

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS
FOTOGAMÉTRICAS E AMBIENTES SIG
NO ESTUDO DO RECUO DA LINHA DE COSTA
– Área do Forte Novo-Trafal, Algarve**

SÉRGIO M. CRUZ DE OLIVEIRA ¹

JOÃO CATALÃO ²

CÉLIA SOUSA ³

JOÃO ALVEIRINHO DIAS ⁴

Resumo – A aplicação de técnicas fotogramétricas no estudo da evolução da linha de costa tem vindo a ser desenvolvida, dadas as potencialidades que daí advêm, para definir os valores referentes às taxas médias de recuo de alguns troços do litoral algarvio, considerando-se para tal a totalidade da área de estudo. Desta forma, testou-se a aplicabilidade destas técnicas ao sector do Forte Novo-Trafal, no sotavento algarvio, para o período 1991/2001, integrando os elementos restituídos em ambientes de SIG, com o objectivo de calcular os valores de recuo dos sectores de arriba e respectivo contributo em termos de volumes de sedimentos para a deriva litoral. Para aquele período registou-se um recuo médio da arriba para o sector do Forte Novo de cerca de 22,70m, correspondendo a um recuo médio anual de 2,27m. Por sua vez, o sector do Trafal registou um recuo médio menos acentuado, de 8,40m que corresponde a um recuo por ano na ordem dos 0,84m. O contributo destes dois sectores de arriba em termos de volumes de sedimentos foi estimado em 121 467m³ no total, contribuindo para a deriva litoral, neste período, com 10 932m³/ano. Apesar de se estar a trabalhar com técnicas fotogramétricas de elevada precisão com erros na ordem dos 0,20m, a exactidão dada pelo Erro Médio Quadrático referente à posição relativa de cada elemento restituído foi de 0,60m, em grande parte devido à diferença de escalas entre o voo de referência utilizado e o de comparação.

Palavras-chave: Fotogrametria, fotografia aérea, erosão costeira, Forte Novo-Trafal.

¹ Centro de Estudos Geográficos, Univ. de Lisboa. E-mail: cruzdeoliveira@fl.ul.pt

² LATTEX – Laboratório de Tecnofísica Tectónica Experimental, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. E-mail: jcfernandes@fc.up.pt

³ Instituto Nacional de Garantia Agrícola. E-mail: celia.sousa@iol.pt

⁴ FCMA, Universidade do Algarve. E-mail: jdias@ualg.pt

Abstract – PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUES AND GIS ENVIRONMENT FOR SEA CLIFF RETREAT ASSESSMENT (FORTE NOVO-TRAFAL AREA, ALGARVE). High-accuracy photogrammetric techniques were used in order to assess the sea cliff retreat in the area of Forte Novo-Trafal (Algarve) in the 1991/2001 period. They yielded an estimate of the top cliff retreat for Forte Novo of 22.7m, and of 8.4m for Trafal. The sediment volume that has been lost from the cliffs is around 121.467m³. The relative precision obtained in this study by the photogrammetric measurement of the errors in horizontal position for some control elements is of 0.60m, and it is this value that determines the accuracy of the retreat rates for the ten-year period.

Key words: Photogrammetry, aerial photographs, shoreline retreat, Forte Novo-Trafal

Resumé – UTILISATION DE TECHNIQUES PHOTOGRAMMÉTRIQUES DANS L'ÉTUDE PAR SIG DU REcul DES LIGNES DE CÔTE (FORTE NOVO-TRAFAL, ALGARVE). Les techniques photogrammétriques permettent de définir les valeurs moyennes de recul des lignes de côte. On les a testées dans le secteur Forte Novo-Trafal (Algarve) pour la période 1991/2001. Intégrés en milieu SIG, les résultats ont permis de calculer la contribution des sédiments résultant du recul de la falaise au transport par la dérive littorale. À Forte Novo, le recul moyen annuel de la falaise a été de 2,27m, et de 0,84m dans le secteur de Trafal. Le volume total de sédiments provenant de ces deux secteurs a été estimé à 121 467m³ et la contribution moyenne à la dérive littorale à 10 932m³/an. Bien que la précision relative des techniques photogrammétriques employées soit de l'ordre de 0,20m, la position relative des éléments restitués comporte une erreur moyenne de 0,60m, à cause de la différence d'échelle des deux vols utilisés.

Mots-clés: Photogrammétrie, photographies aériennes, érosion côtière, Forte Novo-Trafal.

I. INTRODUÇÃO

Vários troços do litoral português são actualmente caracterizados por intensa erosão costeira. Este comportamento marcadamente transgressivo do litoral é induzido, em grande medida, por acções antrópicas, com especial relevância para as que promovem deficiências de abastecimento sedimentar (como a construção de barragens, a exploração de inertes fluviais e as dragagens portuárias), e para as que conduzem à degradação das estruturas defensivas naturais (como os campos dunares costeiros e as barras arenosas submarinas). Quando há património construído em risco, é habitual combater a erosão costeira com estruturas rígidas, ditas de *protecção costeira*, as quais, no entanto, em geral apenas transferem os problemas, a maior parte das vezes de forma agravada, para sotamar. Nalguns troços a erosão costeira é, ainda, fortemente amplificada pela construção de molhes de entrada em instalações portuárias, que interrompem ou debilitam fortemente a deriva litoral (DIAS, 1990; DIAS *et al.*, 2000).

A faixa costeira entre Forte Novo e Garrão, a oriente de Quarteira (sotavento algarvio) é um bom exemplo de um litoral de arribas sujeito a acentuada

erosão costeira, em que esta foi amplificada pela construção de estruturas rígidas (molhes de entrada da Marina de Vilamoura e campo de esporões de Quarteira).

