



## Técnicas de deteção remota próximas para monitorização do litoral

Rita MATILDES<sup>1,2</sup>, Paula REDWEIK<sup>1,2</sup> e Fernando MARQUES<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup> Dep. Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

<sup>3</sup> Dep. Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

(rmmatildes,predweik,fsmarques)@fc.ul.pt

**Palavras-chave:** monitorização, fotogrametria, *laser scanner*, arribas, movimentos de massa

**Resumo:** O litoral português caracteriza-se por zonas de praias de areia intercaladas por arribas rochosas, e alberga as principais atividades económicas nacionais. Este litoral de arriba rochosa representa um elevado risco para pessoas e bens dado que a sua evolução se faz por movimentos de massa rápidos e muitas vezes de grandes dimensões. Embora o fenómeno permaneça ainda pouco explorado devido à sua complexidade nesta morfologia, nos últimos anos tem sido desenvolvido um trabalho mais aprofundado sobre esta temática, principalmente na área das técnicas de deteção remota para monitorização das arribas: fotointerpretação, fotogrametria terrestre e aérea e levantamentos com *laser scanner*. Neste trabalho apresenta-se as diferentes aplicações das técnicas e é avaliada a sua aplicabilidade, eficácia, processamento de dados, exequibilidade dentro do contexto da monitorização do litoral e os produtos finais que podem ser derivados de cada uma. As técnicas terrestres são apresentadas neste trabalho com base em casos de estudo no litoral oeste da costa portuguesa e constituem garantidamente uma mais-valia sobre os levantamentos de campo geológicos tradicionais. As autoridades com jurisdição no litoral poderão beneficiar muito com a aplicação e introdução destas técnicas no seu fluxo de trabalho podendo constituir um apoio na tomada de decisão.



## 1. Introdução

Apesar da importância do trabalho geológico no campo, as técnicas de deteção remota permitem ultrapassar muitas das dificuldades encontradas nesta atividade uma vez que possibilitam a aquisição de uma grande quantidade de dados, de elevada resolução, incluindo em áreas inacessíveis, a uma distância segura da zona a observar, num curto espaço de tempo. A análise e interpretação dos dados podem ser realizadas, posteriormente, em gabinete, sem restrições de tempo ou de acessibilidade à zona de interesse, produzindo resultados que, muitas vezes quase imediatamente, ficam disponíveis para utilização e comparação posteriores. A informação de base deve ser salvaguardada em bases de dados e um cenário que poderá num futuro próximo ser alterado, por causas naturais ou intervenção antrópica, poderá continuar a ser estudado. No caso particular da monitorização do litoral, é necessário adquirir informação sobre o comportamento do sistema de forma quase contínua no tempo. Técnicas como a fotogrametria aérea ou terrestre podem ser facilmente aplicadas para a obtenção de informação tridimensional à escala regional ou à escala local do sector litoral de interesse, retribuindo informação sob forma de imagem, não só para a sua interpretação como para medição, modelação e cartografia. Também o *laser scanner* aéreo (LiDAR) tem sido, nas últimas décadas, uma fonte de obtenção de dados muito fiável sobre a morfologia do terreno. Amostras densas de pontos tridimensionais que cobrem extensas áreas de terreno podem ser recolhidas num curto espaço de tempo (Redweik, 2013). Esta técnica tem sido muito utilizada para deteção e caracterização de alterações na paisagem. O *laser scanner* terrestre é uma técnica mais recente mas já bastante utilizada, que permite obter grandes volumes de dados tridimensionais, de forma rápida e fiável, embora se trate de uma técnica de aplicação local.

O trabalho que se apresenta e que se encontra em fase de exploração de resultados, tem como objetivo analisar o potencial e as desvantagens de cada uma das técnicas mencionadas, no contexto da monitorização de movimentos de massa em ambiente de arribas rochosas costeiras. Neste trabalho não foram estudados dados obtidos por LiDAR aéreo, pelo que esta técnica não será abordada. Os resultados obtidos até agora integraram um sistema de monitorização criado e implementado para o litoral Oeste da costa portuguesa, no contexto de um projeto gerido pela Agência Portuguesa do Ambiente – APA, I.P., Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização do Litoral (CISML), de forma a melhor apoiar a tomada de decisão no âmbito da gestão da orla costeira, nomeadamente no que respeita a gestão e prevenção do risco que está associado à existência de construção junto à crista das arribas e à existência de várias praias limitadas por arribas rochosas fortemente frequentadas na época balnear. O projeto CISML representou um trabalho pioneiro a nível nacional, com o objetivo de melhor compreender a dinâmica do sistema costeiro no tempo e no espaço. Embora se continue a desenvolver trabalho neste âmbito, foram entregues à APA, I.P. ferramentas de base científica, fundamentais para uma correta caracterização da influência meteorológica e oceânica, para a análise da evolução da linha de costa, para a análise e inventariação de instabilidades em arribas, de forma a poder tirar-se conclusões sobre tendências evolutivas do sistema costeiro e a suscetibilidade e vulnerabilidade associadas.

