estes métodos fornecem as componentes dos vectores de deslocamento de pontos objecto que são considerados representativos do comportamento estrutural da barragem. Com formação, equipamentos e procedimentos específicos, os métodos geodésicos podem atingir uma incerteza de 2 mm para deslocamentos horizontais (2D) com taqueometria e 0,2 mm para deslocamentos verticais (1D), utilizando técnicas de nivelamento geométrico. Os SVLT, dada a elevada resolução espacial dos dados recolhidos, podem fornecer a deformação quer dos pontos objecto materializados, quer do paramento. Neste trabalho a deformação foi modelada com elevada resolução espacial ao longo de todo o paramento de jusante da barragem, e não somente nos pontos materializados.

Combinando a orientação do SVLT de forma indirecta (com base em alvos retro-reflectores) com uma Transformação Euclidiana (ou Transformação Rígida), que preserva a forma e o tamanho dos objectos, obtiveram-se os parâmetros de transformação entre a nuvem de pontos de Março e a nuvem de pontos de Agosto. Nesta transformação, pretende-se determinar a matriz de rotação e translação que relaciona as duas nuvens de pontos e que tenha o menor valor de “erro mínimo quadrático”. Utilizaram-se então algoritmos de “*best fit*” como o ICP (*Iterative Closest Point*) ou o “*shape matching*” (Pulli, 1999; Pottmann *et al.*, 2002) Fez-se também o cálculo dos parâmetros de transformação para um sistema de coordenadas conhecidas, através da identificação de pontos de controlo.

Uma vez que o feixe laser atinge o objecto em diferentes pontos nas duas campanhas, a subtracção é feita entre os pontos medidos na nuvem de Agosto e a superfície modelada a partir da nuvem de pontos obtida em Março. De notar que a modelação da deformação não é feita com base num só ponto. Na realidade, a interpretação tem de ser feita com base numa área do objecto. Os deslocamentos são medidos segundo a normal da superfície que passa por cada ponto da nuvem.

Os resultados da modelação da deformação, ou seja, da subtracção entre as duas campanhas são apresentados na Figura 5 (*software Riscan Pro*), que consiste num gradiente de cores que representa os deslocamentos de zero (azul escuro) a 6 cm (vermelho). Na Figura 6 (*software 3D Reconstructor*), à esquerda, é representado um pormenor da comparação entre as duas

superfícies, a superfície de Março (a azul) e a superfície de Agosto (a vermelho). Ambas as superfícies estão sobrepostas com a nuvem de pontos utilizada para a sua modelação. À direita, na Figura 6, temos um pormenor das duas nuvens de pontos com informação da cota da albufeira, a localização deste pormenor está representado a vermelho (rectângulo) na Figura 5.

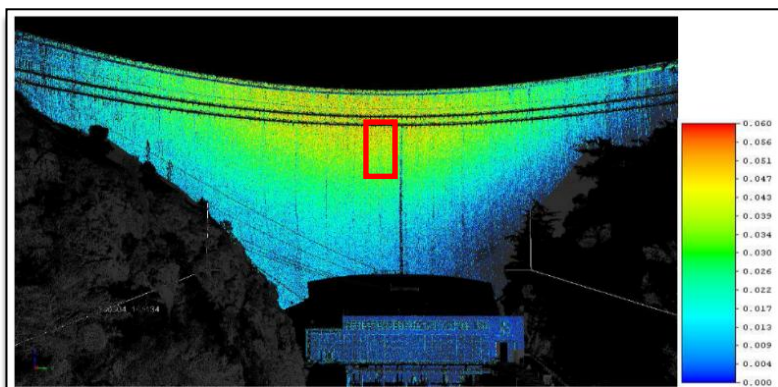


Figura 5 – Resultados da comparação das duas campanhas do SVLT, representados com um gradiente de cores a variar entre 0 e 6 cm