Este assunto tem vindo a ser estudado desde o início da década de 80 do século passado (GRANJA, 1984; DIAS, 1984, 1986, 1988; BETTENCOURT, 1985; MARQUES e ROMARIZ, 1997; MARQUES, 1991; ANDRADE *et al.*, 1991; ANDRADE, 1990; PEREIRA, 1996), utilizando métodos diversificados (comparação cartográfica, medições directas em fotografia aérea vertical, medições periódicas no terreno, técnicas fotogramétricas, etc.). Como tal, pode afirmar-se que o caso de Forte Novo-Garrão é cientificamente bem conhecido. No entanto, atendendo à dinâmica dos processos envolvidos e à variabilidade temporal que os caracteriza, é de elevada relevância proceder ao acompanhamento (monitorização) da evolução das taxas de recuo, tanto de curto, como de médio e longo prazo, o que adquire mais ampla expressão quando se consideram as recentes intervenções efectuadas neste troço costeiro. Nomeadamente a construção do porto de pesca de Quarteira⁵ entre 1997 e 1999 e a realimentação da praia de Vale do Lobo, em 1998. Como se referiu, parte dos autores que estudaram o recuo da linha de costa no sector considerado utilizaram fotografia aérea, embora apenas CORREIA (1996b) e CORREIA *et al.* (1995, 1996) tenham recorrido a técnicas de restituição fotogramétrica.

A aplicação de técnicas de restituição fotogramétrica de elevada precisão e a integração dos dados obtidos através da restituição das fotografias aéreas em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possibilita a cobertura total da área de estudo, traduzindo-se num melhor conhecimento dos parâmetros que definem as taxas de recuo e os volumes envolvidos. Neste sentido, foi desenvolvido um estudo piloto de forma a avaliar a aplicação das técnicas fotogramétricas no estudo da erosão costeira para o Algarve (CATALÃO *et al.*, 2000; 2002).

Este trabalho tem dois objectivos principais: a) aplicar os métodos desenvolvidos no estudo piloto atrás referido, ao período de 1991/2001, e aplicar os resultados obtidos na restituição em ambientes SIG de forma a tratar automaticamente os dados provenientes da restituição fotogramétrica; b) estimar as taxas recentes de recuo da linha de costa em Forte Novo e no Trafal, comparando-as com resultados anteriormente obtidos, por forma a definir as tendências actuais da evolução deste troço costeiro.

II. ÁREA DE ESTUDO

O troço costeiro Forte Novo-Trafal encontra-se localizado no sotavento do Algarve, a Este de Quarteira. A área de estudo situa-se entre o campo de esporões de Quarteira e a foz da Ribeira de Carcavai (fig. 1). Com uma orientação domi-

⁵ Através da reformulação do campo de esporões de Quarteira, com a implementação de dois quebra-mares enraizados (Oeste – 550m e Este – 350m) em dois dos esporões existentes, no n.º 5 e n.º 7 respectivamente, e consequente desmonte do esporão n.º 6.

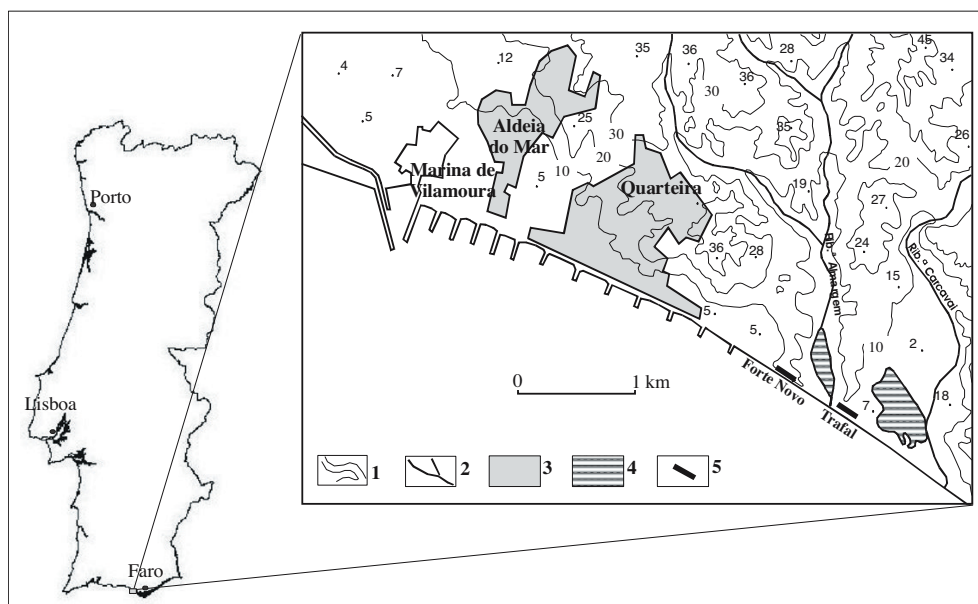


Fig. 1 – Localização dos sectores de arriba do Forte Novo e do Trafal.
1) topografia, 2) cursos de água, 3) áreas urbanas, 4) laguna costeira/sapal e 5) troços de arriba em estudo.

Fig. 1 – Forte Novo and Trafal sea cliffs location. 1) topography, 2) streams, 3) urban areas, 4) coastal lagoon/salt marsh and 5) cliff sectors.

nante NW-SE, que parece dever-se à direcção da agitação marítima dominante (DIAS, 1988), as arribas são talhadas em formações de idade Plio-Plistocénica, sendo constituídas essencialmente por areias médias a grosseiras, subarcósicas, envolvidas num suporte matricial argiloso vermelho vivo (MOURA *et al.*, 1999).