## 2. Técnicas de deteção remota próxima aplicadas

### 2.1 Fotointerpretação

No trabalho de interpretação geológica e geomorfológica, a técnica mais utilizada é a fotointerpretação, especialmente em estudos de evolução da paisagem e deteção qualitativa de alterações. Em estudos que concernem o litoral, a fotointerpretação pode ser baseada em fotografia aérea vertical ou oblíqua, bem como em fotografia terrestre. Para o objetivo de um sistema de monitorização, este método permite a comparação temporal monoscópica e estereoscópica de cristas de arriba e alguma deteção de alterações na face das arribas. As imagens oblíquas e terrestres permitem aprofundar o tipo de dados recolhidos, realizar uma caracterização detalhada da face da arriba e interpretar os processos de alteração sofridos por esta (Figura 1). A facilidade de utilização desta técnica, que não necessita de *software* específico ou formação avançada, tornam-na muito popular entre os utilizadores que requerem a visualização tridimensional sem elevadas preocupações a nível da quantificação. No entanto, para se poder aplicar o método, é necessário que fotografias aéreas e/ou oblíquas estejam disponíveis para o efeito, sendo que a sua aquisição tem ainda um custo relativamente elevado. No caso de fotografias terrestres, a utilização de uma câmara fotográfica *standard* atual cumpre os requisitos necessários para uma observação detalhada. A simples visualização tridimensional, mesmo que aliada à informação radiométrica das imagens, não permite, no entanto, medições ou estimativas precisas acerca de áreas ou volumes perdidos ou acumulados.

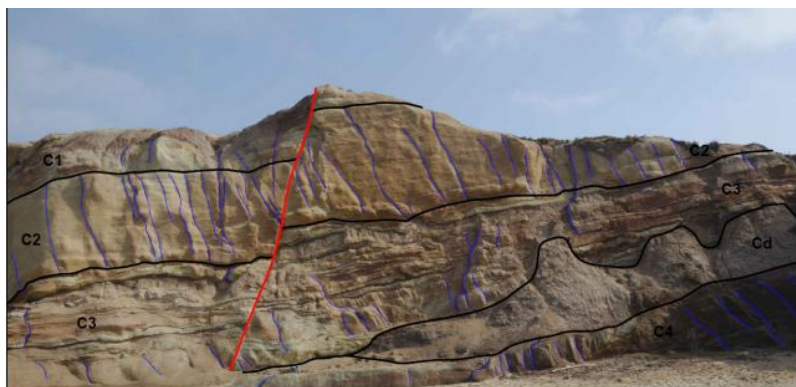


Figura 1 – Caracterização geológica de uma arriba rochosa, baseada em fotografias terrestres: delimitação de camadas e falha

