



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

AS NOVAS INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS NO ESTUÁRIO DO ARADE: INFLUÊNCIA PREVISTA NA HIDRODINÂMICA ESTUARINA

A.M.G. Santos Ferreira

IPTM, Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos

Rua General Gomes Araújo, Ed. Vasco da Gama. Alcântara-Mar, 1399-005 Lisboa

asf1954@netcabo.pt

A:A: Trigo Teixeira

Instituto Superior Técnico, Departamento de Eng^a Civil e Arquitectura

Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

trigo.teixeira@civil.ist.utl.pt

RESUMO: Estão planeadas novas infra-estruturas para ao Porto de Portimão que irão necessariamente afectar a hidrodinâmica do estuário do Arade. Calibrou-se um modelo em elementos finitos para a situação de referência do estuário, sendo posteriormente introduzidas no modelo as infra-estruturas previstas.

As novas infra-estruturas incluem uma marina, a alteração do lay-out para a marginal de Ferragudo, e a dragagem do canal de navegação e bacia de manobra. O escoamento do rio Arade e o modelo RMA2 foram utilizados para simular as marés. A simulação cobriu um período de sete dias.

Esperava-se algum impacto no padrão de escoamento, bem como no escoamento principal a jusante da cais comercial, que se aproxima da margem esquerda.

1 INTRODUÇÃO

1.1 INFRA-ESTRUTURAS DO PORTO

O Porto de Portimão apresenta das melhores condições naturais na costa sul de Portugal. A área sob jurisdição portuária vai desde a foz, até à ponte romana em Silves, 13 km a montante. Presentemente a zona portuária só engloba o troço frente à cidade de Portimão; a montante da primeira ponte o rio apenas pode ser utilizado por pequenos barcos turísticos e, em certos locais, só na maré cheia. Dois m olhes protegem a entrada do porto, a que se segue um canal de navegação com 180m de largura, e que se prolonga até ao cais comercial e ao porto de pesca (Weinholtz, 1985).

Na margem direita do rio, de jusante para montante, encontram-se a marina de Portimão, o cais da Marinha, o cais comercial, o terminal RORO, e a doca de S. Francisco. Mais a montante, ainda na margem direita, encontram-se os cais das marítimo-turísticas, e o cais da autoridade portuária.



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Na margem esquerda, frente ao cais da Marinha, localiza-se o cais de Ferragudo, e uma pequena área portuária para barcos de pesca artesanal; a montante do cais comercial, na margem esquerda, encontra-se o porto de pesca, e os estaleiros navais.

O lay-out geral do porto e do estuário encontra-se representado na Figura 1.

Uma das limitações actuais para este porto é a profundidade do canal de navegação. Actualmente o fundo deste canal encontra-se à cota -8.0 ZH.

Como se pode ver na Figura 1, a margem esquerda do rio ainda não está, na sua maior parte, rectificada, e em uso segundo o plano de desenvolvimento portuário. No entanto, para os próximos anos estão previstas algumas intervenções de infra-estruturação da margem esquerda, a jusante do porto de pesca, bem como algumas dragagens de manutenção.



Figura 1 – estuário do Arade, e infra-estruturas portuárias

1.2 PLANO DE DESENVOLVIMENTO

De modo a satisfazer as necessidades da navegação de turismo, está previsto executar a dragagem de um canal de navegação a montante do estuário, até Silves. Estes trabalhos pretendem repor, parcialmente, as condições de navegação que outrora existiram (Loureiro, 1909), e que desapareceram com a construção de pontes de vãos baixos, e à deposição de

sedimentos que elevou as cotas dos fundos. Como não era previsível a implementação desta medida a curto prazo, esta intervenção não foi considerada neste estudo.

Neste artigo considerar-se-ão três intervenções principais: a dragagem do porto, a construção da marina de Ferragudo, e a execução do passeio marginal de Ferragudo.