Os vários trabalhos que incidiram sobre este troço costeiro proporcionaram um conhecimento bastante completo da evolução da linha de costa na segunda metade do século xx. Como seria de esperar, os resultados obtidos pelos diferentes autores apresentam variações significativas, dependentes dos períodos analisados e das técnicas utilizadas. No entanto, verifica-se convergência dos diferentes resultados na indicação de forte aumento das taxas médias anuais de recuo da linha de costa após a construção, no início da década de 70 do século passado, dos molhes de Vilamoura e do campo de esporões de Quarteira.

Relativamente ao período 1991/2001, vários foram os autores que, com base em medições, no terreno, entre a crista da arriba e elementos bem identificáveis no terreno, definiram valores médios de recuo para períodos curtos.

Assim, com base na utilização de transectos, para definir o recuo médio das arribas, MARQUES (1997), entre Fevereiro de 1990 e Fevereiro de 1996, apontou um recuo de 0,67m/ano para o Forte Novo (3 transectos) e de Janeiro de 1991 a

Fevereiro de 1996, 0,69m/ano para o Trafal (7 transectos); PEREIRA *et al.* (1997) registaram, entre Outubro de 1995 a Janeiro de 1997, um recuo de 8,5m para o Forte Novo (9 transectos), e de 2,26m para o Trafal (8 transectos) e CORREIA (1996b), observou um recuo para os dois sectores (2 transectos no Forte Novo e 3 transectos para o Trafal), inferior a 0,25m/ano. A discrepância dos resultados provenientes de medições do recuo das arribas no curto prazo reflecte assim duas situações distintas: por um lado, a utilização de medições de terreno com o intuito de se determinarem valores médios de recuo das arribas no curto prazo deve ser analisada com cuidado, uma vez que os valores obtidos serão tanto mais fiáveis quanto maior o numero de transectos realizados e, por outro, as taxas médias anuais de recuo da linha de costa referentes a períodos curtos traduzem essencialmente a frequência e a intensidade dos temporais ocorridos nesse período, não podendo ser extrapolados linearmente para períodos mais longos, em que a forte variabilidade interanual fica amortecida. No entanto, é a análise interpretativa dos recuos de curto prazo que permite conhecer mais pormenorizadamente os processos evolutivos e melhor perceber as variações das taxas médias de recuo para o médio ou longo prazo.

Neste troço costeiro e devido às suas particularidades, os principais processos responsáveis pelas elevadas taxas de recuo verificadas nestes sectores de arribas prendem-se com: a) uma forte erosão marinha, relacionada com a ocorrência de temporais, em particular durante o Inverno, através do sapamento da base pela ondulação incidente (aumento da pressão provocada pelo choque, descompressão resultante da sucção provocada pelas correntes de refluxo e provavelmente alguma metralhagem), verificando-se posteriormente a ocorrência de desabamentos por falta de sustentação do maciço; b) ocorrência de intensos períodos de precipitação, que favorecem uma acentuada erosão sub-aérea dependente do escoamento superficial, de uma forma canalizado, originando sulcagem e ravinamentos ou através de escoamento difuso em *toalha*, originando uma erosão pelicular mais generalizada; c) ocorrência de deslizamentos desencadeados pela precipitação, através da diminuição da resistência ao corte do maciço e aumento das tensões tangenciais. De salientar, ainda, a acção do vento e de alguns seres vivos na desagregação granular que provocam e o papel das árvores que, através das suas raízes, originam um alargamento das fendas de tracção, uma maior infiltração de água e, quando agitadas por ventos fortes, um aumento das vibrações, no topo das arribas. A crescer a estas situações há uma amplificação antrópica, devida, entre outros factores, à circulação de veículos no topo das arribas, ao escavamento pontual das arribas (*graffitti* desenhados pelos turistas), alguma impermeabilização dos solos e deficiente rede de drenagem pluvial (DIAS, 1992).

III. FOTOGRAFIA AÉREA

Neste estudo foram utilizadas fotografias aéreas verticais, com diferentes escalas e correspondendo a dois voos distintos. O voo de referência utilizado

correspondeu ao de 1991, efectuado pelo actual Instituto Geográfico Português, numa escala média de 1:33 000. Este foi comparado com um voo de 2001, do CIACOMAR (Centro de Investigação dos Ambientes Costeiros e Marinhos), na escala média de 1:8 000. As fotografias aéreas utilizadas foram tiradas com uma câmara fotográfica WILD RC20 tendo o avião, no voo de 2001, sido equipado com um sistema de posicionamento GPS e um sistema de navegação APLANIX. Em ambos os voos são conhecidos os parâmetros focais das lentes utilizadas, que permitem a calibração das mesmas, bem como as distâncias entre as marcas fiduciais, que se apresentam em ambos os casos bem identificadas. O conhecimento exacto destes parâmetros permitiu que se procedesse à orientação interna das respectivas fotografias.

IV. ORIENTAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Qualquer medição efectuada sobre as fotografias métricas deve compreender o exacto conhecimento das relações matemáticas entre as coordenadas de todos os elementos na imagem e as correspondentes coordenadas no terreno, sendo estas as equações de colinearidade que constituem o modelo univocamente aceite na fotogrametria analítica (CATALÃO *et al.*, 2000). O primeiro factor a ter em conta é que as fotografias aéreas não estão afectas a uma projecção cartográfica. Logo, tornou-se necessário, através da transformação das equações atrás referidas, efectuar a transposição de um sistema de coordenadas centrado no eixo óptico da câmara (que origina uma distorção radial), para um sistema de coordenadas conforme, sem deformação angular, preservando as áreas/formas dos diversos elementos a analisar. É este o processo que, com base no exacto conhecimento dos parâmetros referentes ao tipo de câmara utilizada e ao conhecimento das distâncias calibradas entre as marcas fiduciais, constitui o processo de *Orientação Interna* ou *Absoluta* das fotografias aéreas.