## 2.1 Fotogrametria aérea

A fotogrametria aérea digital permite datar e caracterizar com alta precisão métrica alterações ocorridas na paisagem. Em Portugal é possível, para a maioria das regiões, recuar no tempo até seis décadas devido à existência de um valioso repositório de imagens aéreas analógicas e digitais (Redweik *et al.*, 2010). Para a região da costa oeste, um conjunto de oito levantamentos aéreos datados de 1938 a 2011 estão disponíveis. Os voos mais antigos apresentam desafios especiais relacionados com a sua idade, condições de preservação e, fundamental para o processamento fotogramétrico, a falta de informações sobre as câmaras usadas para a obtenção das imagens. Ultimamente, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de recuperar informações acerca destes equipamentos e sobre modos de aquisição de imagem (Redweik *et al.*, 2010; Garzón, 2014), e alguns obstáculos que impediam um processamento fotogramétrico rigoroso logo na fase de orientação interna das imagens puderam ser ultrapassados. A larga maioria dos voos fotográficos realizados a partir do início da década de 2000 são já digitais e, nos últimos anos, são realizados com o apoio de sistemas GPS/IMU (*Global Positioning System/Inertial Measurement Unit*), facilitando o processo de georreferenciação das imagens captadas. Além de permitir realizar fotointerpretação simples, esta técnica permite ainda a estereorrestituição tridimensional detalhada de todas as características de interesse visíveis no terreno bem como a geração automática de modelos digitais de terreno. No caso concreto do litoral, elementos como crista e base da arriba podem ser adquiridos detalhadamente em 3D com elevada resolução. A aplicação multitemporal de fotogrametria aérea fornece informações fundamentais sobre o processo de evolução das arribas por comparação geométrica das linhas de crista estereorrestituídas. A determinação de áreas perdidas no topo da arriba e volumes deslocados, entre diferentes épocas de observação, permitem estudos estatísticos que relacionam a magnitude dos movimentos com a sua frequência, entre outras relações que possibilitam concluir acerca da suscetibilidade e perigosidade à escala regional (exemplo Marques *et al.*, 2013). No entanto, a geometria de aquisição vertical coloca restrições para a avaliação de alterações na face da arriba, sendo necessário para essa avaliação abordagens adicionais não verticais. A comparação entre épocas requer um sistema de referenciação comum a todas as imagens, processo que é realizado através da triangulação fotogramétrica com base em pontos fotogramétricos coordenados no terreno. Estes pontos são definidos após observação sistemática das imagens de diferentes datas pois trata-se de pontos comuns e, para poderem ser alvo de coordenação no terreno, ainda existentes no presente. O investimento inicial para a implementação desta técnica pode ser bastante relevante considerando os custos de aquisição de imagens, o *software* de processamento fotogramétrico e a formação avançada de operadores. No entanto, esta técnica destaca-se pela qualidade, fiabilidade geométrica e diversidade de produtos.

## 2.2 Fotogrametria terrestre

Para uma correta observação e caracterização local da face da arriba, as técnicas terrestres são as mais adequadas pois possibilitam a aquisição de dados de uma distância próxima e de uma perspetiva quase normal à face das arribas. A fotogrametria terrestre permite obter produtos em 3D, com elevada precisão métrica e resolução espacial, tais como modelos virtuais 3D, nuvens de pontos 3D, ortoimagens e mapas verticais. Todos estes produtos representam elementos valiosos para a compreensão da dinâmica da face de arriba, desde que sejam efetuados levantamentos espaciais e temporais sistemáticos. Assim, de uma época de observação para as seguintes, podem ser determinadas as áreas afetadas e os volumes perdidos e/ou ganhos. Tal como na fotogrametria aérea, um sistema de georreferenciação comum tem de ser definido através de uma rede de pontos de



coordenadas fixas no local. O levantamento fotogramétrico terrestre típico consiste na aquisição de imagens com uma câmara previamente calibrada. A disposição espacial das sucessivas posições da câmara deve garantir a cobertura total da face da arriba ao longo de uma ou várias fiadas em geometria de eixos fotográficos paralelos, com sobreposição suficiente para permitir a correlação automática de imagem, e ainda alguns pontos de vista convergentes adicionais para fortalecer a geometria do bloco. Deve dar-se atenção à relação base-distância a fim de evitar oclusões causadas por protuberâncias ou irregularidades existentes, um cenário muito frequente neste tipo de morfologias. É de preferir uma relação base-distância menor quando a amplitude das irregularidades da superfície aumenta. Ainda que se possa trabalhar a uma distância da face da arriba considerada segura, a aplicação da fotogrametria terrestre exige que se tenha acesso ao local a levantar fotogrametricamente e que exista uma plataforma na base de largura tal que permita um distanciamento à arriba suficiente para que toda a sua altura seja captada pelas imagens. Arribas mergulhantes, por exemplo, ou com uma plataforma de base muito estreita não podem ser estudadas através desta técnica. Os custos associados à aplicação desta técnica são muito semelhantes àqueles relacionados com as aplicações com fotogrametria aérea pois, da mesma forma, o processamento das imagens exige *software* específico e formação avançada. No entanto, este é um método muito prático, rápido e flexível na fase de aquisição da imagem, sendo que muitas câmaras digitais *standard* já apresentam resolução e características de estabilidade geométrica elevadas.