A dragagem planeada, com um volume estimado em 440.000,00m³, pretende estabelecer cotas de fundo compatíveis com os navios de cruzeiro que se pretende venham a utilizar o porto. Será, ao mesmo tempo, dragada uma área de fundos elevados, a montante do cais comercial, e do porto de pesca, onde actualmente ocorre a maior parte da deposição de sedimentos; actualmente esta zona está a migrar lentamente para jusante. Esta intervenção está representada na Figura 2.

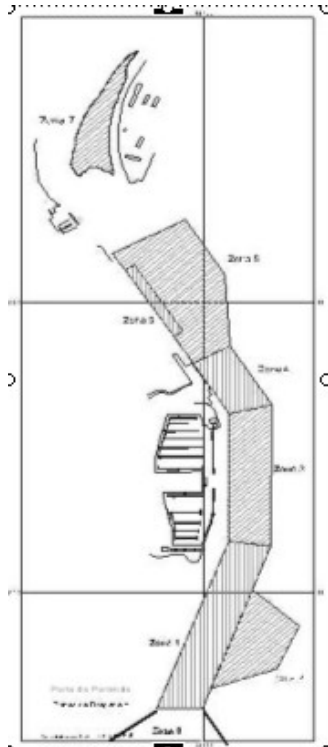


Figura 2 – Trabalhos de dragagem planeados para o estuário do Arade (2006)

O desenvolvimento da navegação de recreio, e a consideração de que a marina existente não responde à necessidade dos barcos de maior envergadura, levou ao planeamento de uma nova marina na zona de Parchal-Ferragudo, a montante da povoação de Ferragudo. A Figura 3 representa as infra-estruturas planeadas, bem como a sua localização no porto.



Figura 3 – A planeada marina de Ferragudo.

A jusante de Ferragudo existe uma vasta área arenosa, designada por Angrinha onde, através de dragagens e de algum trabalho de construção, se pretende criar um novo passeio marginal, e uma nova praia.

A Figura 4 representa a infra-estrutura planeada na zona da Angrinha, bem como a sua localização no estuário.

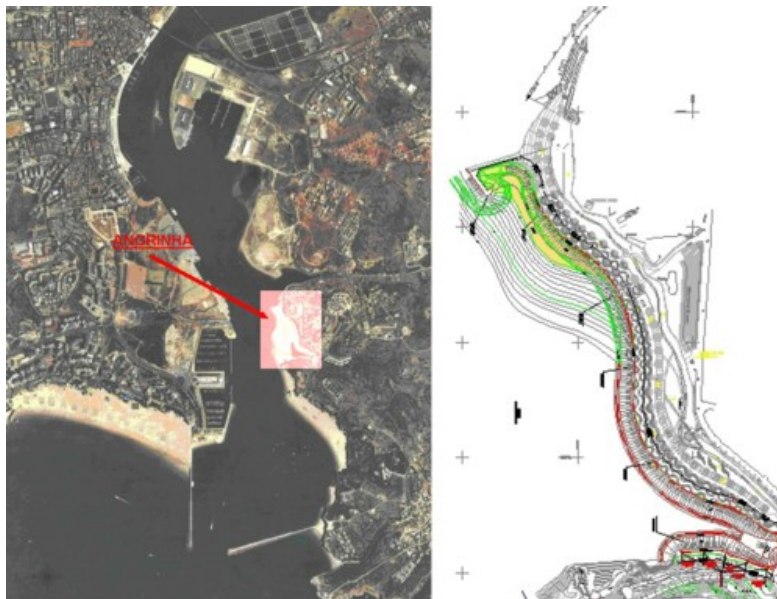


Figura 4 - O passeio marginal de Ferragudo projectado.

Estas três intervenções, que serão parcialmente financiadas com dinheiros públicos, e no restante pela concessão a investidores privados, será executada, espera-se, a curto prazo.

1.3 IMPORTÂNCIA PARA O PORTO DO IMPACTO NA HIDRODINÂMICA ESTUARINA

Actualmente o esforço de dragagem para manter os canais de navegação, e restantes áreas, representa um volume de 300.000,00 m³ cada dois anos. A zona de deposição de sedimentos a montante do cais comercial está a migrar para jusante, com um aumento natural da taxa de assoreamento na bacia de manobra. É assim importante para a operação do porto saber como as infra-estruturas planeadas irão alterar a situação actual. Para se proceder a esta análise, desenvolveu-se um modelo em elementos finitos do estuário e, após a sua calibração para a situação actual, alterou-se a geometria do porto, de acordo com as intervenções previstas.