A *Orientação Externa* ou *Relativa*, por sua vez, pressupõe o conhecimento das coordenadas reais de pontos de terreno também designados por Pontos Fotogramétricos (PF). Para determinar as coordenadas reais dos Pontos de controle de Terreno (PT) efectuaram-se duas campanhas de localização, utilizando o sistema GPS, em diferentes datas (a primeira para medição das coordenadas e a segunda para aferição dos resultados obtidos na anterior), tendo sido utilizado para o efeito um aparelho GPS TRIMBLE 4700, em modo estático, através da utilização de um sistema de posicionamento diferencial. Este consistiu no uso de duas antenas receptoras GPS, uma antena fixa ou base, localizada num ponto de coordenadas conhecidas e uma outra, *rover* ou ambulante, que registou durante o tempo necessário os dados referentes às coordenadas de cada ponto previamente escolhido em gabinete. A escolha dos pontos foi, por isso, uma fase importante do processo, na medida em que o número de pontos necessários depende do número de fotografias a utilizar (este tipo de posicionamento de GPS permite a correcção diferencial das coordenadas dos pontos fotogramé-

tricos, podendo esta correcção ser efectuada em tempo real ou, como no caso deste trabalho, posteriormente em gabinete). Logo, o rigor da informação a extrair das fotografias aéreas não pode ser superior ao rigor obtido na determinação das coordenadas dos pontos de controle de terreno em que é baseada (WOLF, 1983; MOORE, 2000). A escolha dos pontos de terreno foi efectuada cuidadosamente, garantindo-se que fossem de fácil identificação no terreno, estivessem presentes nas duas épocas a analisar e que não fossem passíveis de sofrer alterações da sua estrutura física com o tempo.

Uma vez determinados os pontos de controlo no terreno, procedeu-se ao processo de triangulação aérea das fotografias. Desta forma, aumentou-se a rede de pontos de controle existentes, por leitura directa na fotografia das coordenadas de terreno de elementos bem identificados nas mesmas. Os processos atrás referidos foram efectuados com base num estereorestituidor analítico ZEISS PLANICOMP P1, conectado a um computador. Este sistema permitiu, assim, para além da orientação dos pares estereoscópios, a restituição da fotografia aérea propriamente dita, através da transferência da vectorização dos elementos a analisar para *software* de edição de dados a três dimensões.

V. RESTITUIÇÃO FOTOGAMÉTRICA E RESULTADOS

Com o objectivo de determinar o valor das taxas médias de recuo para o período em questão, bem como os volumes envolvidos, procedeu-se à restituição fotogramétrica das fotografias aéreas. Esta consistiu, essencialmente, na vectorização de linhas correspondentes ao topo e à base da arriba, bem como da linha de cota dos 0m, referente ao nível médio das águas do mar. Por outro lado foram construídos dois *modelos topográficos* derivados da restituição fotogramétrica dos voos de 1991 e 2001, com um espaçamento entre curvas de nível de 1 metro. A restituição fotogramétrica da topografia para cada um dos voos, a par com o trabalho de campo, necessário ao exacto conhecimento das coordenadas dos pontos de controlo de terreno, constituíram grande parte do esforço necessário à persecução dos objectivos deste trabalho. Os dados provenientes da restituição fotogramétrica foram posteriormente integrados num SIG, processados e elaborados novos elementos cartográficos referentes ao recuo do topo da arriba. Por outro lado, a elaboração de *Modelos Digitais de Terreno* (MDT) permitiu ter um melhor conhecimento espacial das variações ablação/acreção verificadas neste troço costeiro, para o período 1991/2001.

Através da observação dos dados obtidos por restituição do topo e da base da arriba é evidente o recuo generalizado e rápido a que estas arribas foram sujeitas entre 1991 e 2001. Também se observou que a base da arriba, nestes dois sectores, recuou, de forma geral, paralelamente ao topo. Se atendermos à tendência para a verticalidade apresentada por estas arribas e ao facto dos materiais depositados na base da arriba serem facilmente removíveis durante situações de temporal, podemos considerar a crista da arriba como um bom

indicador da evolução da linha, apropriado para este tipo de litoral (CROWELL *et al.*, 1991) e que, de algum modo, ratifica o trabalho desenvolvido pela generalidade dos autores ou dos trabalhos anteriores.

Os resultados obtidos com o processamento dos dados provenientes da restituição fotogramétrica apresentam-se compilados no Quadro I, sendo os métodos utilizados para os obter descritos adiante. Para o período de dez anos considerado verificou-se, no sector do Forte Novo, um valor máximo e mínimo de recuo de, respectivamente, 28,54m e 15,71m. Já para no Trafal o recuo máximo registado foi de 16,35m e o mínimo de 3,26m.

Quadro I – Parâmetros métricos obtidos através das fotografias aéreas, utilizados no estudo da evolução das arribas do Forte Novo e do Trafal para um período de dez anos, tendo como referência o ano de 1991.

Table I – Metric parameters obtained through aerial photographs, to access sea cliff retreat evolution for Forte Novo-Trafal in a ten-year period, having for reference the year 1991.