### 2.3 Laser scanner terrestre

Os varrimentos por *laser scanner* terrestre têm sido muito utilizados nos últimos anos para a aquisição de dados tridimensionais de diferentes morfologias. Para a monitorização do litoral, esta é também uma técnica adequada uma vez que permite obter diretamente uma densa nuvem de pontos 3D que descreve a face da arriba com elevada resolução espacial. As nuvens de pontos devem ser adquiridas a partir de posições cuja quantidade e localização dependem de eventuais áreas de oclusão que podem ocorrer devido a irregularidades na face da arriba e/ou da geometria de aquisição. É necessário um planeamento da localização das estações, antes da campanha no terreno, também porque os equipamentos são ainda bastante volumosos, pesados e requerem fontes de alimentação significativas (Glennie *et al.*, 2013). O equipamento deve ser estacionado sobre uma plataforma estável e fixa durante a operação de varrimento, mas a distância à face da arriba pode ser relativamente grande sem deterioração relevante da precisão. O registo e georreferenciação das nuvens de pontos é obrigatório, como em todos os projetos de monitorização, de forma a avaliar alterações ocorridas na face das arribas de uma época de observação para as seguintes. O investimento necessário para a aplicação desta técnica é muito elevado, tanto para *software* de processamento e formação, bem como para a compra ou mesmo *outsourcing* do equipamento.

## 3. Exemplos de aplicação na costa Oeste portuguesa

As tecnologias acima apresentadas foram aplicadas em diferentes setores de arriba rochosa da costa Oeste portuguesa, no segmento litoral compreendido entre a foz do rio Liz e o Cabo Espichel, de forma a testar as melhores práticas para cada uma das técnicas, determinar qual a mais adequada a cada circunstância e analisar os produtos que se extraem e se obtêm com cada uma face aos objetivos do projeto citado. Dada a existência de diversos pontos de instabilidade ao longo deste setor, existe alguma literatura que se debruça sobre a problemática das instabilidades de vertente em arribas, especialmente trabalhos de carácter académico como teses de Mestrado e Doutoramento. Tem sido desenvolvido pela equipa responsável pelo estudo de instabilidades em arribas, da qual fazem parte os autores, trabalho significativo nesta temática, referindo nas publicações mais recentes a utilização das técnicas de deteção remota próximas analisadas neste artigo. Para o setor de interesse vários trabalhos foram já publicados, nomeadamente Matildes *et al.* (2012, 2013a, 2013b, 2014), Marques (1998, 2003, 2006, 2007), Marques *et al.* (2013) e Andrade *et al.* (2002). Foi realizada a estereorrestituição da crista das arribas rochosas, de forma contínua, para o levantamento fotográfico de referência: voo digital de 2011 com suporte GPS/IMU, com GSD (*Ground Sample Distance*) de 0.3m. Sobre os voos mais antigos, nos quais foi possível o processamento fotogramétrico, foram estereorrestituídas, por comparação com a situação de referência, as zonas de crista de arriba onde foram detetadas alterações, isto é, zonas onde a crista de referência se encontrava “recuada” relativamente à crista de uma época anterior. Cada uma destas alterações foi registada em base de dados e, com base nas linhas estereorrestituídas, foram realizadas medições, como o comprimento do segmento de arriba afetado e o recuo ocorrido, e no polígono definido como movimento de massa, foi registada a área perdida. Adicionalmente, foi feita a caracterização detalhada do tipo de movimento de massa, geomorfologia, geologia, litologia, etc., por fotointerpretação de fotografias aéreas de grande escala ou pequeno GSD e imagens oblíquas próximas. As técnicas terrestres foram reservadas para locais considerados prioritários pelas autoridades competentes e que foram classificados como de elevado risco. Estes locais

correspondem a arribas que delimitam praias densamente ocupadas na época balnear, representando por isso locais relevantes do ponto de vista económico, ainda que constituam perigo potencial. Um total de 14 setores de arriba ao longo de 11 praias foi monitorizado por fotogrametria terrestre e dois deles igualmente por *laser scanner* terrestre. Os levantamentos fotogramétricos terrestres foram realizados com uma câmara Nikon D80 usando uma objetiva de 14mm calibrada antes de cada campanha. Os pontos fotogramétricos foram adquiridos com uma estação total *reflectorless*, posicionada com recurso a GPS em modo RTK (*Real Time Kinematics*) na rede RENEPE, e distribuem-se ao longo da face das arribas de interesse. Estes pontos, não sendo alvos físicos, são detalhadamente documentados para posterior utilização como referência em todas as épocas de observação. A quantidade de pontos coordenados no terreno durante a primeira época é sempre redundante a fim de garantir que uma eventual perda de alguns pontos na face por movimentos de vertente não obrigue a nova campanha de coordenação. Os conjuntos de fotografias adquiridos foram processados no *software* PhotoModeler Scanner (Eos Systems Inc.), onde foram também calculadas as nuvens de pontos 3D. Os levantamentos com *laser scanner* foram realizados com os equipamentos Topcon GLS-1500 e Leica C10. As nuvens de pontos resultantes dos varrimentos foram registadas por meio de alvos artificiais coordenados no terreno ou por coordenação direta do *scanner* no local, recorrendo a GPS em modo RTK na rede RENEPE.