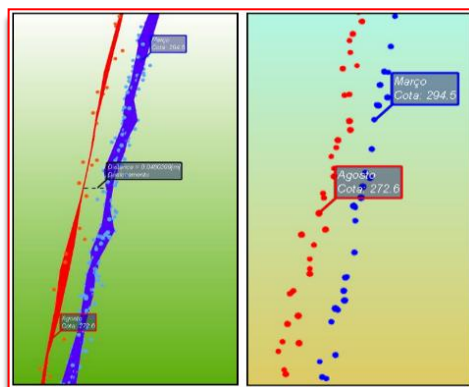


Figura 6 – Pormenor da comparação das duas campanhas

4.4 Análise da Exactidão

A informação recolhida pelos SVLT pode ser utilizada para a monitorização da deformação com uma incerteza variável que pode atingir alguns milímetros. A incerteza depende das especificações do equipamento, procedimentos operacionais e computacionais, acessórios, configuração do sistema, propriedades ópticas das superfícies reflectoras e competências dos quadros técnicos. O uso destes documentos digitais de engenharia é diversificado, uma vez que permite monitorizar grandes estruturas de forma espacialmente contínua, com uma incerteza quantificada com desvio padrão de cerca de 1 cm (ICOLD, 1998).

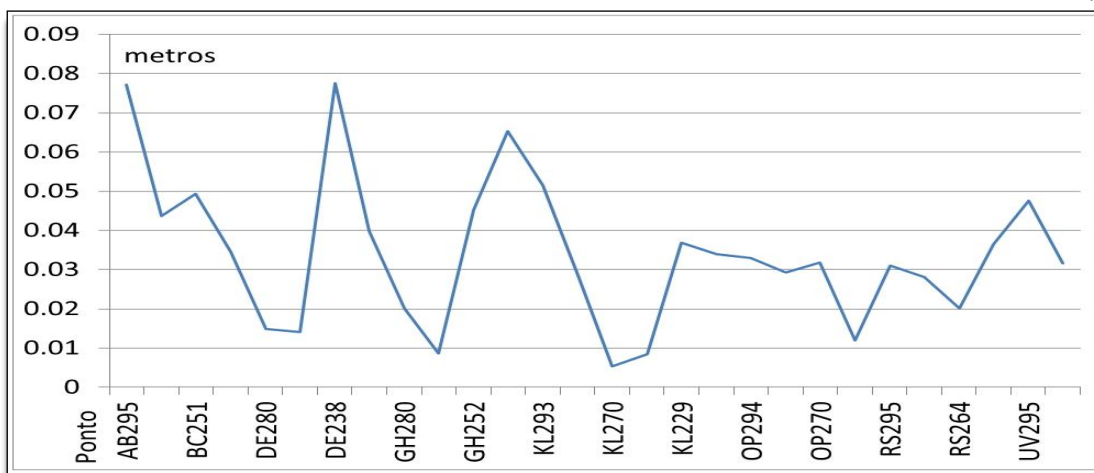


Figura 7 – Diferenças entre deslocamentos geodésicos e deslocamentos SVLT

A qualidade métrica destes documentos foi avaliada comparando as coordenadas 3D medidas nos produtos finais com as coordenadas obtidas pelos métodos geodésicos (Tucker, 2002). Em simultâneo com as campanhas de laser scan, foram efectuadas campanhas de monitorização geodésica pela equipa de topografia da EDP, que fez o cálculo das coordenadas de pontos que se encontram materializados no paramento jusante da barragem. Estas coordenadas serviram para fazer o controlo da exactidão dos resultados obtidos via SVLT. Estes pontos são identificados e as suas coordenadas comparadas com as coordenadas provenientes dos métodos geodésicos. Na Figura 7 apresenta-se a variação das diferenças de coordenadas do modelo 3D comparadas com as coordenadas dos 30 pontos de verificação, onde se obteve uma variação média de 3 cm, um valor máximo de 7 cm e mínimo de 5 mm.