1991/2001	Forte Novo	Trafal
Comprimento (m)	367,7	387,6
Recuo da crista (m ²)	8 332,8	3 246,4
Recuo Médio (m)	22,7	8,4
Taxa de recuo (m/ano)	2,27	0,84
Altura média da arriba (m)	11,92	6,82
Comando médio da arriba (m)	9,35	4,15
Volumes envolvidos ⁶ (m ³)	77 912	13 472
Volumes envolvidos ⁷ (m ³)	99 327	22 140
Taxa volumes (m ³ /ano)	9 932,7	2 214

Estes dois sectores não tiveram uma evolução similar, como já se apontava na maioria dos trabalhos publicados, apresentando o sector do Forte Novo um maior recuo, com um recuo médio, para cerca de 368m de comprimento, de 22,7m, no período entre 1991 e 2001, e uma taxa média de recuo de 2,27m/ano. Por sua vez, o sector do Trafal, com um comprimento da arriba de 388m, apresentou valor de recuo médio de apenas 8,4m, resultando numa taxa de recuo anual de 0,84m. Estes cálculos, relativos às taxas médias de recuo, foram efectuados recorrendo à vectorização dos polígonos correspondentes à posição do topo da arriba nas duas datas (fig. 2). O integral da área de cada polígono foi depois dividido pelo comprimento do sector de arriba em metros, obtendo-se os valores relativos ao recuo médio com base na totalidade da área perdida (m²).

⁶ Volumes obtidos utilizando o comando médio das arribas entre 1991 e 2001.

⁷ Volumes obtidos utilizando a altitude média do topo das arribas entre 1991 e 2001.

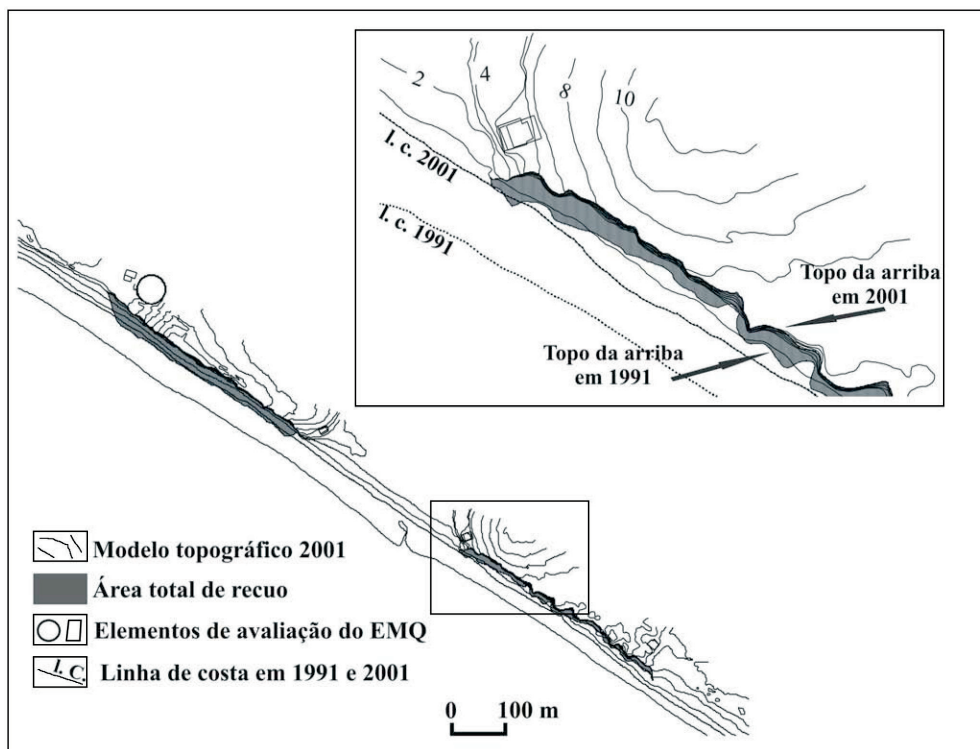


Fig. 2 – Total de área perdida do topo das arribas entre 1991 e 2001.

Fig. 2 – Total amount of cliff edge lost area from 1991 to 2001.

Para o cálculo dos volumes envolvidos foi usado o integral da área erodida do topo da arriba pela altura média da mesma (11,92m – Forte Novo; 6,82m – Trafal). Foi estimado que o volume total de material disponibilizado pelas arribas do Forte Novo e do Trafal, de 1991 a 2001, foi de cerca de $121\,467\text{m}^3$, ou seja, em média, cerca de $12\,147\text{m}^3/\text{ano}$. Contudo o volume de sedimentos provenientes da erosão destes sectores de arribas não servirá, na sua totalidade para alimentar as praias adjacentes.

ANDRADE (1990) calculou a parte de sedimentos provenientes das arribas que fica retida na praia com base na porosidade do material da arriba, na percentagem da distribuição de textura útil (por comparação entre a distribuição granulométrica das areias presentes na praia e as provenientes da erosão das arribas) e na porosidade das areias da praia. Recentemente, CORREIA *et al.* (1997), através de amostras recolhidas nos sectores de arriba entre Forte Novo e Vale do Lobo e nas praias adjacentes, obteve um factor de retenção de sedimentos nas praias para a área de estudo de 0,9, superior aos 0,75 definidos anteriormente por ANDRADE (1990). Neste contexto, optou-se por aceitar que a fracção de

sedimentos, debitada pelos sectores de arriba do Forte Novo e do Trafal e que fica retida na praia adjacente será da ordem dos 90%, considerando uma maior proximidade aos valores apresentados por CORREIA *et al.* (1997), uma vez que reportaram as análises granulométricas aos sectores de arriba e praias atrás referidos. Desta forma e para este período, podemos estimar, ainda que grosseiramente, que cerca de 10 932m³/ano terá sido o volume máximo de sedimentos retidos nas praias adjacentes do total debitado pelos sectores de arribas do Forte Novo e Trafal, entre 1991 e 2001. Estes valores encontram-se assim abaixo dos verificados para o período 1983/1991 por CORREIA *et al.* (1997), que estimaram o volume de material proveniente das arribas do Forte Novo e do Trafal em 23 765m³/ano e o produto destas retido na praia em 21 433m³/ano, em virtude do menor recuo destes troços de arribas entre 1991/2001 face ao período anterior.