### 3.1 Monitorização por técnicas terrestres

#### 3.1.1 Fotogrametria terrestre: São Bernardino (Lourinhã)

O segmento monitorizado é um talude natural com um comprimento de cerca de 100m, onde circulam, até certa distância, veículos e peões. As arribas da praia de São Bernardino não foram, até à data do projeto CISML, monitorizadas ou estudadas do ponto de vista científico. Dada a frequência de instabilidades que se verificam nesta zona, existem alguns estudos geológico-geotécnicos requeridos pelo INAG e, atualmente, pela APA, I.P. a empresas privadas e ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil, com o objetivo de obter propostas de intervenção e soluções de engenharia que reforcem a segurança para pessoas e bens. Normalmente estas soluções passam pelo reperfilamento dos taludes instáveis, aplicação de redes metálicas de contenção de detritos, colocação de muros de contenção de blocos, criação ou otimização dos sistemas de drenagem hídrica, etc. O primeiro levantamento foi realizado para estabelecer uma situação de referência e o segundo, cerca de 1 mês depois, logo após uma significativa queda de blocos que ocorreu na via pedonal de acesso à praia (Figura 2).



**Figura 2** – Levantamentos fotogramétricos no talude de acesso à praia de S. Bernardino antes (em cima) e depois (em baixo) de uma queda de blocos na face da arriba

Os dois levantamentos foram processados fotogrametricamente e foram calculadas, por correlação automática de imagem, nuvens de pontos 3D para cada época. As duas nuvens de pontos foram comparadas (CloudCompare (v2.4)) no setor onde ocorreu o movimento de forma a testar a sensibilidade do método e para avaliar as alterações ocorridas. A comparação entre duas nuvens é feita pela subtração da nuvem de referência à nuvem da época de observação seguinte, obtendo-se uma nuvem em que, a cada ponto, está agora associada a diferença calculada entre as nuvens originais por um algoritmo (C2C) que determina distâncias locais entre duas nuvens de pontos. A partir desta nuvem das diferenças é possível não só detetar grandes alterações na face da arriba como, no caso apresentado, provocadas pela queda de um bloco maciço, como também detetar alterações menos significativas como materiais removidos por arrastamento, acumulação de materiais na base e outros fenómenos como a evolução de regueiros. Neste caso, a nuvem de diferenças regista alterações de valores que vão até 1.4m correspondendo este último ao local de onde o bloco se destacou do talude. Também a partir dos dados da nuvem das diferenças, foi possível avaliar o

volume do bloco deslocado em cerca de  $6.6 \text{ m}^3$ , tendo sido estimado no local por técnicos da APA, I.P., em cerca de  $6 \text{ m}^3$ , comprovando-se assim a utilidade desta análise digital (Figura 3).

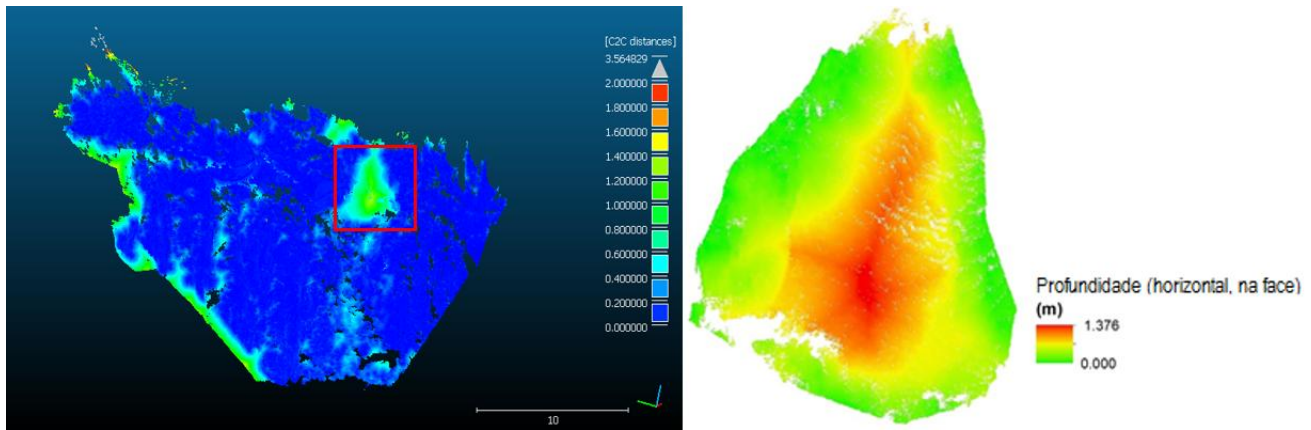


Figura 3 – Detecção de alterações entre épocas e estimativa do volume de um bloco deslocado num movimento de massa na face de arriba