Atendendo a que o rio Arade está controlado a montante por duas barragens, e que a ribeira de Odelouca disporá, a curto prazo, de outra barragem que também controlará os seus caudais, só foi considerada, neste estudo, uma afluência de montante de 5 m³/s; deste modo pode-se admitir que o escoamento, no estuário, se deverá essencialmente à maré.

2 MODELAÇÃO DO ESTUÁRIO DO ARADE

2.1 MODELO UTILIZADO

Para esta análise foi utilizado e testado um modelo de elementos finitos de maré, RMA2 (Norton e King, 1977). Este modelo utiliza a "shallow water equation" (Trigo Teixeira, 1994).

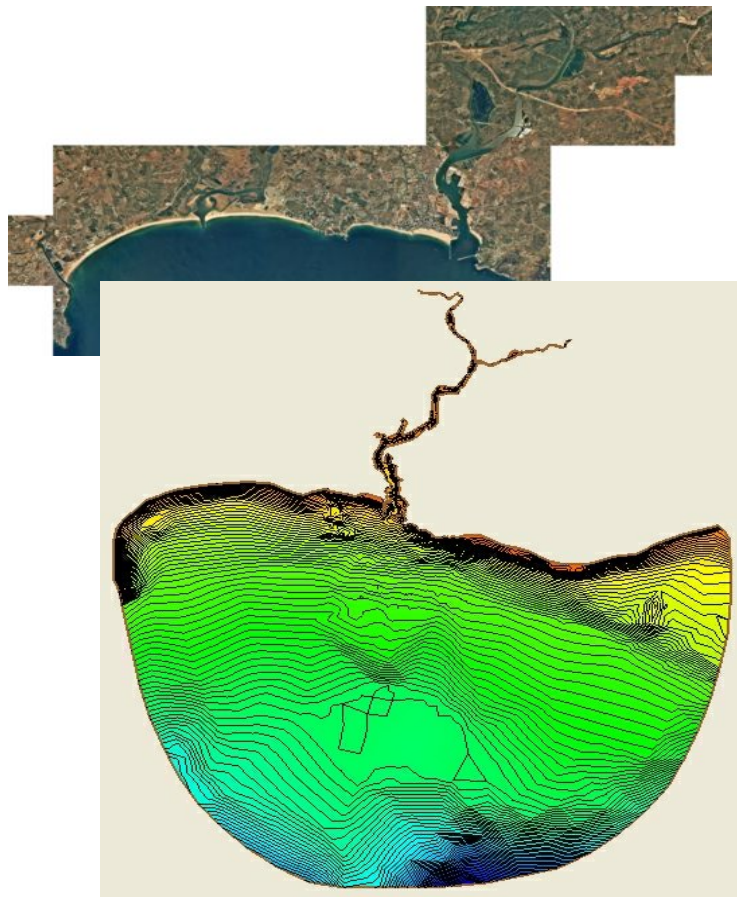


Figura 5 - A zona fluvial e marítima modelada.

A área considerada no modelo incluiu uma vasta área de mar, de modo a garantir a correcção da maré na barra; o rio foi modelado até Silves. A montante da ponte ferroviária os resultados obtidos na simulação não são suficientemente correctos, já que a maré se propaga alguns quilómetros para montante de Silves; na simulação executada não foi considerado esse prisma de maré, a montante de Silves. Nesta zona muito confinada a influência da capacidade de armazenamento é importante, e para obter resultados adequados dever-se-ia ter considerado um troço mais extenso do rio. No estuário, e considerando os volumes relativos do prisma de maré, a influência desta imprecisão é pequena, e os resultados podem ser considerados aceitáveis.

A Figura 5 mostra a área modelada; a Figura 6 representa a batimetria do estuário do Arade.