Testou-se ainda a utilização do comando da arriba para determinar o volume total erodido e não a altura da mesma. Os resultados obtidos por este processo (Quadro I) deverão estar certamente calculados por defeito, uma vez que as coberturas fotográficas tendem a ser efectuadas em situações de estabilidade atmosférica (em grande parte de Verão), existindo, conseqüentemente, forte possibilidade do perfil de praia reflectir uma situação de calmaria, aumentando a probabilidade da base da arriba estar coberta por sedimentos acumulados na praia. A utilização deste método implicou uma redução de cerca de 25% do débito de sedimentos para a praia adjacente neste período, face à utilização da altura da arriba, cujo limite inferior corresponde ao *datum* altimétrico de referência (nível médio das águas do mar). Com efeito, a diminuição em 3 a 4 metros de altura na arriba fez-se acompanhar da respectiva redução volumétrica (30 083m³) em função da área total de recuo verificada.

O passo seguinte foi a elaboração de *Modelos Digitais de Terreno* (MDT), para os dois anos em estudo, com base nos *modelos* topográficos provenientes da restituição fotogramétrica, em formato *raster* e com uma malha de *pixels* de 1m de largo. A sobreposição destes possibilitou, *a posteriori*, analisar a distribuição dos materiais provenientes das arribas pelos sectores de praia adjacentes. A análise do Modelo Digital de Terreno (fig. 3), correspondente à subtracção do modelo criado para 1991 pelo modelo de 2001, permitiu verificar que não houve lugar a significativa acreção em todo o troço costeiro em estudo. Com efeito as áreas onde se verificou acumulação de sedimentos neste período correspondeu apenas ao sector de praia/cordão dunar frontal que fecha o sector terminal da Ribeira do Carcavai, tendo-se observado aí variações positivas de material acumulado, de pouco mais de 0,5m. Em relação ao sector terminal da Ribeira de Almargem, localizada entre o sector do Forte Novo e do Trafal, e apesar da abertura da laguna registada no voo de 1991, não se verifica acumulação significativa de materiais.

Em relação às outras áreas de acumulação visíveis na figura, com excepção da área junto ao ultimo esporão de Quarteira que talvez tenha a sua origem em movimentações de materiais de origem antrópica, o restante corresponderá a ruído provocado pela insuficiente prolongamento das curvas de nível em ambos

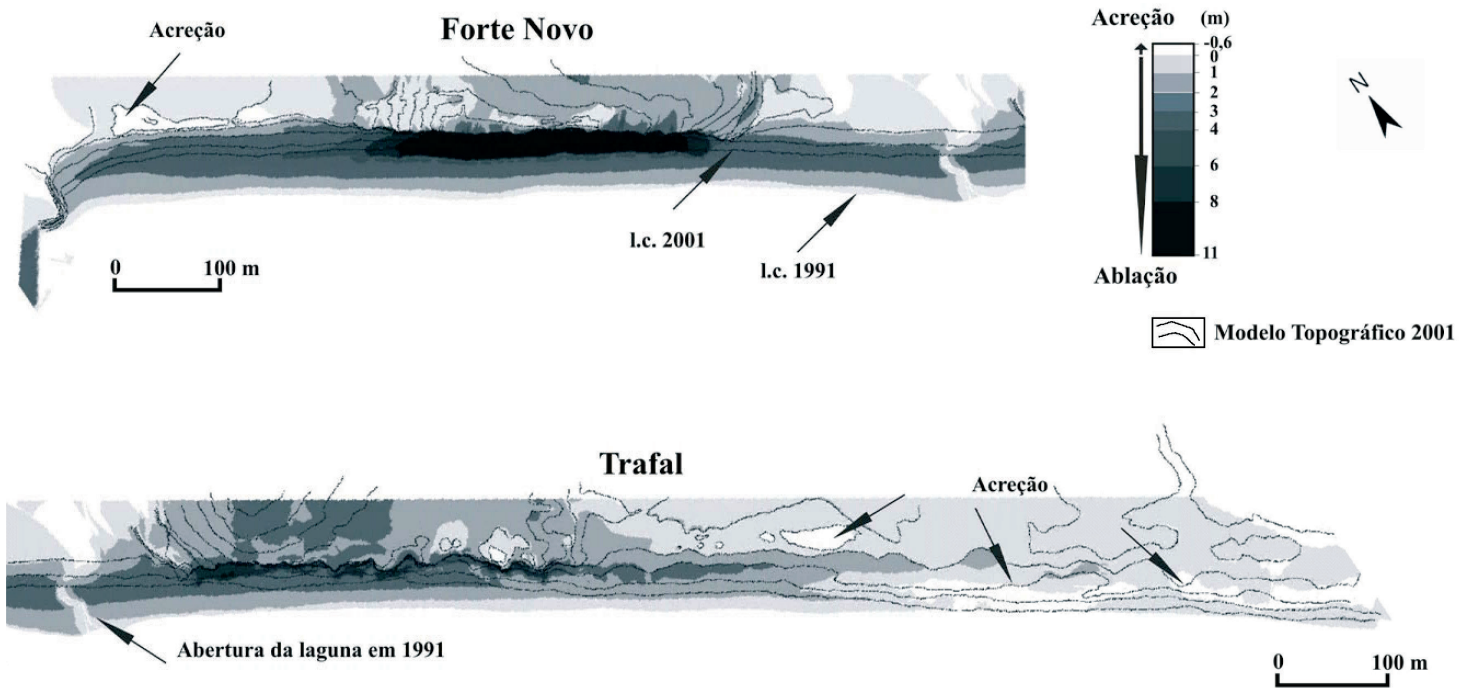


Fig. 3 – Modelo de trocas de materiais entre as arribas e as praias adjacentes entre 1991 e 2001.