### 3.1.2 Laser scanning: Praia do Porto da Calada (Mafra)

Apesar de o procedimento correto de uma campanha de campo passar por um planeamento prévio, o esquema que se apresenta (Figura 4 (esq.)) **Error! Reference source not found.** foi realizado após o primeiro levantamento, de referência, uma vez que a morfologia da praia e as condições de coordenação de pontos no terreno com recurso a GPS-RTK são complexas (o necessário recurso à rede de telemóvel é muito dificultado no local) e não permitem prever exatamente qual a posição ideal para as estações do *laser scanner* e qual a técnica de coordenação de pontos necessária. Foram realizados 3 varrimentos e a georreferenciação foi executada pela coordenação dos pontos estação do equipamento. Um segundo levantamento foi realizado após cerca de 1 ano, de forma a detetar alterações. Verificou-se, em ambos os levantamentos, que a morfologia da praia condiciona significativamente a qualidade dos resultados: as nuvens de pontos referentes às arribas Norte e Sul tornam-se muito esparsas nos limites exteriores relativamente à praia devido à obliquidade com que o feixe *laser* atinge a face das arribas. Especialmente na arriba Norte, a existência de várias zonas de escorrência de água não só prejudica o retorno do feixe como, criando níveis mais salientes e ravinamento, origina lacunas na obtenção de dados pelo bloqueio do “raio de visão” do *laser scanner*. Mais uma vez, foi realizada a comparação das nuvens de pontos de diferentes datas e algumas observações interessantes puderam ser feitas: verificam-se alterações que correspondem diretamente a movimentação de blocos das camadas superiores, acumulação destes blocos e de detritos no talude da estrada, e ainda alterações que se devem ao aparecimento de vegetação (Figura 4 (dir.)).

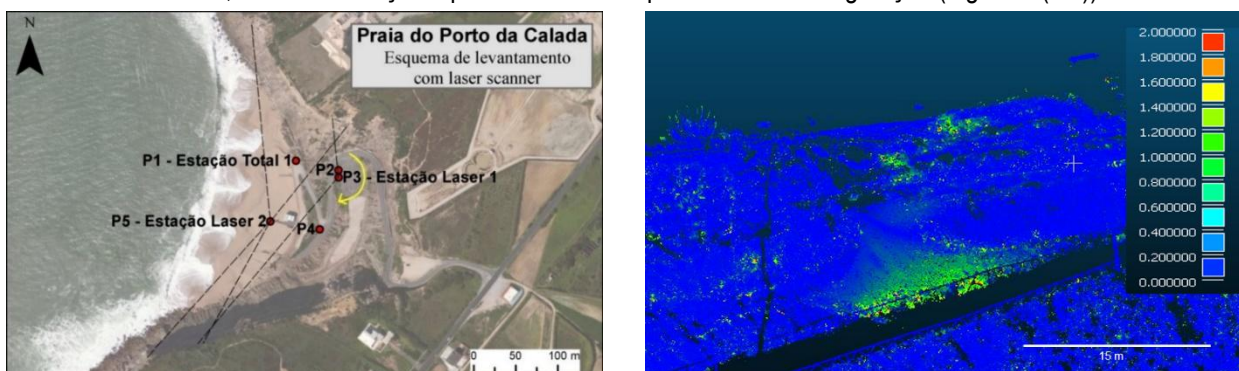


Figura 4 – Praia do Porto da Calada: (esq.) Esquema de levantamento com *laser scanner*; (dir.) Alterações detetadas por diferença de nuvens de pontos de épocas de observação sequenciais

O segmento que se apresenta na Figura 4 (dir.), o talude da estrada de acesso à praia, apresenta uma situação desvantajosa para a monitorização por *laser scanner*: a existência de uma rede metálica de contenção de blocos e detritos. Alguns feixes *laser*



poderão ser refletidos pela rede e não pela superfície natural da arriba, pelo que pequenas diferenças não poderão ser garantidamente atribuídas a alterações naturais na face do talude. Nesta situação, a existência de um levantamento fotográfico torna-se indispensável para verificar se as diferenças são reais ou falseadas por esta rede.