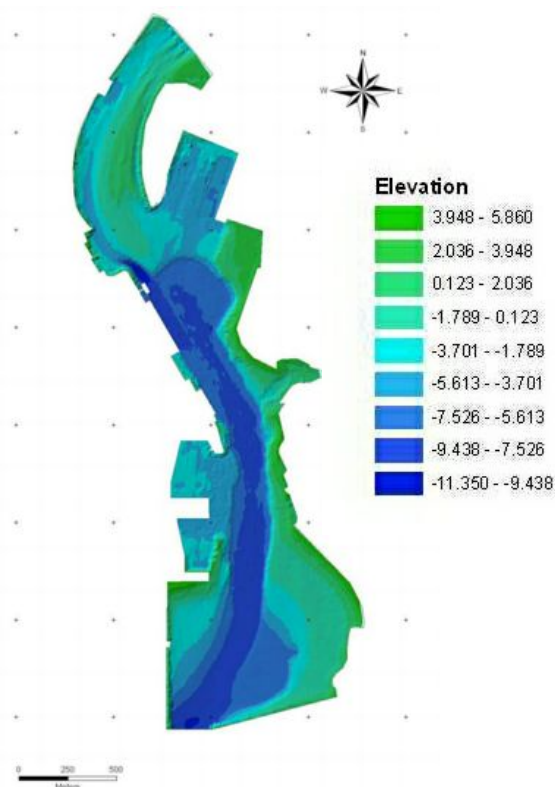


Figura 6 – Modelo digital do terreno do estuário do Arade para a situação de referência.

2.2 SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

A batimetria da situação de referência, na zona do estuário do Arade, está representada na Figura 6. Baseada nessa batimetria, bem como nos limites da área em estudo, foi gerada uma malha de elementos finitos, Figura 7.

A situação de referência representa o actual lay-out do porto, bem como a batimetria no ano de referência de 2003.



Figura 7 – Malha de elementos finitos, na zona do estuário; detalhe parcial, na zona do cais comercial e porto de pesca.

2.2.1 Calibração do Modelo

Para a calibração do modelo utilizaram-se três pontos de calibração. Para valor de calibração utilizou-se a cota da superfície livre, nesses três pontos, medida com intervalos de cinco minutos, e durante um tempo ligeiramente maior do que uma maré. A maré real, verificada na altura das leituras de calibração, foi utilizada, não só para a calibração do modelo, como também para a simulação do novo lay-out do estuário. Obteve-se uma boa concordância para os pontos no estuário ou na sua proximidade; a montante, próximo de Silves, os resultados obtidos não foram satisfatórios.

A Figura 8 representa a maré, na barra do porto, utilizada na calibração, e na simulação.

Os dados observados permitiram algum ajustamento dos parâmetros hidrodinâmicos do modelo, de modo a que os valores observados e calculados coincidissem.