Fig. 3 – Changes in material availability from the beach cliff system between 1991 and 2001.

os modelos ou provocado pelos fracos valores de acumulação registados (entre 0 e pouco mais de 0,5m).

No que diz respeito às áreas de ablação, estas abrangem praticamente todo o modelo, como seria de esperar, atendendo a que estas arribas apresentam um perfil que tende para a verticalidade, com um recuo da base paralelo ao topo e em que os materiais acumulados na base são facilmente removíveis pela acção do mar em situações de temporal. Através da análise da figura 3 pudemos verificar que a transferência de materiais da arriba para a praia adjacente, tendo em conta o comando destas, processou-se na totalidade. Assim, seria de esperar que o produto da erosão das arribas contribuísse para um aumento do volume de areias existente na praia, considerando o seu factor de rendimento para constituir areias de praia. Na verdade, não se verifica um aumento volumétrico da praia adjacente que conseqüentemente iria contribuir para uma maior protecção das arribas, face à acção da ondulação incidente, mas um recuo paralelo desta, mimetizando o recuo generalizado deste troço costeiro. Estes factos levam-nos a pensar que, durante este período, os sedimentos disponibilizados por este troço de arribas para a praia adjacente com capacidade para aí ficarem retidos foram claramente insuficientes para a manter e que terão sido remobilizados e incorporados na deriva litoral, cuja resultante para Leste, deve situar-se actualmente acima dos 50 000m³/ano (CORREIA *et al.*, 1997).

VI. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A incerteza que envolve o posicionamento de cada elemento linear restituído foi avaliada de forma a se caracterizar o erro inerente ao processo de restituição efectuado. A precisão obtida durante a orientação dos pares estereoscópios foi de 0,10m em x, y e z para cada um dos anos em estudo, possibilitando uma precisão absoluta nos resultados obtidos de 0,20m. Por outro lado, os estudos multitemporais carecem também da avaliação referente à incerteza posicional relativa, existente entre os elementos restituídos em cada um dos dois anos em estudo. Para avaliar a incerteza relativa foram restituídos fotogrametricamente alguns elementos como casas e, no caso do Forte Novo, da *estrutura circular*, de forma a estimar os erros de precisão e de exactidão inerentes aos valores mensuráveis fotogrametricamente em x e y. Obteve-se, dessa forma, um valor de precisão relativa, dado pelo desvio padrão dos erros obtidos, de 0,37m. No entanto, a medida de exactidão posicional horizontal apenas é expressa pela raiz quadrada do quadrado dos erros médios eliminando assim o erro circular inerente às medições em x e y obtidas nos dois anos para um mesmo elemento. O assim designado EMQ (Erro Médio Quadrático) dos erros medidos nos elementos restituídos foi de 0,6m, e são estes 0,6m que constituem a incerteza posicional referente ao traçado do topo e base da arriba para os anos em

questão. Devemos considerar aqui o peso da escala do voo de referência de 1991, efectuado numa pequena escala (1:33 000), face ao de 2001, de grande escala (1:8 000), traduzindo-se numa maior incerteza referente aos elementos restituídos, sendo responsável em grande parte pelo valor de incerteza posicional relativa de 0,6m encontrada para o período de estudo. Desta forma, obtemos para o Forte Novo uma taxa de recuo médio da arriba de 22,7m e para o Trafal de 8,4m.

VII. CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos através da restituição fotogramétrica permitiu definir um recuo médio, entre 1991 e 2001, de 22,7m para o Forte Novo, e de 8,4m para o Trafal, com uma exactidão, referente ao erro relativo de posicionamento dos vários elementos restituídos, de 0,6m para a totalidade dos dez anos em estudo. É claramente acentuado o recuo verificado neste período, para este troço costeiro. Contudo, apesar de se ter registado, no passado recente, tendência para o aumento das taxas médias de recuo das arribas neste troço costeiro (CORREIA *et al.*, 1995, 1996), entre 1991 e 2001, embora com resultados consentâneos com as ordens de grandeza apresentados para períodos anteriores, nomeadamente 1983/1991, verificou-se uma tendência para a diminuição das taxas médias de recuo. Por outro lado, acentuaram-se as diferenças em termos de valores médios de recuo entre os sectores de Forte Novo e do Trafal para o período em estudo. Este recuo médio mais elevado pode reflectir, no caso do Forte Novo, as recentes intervenções levadas a cabo em Quarteira, nomeadamente a construção do porto de pesca e a proximidade deste ao ultimo esporão localizado a oriente de Quarteira, ou no caso do Trafal, o volume de sedimentos da deriva ser enriquecido com o produto da erosão das arribas do Forte Novo. Para o cálculo dos volumes optou-se por usar a altura média da arriba, em detrimento do comando, concluindo-se que o volume de material disponibilizado por estas para o litoral adjacente foi de cerca de de 99 327m³, no caso do Forte Novo, e de cerca 22 140m³ no Trafal. Do volume total de sedimentos debitados pelos sectores de arriba estimou-se ainda que a fracção retida na praia não deve ter excedido um valor médio de 10 932m³/ano.