#### 4. Conclusões

A aplicação das técnicas apresentadas permitiu atingir os objetivos principais do trabalho de monitorização: a deteção, medição e caracterização métrica de alterações em arribas por meio de levantamentos periódicos e produção de dados para documentação e interpretação adicional. À escala regional, a situação de referência fica efetivamente definida pela aplicação da fotogrametria aérea multitemporal, que produz um inventário muito rico e preciso dos movimentos. Futuros levantamentos fotográficos aéreos da costa deverão ser trabalhados e o inventário atualizado na base de dados. À escala local, a situação de referência é definida pela primeira campanha de monitorização. Ambas as técnicas terrestres utilizadas mostraram-se adequadas para esta tarefa, produzindo resultados relevantes, apesar da complexidade da morfologia de arriba. Embora complementares, cada uma das técnicas apresenta vantagens e desvantagens. A técnica de fotointerpretação por si só é bastante acessível e constitui uma importante fonte de informação temática, mas os seus resultados não têm precisão geométrica. A fotogrametria aérea permite recolher informação radiométrica e geométrica valiosa numa janela temporal de 65 anos para vastas regiões, possibilidade que nenhuma das outras técnicas oferece, devido ao seu alcance limitado (fotogrametria terrestre) ou novidade (LiDAR terrestre ou aerotransportado). O esforço necessário ao processamento de levantamentos fotográficos aéreos recentes é considerado relativamente reduzido devido à inclusão de sistemas GPS/IMU. Os levantamentos mais antigos ainda exigem a georreferenciação indireta tradicional por aerotriangulação e definição e coordenação de pontos fotogramétricos no terreno. Devido ao elevado declive da face das arribas rochosas, as técnicas terrestres são mais adequadas para a sua monitorização, sendo que, inclusivamente, muitos movimentos de massa não afetam a parte superior da arriba mas sim a face. Estas técnicas permitem a aquisição de dados a uma distância próxima mas segura, e de uma perspetiva quase normal, tornando-as as mais adequadas para avaliação da face de arribas, embora viáveis apenas à escala local. Apesar da fotogrametria terrestre e os varrimentos com *laser scanner* serem técnicas totalmente distintas, ambas produzem resultados intermédios equivalentes tornando difícil uma comparação entre os dois métodos. Em termos de formação, *software* e processamento de dados, ambos exigem recursos equivalentes. Quanto à determinação de pontos de controlo no terreno, uma única campanha de coordenação é suficiente para vários levantamentos fotogramétricos subsequentes enquanto que, com o *laser scanner*, alvos artificiais devem ser coordenados em cada varrimento ou realizar-se a coordenação dos pontos estação do equipamento. O maior investimento necessário na aquisição de um *laser scanner* comparativamente às câmaras padrão que podem ser utilizadas nos levantamentos fotogramétricos é compensado pela possibilidade de obter dados mesmo em locais onde o acesso à base da arriba não é possível, situação exigida pela fotogrametria terrestre, a fim de obter produtos adequados. No entanto, a fotogrametria terrestre pode ser considerada a técnica mais eficaz no caso de ocorrências súbitas que necessitem de ser registadas rápida e imediatamente, pela facilidade de organização e transporte do equipamento (câmara fotográfica). Ao contrário da fotogrametria, o *laser scanner* apresenta a limitação de não poder operar corretamente sob altos níveis de humidade ou chuva, e a obtenção de dados em superfícies molhadas ser quase nula. A estabilidade da estação do *laser scanner* durante todo o levantamento é difícil de garantir em zonas arenosas. As nuvens de pontos constituem o melhor resultado para a avaliação geométrica uma vez que descrevem a superfície da face da arriba sob a forma de pontos discretos com elevada resolução espacial. Produtos derivados, como superfícies interpoladas, são propensos a mais erros, embora a integração com a maioria dos *software* seja mais fácil, especialmente para estudos de evolução onde a comparação geométrica é essencial. Recentemente, surgiram novos algoritmos de comparação direta nuvem a nuvem que se estão a revelar bastante promissores. Por último, podem ser executados modelos virtuais 3D das arribas por texturização dos modelos com base na informação fotográfica, que serão uma mais-valia para o trabalho dos técnicos em gabinete.

#### Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado através da bolsa de Doutoramento da FCT SFRH/BD/72744/2010 atribuída ao primeiro autor e ainda pelo projeto "Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo", adjudicado pela Agência Portuguesa do Ambiente, I.P./Administração da Região Hidrográfica do Tejo e financiado pelo QREN, atribuído pelo POVT (Operação POVT-12-0233-FCOES-000034). São devidos agradecimentos ao Prof. Doutor João Calvão pelos levantamentos com *laser scanner* da Praia do Porto da Calada.



## Referências Bibliográficas

- Andrade, C., Marques, F., Freitas, M.C., Cardoso, R., Madureira, P. (2002). Shore platform downwearing and cliff retreat in the Portuguese West Coast, in: Gomes, F.V. et al. (Ed.) (2002). Littoral 2002: 6th International Symposium Proceedings: a multi-disciplinary Symposium on Coastal Zone Research, Management and Planning, Porto, 22-26 September 2002: volume 2. pp. 423-431
- CloudCompare (version 2.4) [GPL Software]. EDF R&D, Telecom Paris Tech, 2011.
- Garzón, A. (2014). Recuperación Radio-geométrica de material foto-cartográfico de 1934-1938 y publicación S.I.G. en geoportal. Dissertação de Mestrado, Universidad de Extremadura. <http://avictorgm.wix.com/splal1938>, consultada em Julho de 2015.
- Glennie, C., Brooks, B., Ericksen, T., Hauser, D., Hudnut, K., Foster, J., Avery, J. (2013). Compact Multipurpose Mobile Laser Scanning System — Initial Tests and Results. *Remote Sensing*, 5 (2):521-538.
- Marques, F.M.S.F. (1998). Sea cliff retreat in Portugal: overview of existing quantitative data. *Comunicações do IGN, Lisboa*, 84 (1): C75-C78.
- Marques, F.M.S.F. (2003). Landslide activity in Upper Paleozoic shale sea cliffs: a case study along the western coast of the Algarve (Portugal). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 62 (4), 299-313.
- Marques, F.M.S.F. (2006). Rates, patterns, timing and magnitude-frequency of cliff retreat phenomena. A case study on the west coast of Portugal. *Zeitschrift für Geomorphologie - Supplementbände*, 144, p. 231-257.
- Marques, F.M.S.F. (2007). Instabilidades de arribas em três locais da costa ocidental de Portugal: distribuições no espaço, no tempo e de magnitude-frequência. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos. Volume V, APGeom, Lisboa*, 2007, p. 147-161.
- Marques, F.M.S.F., Matildes, R., Redweik, P. (2013). Sea cliff instability susceptibility at regional scale: a statistically based assessment in the southern Algarve, Portugal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 3185-3203 (doi: 10.5194/nhess-13-3185-2013) <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/3185/2013/nhess-13-3185-2013.pdf>
- Matildes R., P. Redweik, F. Marques, N. Penacho, J. Rodrigues (2012). Aplicação de técnicas de detecção remota na monitorização de litoral de arriba rochosa – Caso de estudo da Praia do Porto da Calada, Portugal. *Actas do VII Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica*. Editores: M. C. Freitas, J. Cascalho, R. Taborda, M. Ribeiro, T. Drago, C. Andrade, F. Fatela, A. Cruces. 16 - 20 de Dezembro de 2012, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Matildes, R., Redweik, P., Marques, F. (2013a). Application of remote sensing techniques for monitoring coastal cliffs: comparison and examples. 24th Annual General Meeting of the Geological Remote Sensing Group (Special interest group of The Geological Society and the Remote Sensing and Photogrammetry Society). 'Status and developments in geological remote sensing'. 9 – 11 Dezembro 2013, Berlim (Book of Abstracts).
- Matildes, R., Redweik, P., Marques, F., Penacho, N. (2013b). Application of terrestrial photogrammetry and terrestrial laser scanner periodic surveys for monitoring coastal cliff evolution – Contribution to land management projects. *Book of Abstracts of the 12th International Coastal Symposium*, p.260.
- Matildes R, Marques F, Redweik P (2014). More than 30 years of coastal cliff monitoring in Portugal: from simplified methods to new remote sensing techniques, GRSG Silver Anniversary Conference, 25 Years of Geological Remote Sensing, The Geological Society, Dec. 15-17, London.
- Redweik, P., Roque, D., Marques, A., Matildes, R., Marques, F. (2010). Triangulating the Past: Recovering Portugal's Aerial Images Repository. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76 (9): 1007-1018.
- Redweik, P. (2013). Photogrammetry. In G. Xu, editor, *Sciences of Geodesy II- Innovations and Future Developments*, pages 133-183. Springer.