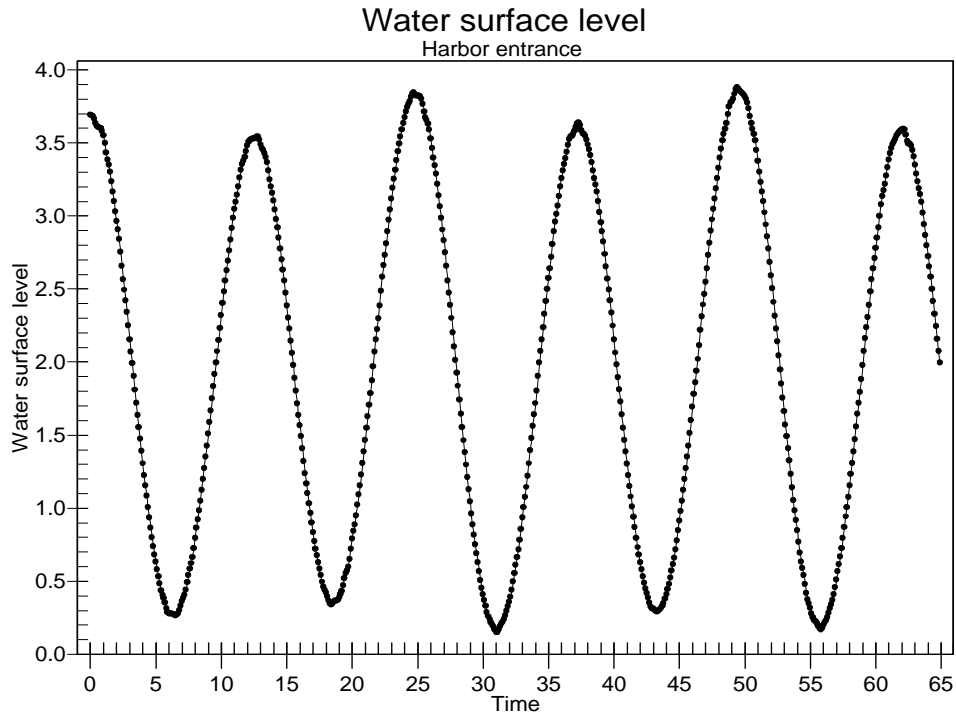


Figura 8 – Curva de maré.

2.2.2 Resultados para a Situação de Referência

De modo a facilitar a análise, os resultados, em forma de vectores velocidade, são apresentados numa malha rectangular, e não nos nós da malha de elementos finitos. Os cálculos serão apresentados para a maré cheia e vazia, e em cada caso para os mesmos intervalos de tempo considerados.

Na Figura 9 (clicar duas vezes) apresentam-se os resultados para a situação de referência, para um ciclo de maré, para a zona do estuário. Neste artigo a análise dos resultados centrar-se-á no troço entre a ponte rodoviária de Portimão, e a zona da Angrinha.

Na Figura 10 apresenta-se, para a situação de referência, a variação da velocidade para os pontos de observação. Os valores negativos representam um escoamento para jusante, durante a vazante, e os valores positivos o escoamento para montante, na enchente. Estes resultados serão comparados, no ponto 4, com os resultados similares obtidos para o novo layout, com as infraestruturas projectadas. Para facilitar a análise, e para facilidade de visualização, utilizar-se-ão zonas parciais.