A aplicação de técnicas fotogramétricas e a integração dos dados restituídos, em estudo da dinâmica costeira, têm vindo a ser desenvolvidos no sentido de se obterem valores de taxas de recuo da linha de costa e de volumes envolvidos, tendo em conta a totalidade da área de estudo, eliminando desta forma o carácter aleatório da localização de transectos para avaliar o recuo médio da arribas, tornando mais rigorosos os resultados obtidos.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, C. (1990) – *O Ambiente de barreira da Ria Formosa, Algarve, Portugal*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa (não publicado).
- ANDRADE, C.; VIEGAS, A. L.; TOMÉ, A. M. B. e ROMARIZ, C. (1991) – Erosão do Litoral Cenozóico do Algarve. *Geolis*, Lisboa, 3: 261-270.
- BETTENCOURT, P. (1985) – *Géomorphologie et processus d'évolution récente de la Côte Sotavento (Algarve Sud Portugal)*. Thèse D.E.A., Université de Bordeaux I, Bordeaux, France (não publicado).
- CATALÃO, J.; CATITA, C.; MIRANDA, J. M. e DIAS, J. A. (2000) – Aplicação de técnicas fotogramétricas na medição de taxas de recuo de arribas do Algarve: Olhos de Água – Quarteira. *Ingenium*, Lisboa, 46: 82-86.
- CATALÃO, J.; CATITA, C.; MIRANDA, J. M. e DIAS, J. A. (2002) – Photogrammetric analysis of the coastal erosion in Algarve (Portugal). *Géomorphologie*, 2: 119-126.
- CORREIA, F.; DIAS, J. M. A. and BOSKI, T. (1994) – The retreat of Eastern Quarteira cliffed coast and its possible causes (preliminary results). *Gaia*, Lisboa, 9: 119-122.
- CORREIA, F.; DIAS, J. M. A. e BOSKI, T. (1995) – *Determinação do recuo das arribas situadas a oriente de Quarteira por restituição fotogramétrica: evolução entre 1958 e 1991*. 8.º Congresso sobre o Algarve, Comunicações: 405-411.
- CORREIA, F.; DIAS, J. M. A.; BOSKI, T. and FERREIRA, Ó. (1996) – The retreat of the Eastern Quarteira cliffed coast (Portugal) and its possible causes. In JONES, P. S.; HEALY, M. G. and Williams, A. T. (eds.) – *Studies in Coastal Management*. Samara Publ. Ltd., Cardigan: 129-136.
- CORREIA, F. (1996b) – *Estudo do recuo das arribas a Leste de Quarteira (Algarve, Portugal), por restituição fotogramétrica*. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Estudos Marinhos e Costeiros – Ramo Gestão Costeira, Universidade do Algarve.
- CORREIA, F.; FERREIRA, Ó. e DIAS, J. A. (1997) – *Contributo das arribas para o balanço sedimentar do sector costeiro Quarteira – Vale do Lobo (Algarve - Portugal)*. Seminário sobre a zona Costeira do Algarve, Faro: 31-39.
- CROWELL, M.; LEATHERMAN, S. P. and BUCKLEY, M. K. (1991) – Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, Fort Lauderdale, Florida, 7: (3): 839-852.
- DIAS, J. A. (1984) – *Evolução geomorfológica das arribas do Algarve*. 3.º Congresso sobre o Algarve, Comunicações, 2: 579-587.
- DIAS, J. A. (1986) – *Observações sobre a origem das areias das ilhas barreiras da Ria Formosa*. 4.º Congresso sobre o Algarve, 1: 705-712.
- DIAS, J. A. (1988) – Aspectos Geológicos do Litoral Algarvio. *Geonovas*, Lisboa, 10: 113-128.
- DIAS, J. M. A. (1990) – A evolução actual do litoral Português. *Geonovas*, Lisboa, 11: 15-27.
- DIAS, J. M. A. e NEAL, W. (1992) – Sea cliff retreat in southern Portugal: profiles, processes and problems. *Journal of Coastal Research*, Fort Lauderdale, Florida 8(3): 641-654.
- DIAS, J. M. A.; BOSKI, T.; RODRIGUES, A. e MAGALHÃES, F. (2000) – Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present – A Synthesis. *Marine Geology*, 170: 177-186.

- GRANJA, H. (1984) – *Etude géomorphologique, sédimentologique et géochimique de la Ria Formosa (Algarve, Portugal)*. Thèse 3^e Cycle, Université de Bordeaux I, Bordeaux, France (não publicado).
- MARQUES, F. M. S. F. (1991) – *Taxas de recuo das arribas do litoral do Algarve e a sua importância na avaliação de riscos geológicos*. Seminário A Zona Costeira e os Problemas Ambientais (EUROCOAST), 18-20 Setembro 1991, Aveiro, 1: 100-108.
- MARQUES, F. M. S. F. (1997) – *As arribas do Litoral do Algarve – dinâmica, processos e mecanismos*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (não publicado).
- MARQUES, F. M. S. F. e ROMARIZ, C. (1997) – *Nota preliminar sobre a evolução das arribas litorais*. 4.º Congresso Nacional de Geotecnia, 2-4 Outubro 1991, LNEC, Lisboa, 1: 57-66.
- MOORE, L. J. (2000) – Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, Fort Lauderdale, Florida, 16 (1): 111-124.
- MOURA, D., BOSKI, T. (1999) – Unidades litostratigráficas do Pliocénico e Plistocénico no Algarve. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, 86: 85-106.
- PEREIRA, A. R. (1996) – The beach-cliff system of Vale do Lobo. In FERREIRA, A. B. and VIEIRA, G. T. (ed.) – *Fifth European Course on Applied Geomorphology – Mediterranean and Urban Areas*, Lisboa: 235-239.
- PEREIRA, H.; DIAS, J. M. A.; CORREIA, F. e FERREIRA, Ó. (1997) – *Tendências actuais do recuo das arribas de Quarteira - Vale do Lobo*. Seminário sobre a zona Costeira do Algarve, Faro: 41-43.
- WOLF, P. R. (1983) – *Elements of photogrammetry, with air photo interpretation and remote sensing* (second edition). McGraw-Hill Book Company, New York.