O estudo para avaliar a exactidão do processo de medição 3D com o SVLT foi feito ao longo das várias fases de processamento dos dados, nomeadamente na fase de concatenação das nuvens de pontos e correspondência entre superfícies. Os resultados obtidos demonstram que a exactidão pode ser inferior a 5 mm nos pontos medidos e inferior a 3 mm na superfície modelada.

5. Conclusões

Este estudo permitiu demonstrar que os SVLT, no âmbito da monitorização de grandes barragens, podem ser utilizados para o acompanhamento das marcas de superfície (pontos objecto materializados no paramento), bem como para acompanhar a deformação de toda a superfície visível da barragem (paramentos e encontros), com incertezas próximas das especificações de exactidão habituais para este tipo de actividade. Além disso, a informação proporcionada pelos SVLT permite adicionar uma riqueza semântica que pode ser explorada para completar a informação que é recolhida tradicionalmente durante as campanhas geodésicas de monitorização dos paramentos e encontros das barragens. Uma vez que os dados são registados e processados em tempo real, tanto os dados brutos como a informação processada estão prontos para serem migrados para outras aplicações ou *software* e serem enviados através de uma intranet ou internet para proprietários, consultores, autoridades, fiscalizações e projectistas.

A experiência obtida demonstrou que a instalação de uma unidade de produção de modelos tridimensionais e análise da sua deformação, carece de grandes investimentos iniciais no SVLT, nomeadamente em computadores de alto rendimento necessários para o cálculo numérico, processamento de dados e processamento gráfico. É também fundamental o investimento em sistemas de armazenamento de dados, em licenças e manutenção de *software*, bem como na formação de quadros qualificados, sendo este último bastante significativo (Oliveira *et al.*, 2010).

Agradecimentos

Agradecemos à EDP e à Artescan pela disponibilização dos dados recolhidos. Agradecemos também ao LNEC, entidade consultora e de acolhimento deste estudo, pela disponibilização dos recursos necessários ao processamento dos dados.

Referências Bibliográficas

- Baptista, B.; Gonçalves, G.; Berberan, A. (2015) Combinação da Fotogrametria Digital e dos Sistemas de Varrimento Laser Terrestre na inspecção visual assistida de barragens de betão: o caso da barragem do Cabril. Submetido à VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Lisboa.
- Berberan, A.; Ferreira, I.; Portela, E.; Oliveira, S.; Oliveira, A.; Baptista, B. (2011). Overview on Terrestrial Laser Scanning as a Tool for Dam Surveillance. 6th International Dam Engineering Conference. LNEC, Lisboa.
- George, P. L., e Borouchaki, H. (1997). Triangulation de Delaunay et maillage: applications aux éléments finis. Hermes.
- ICOLD (1998) "World register of dams", ICOLD, Paris.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., Harley, I. (2006). Close range photogrammetry: Principles, methods and applications (pp. 1-510). Whittles.
- Oliveira, S.; Ferreira, I.; Berberan, A.; Mendes, P.; Boavida, J.; Baptista, B. (2010). Monitoring the structural integrity of large concrete dams: the case of Cabril Dam. Hydropower 2010, Lisboa.
- Pottmann, H., Leopoldseder, S., Hofer, M. (2002). Simultaneous registration of multiple views of a 3D object. Photogrammetric Computer Vision. ISPRS Commission III.
- Pulli, K. (1999). Multiview registration for large data sets. Proceedings 2nd international conference on 3D Digital Imaging and Modelling. Ottawa.
- Staiger, R. (2005). The Geometrical Quality of Terrestrial Laser Scanner (TLS), FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Egypt. April 16-21.
- Shan, J., Toth, C. K. (Eds.). (2008). Topographic Laser ranging and scanning: principles and processing. CRC press.
- Tucker, C. (2002). Testing and verification of the accuracy of 3D laser scanning data. Symposium on geospatial theory, Processing and Applications, Ottawa.