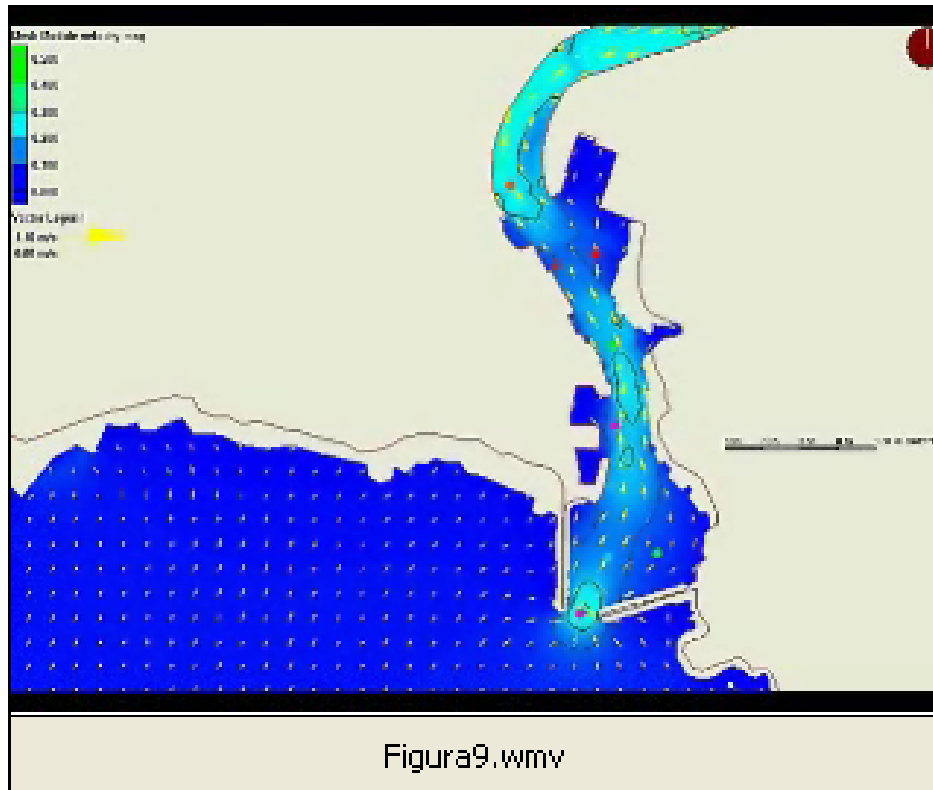


Figura 9 – Resultados para a situação de referência, para um ciclo de maré.

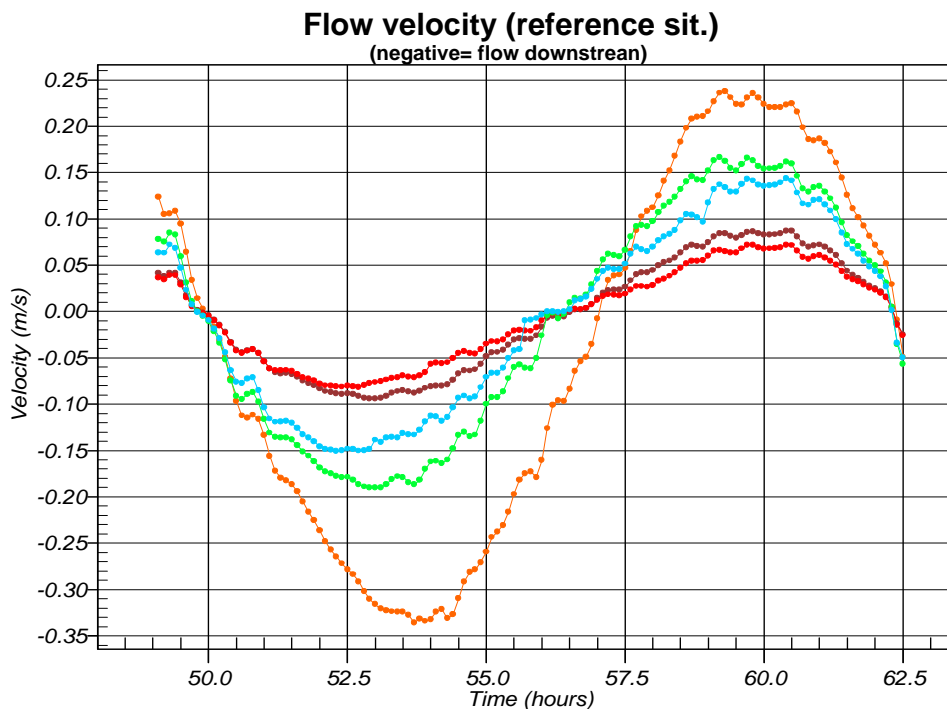


Figura 10 – Velocidade nos pontos de observação, para a situação de referência.

Pode-se concluir que na situação de referência, para a zona considerada, as maiores velocidades ocorrem a montante do porto de pesca, no ponto de observação designado "Baixo". Os valores mais reduzidos da velocidade ocorrem diante do cais comercial, nos

pontos de observação designados por “Cais Comercial” e “Bacia de Manobra”. Estes resultados eram expectáveis já que correspondem às secções, respectivamente, com a menor secção molhada, para as velocidades mais elevadas, e a maior secção molhada, para as velocidades mais baixas.

3 ANÁLISE DO NOVO LAYOUT DO PORTO

3.1 LAYOUT CONSIDERADO NA ANÁLISE

O lay-out do porto, incluindo as infra-estruturas planeadas, está representado na Figura 11. A nova marina aumenta a secção molhada na secção do cais comercial. O passeio marginal de Ferragudo também aumentará a área molhada desta secção.

A dragagem do canal de navegação, bem como a dragagem da área a montante do porto de pesca aumentará também a área molhada destas secções, sendo expectável que as velocidades baixem.

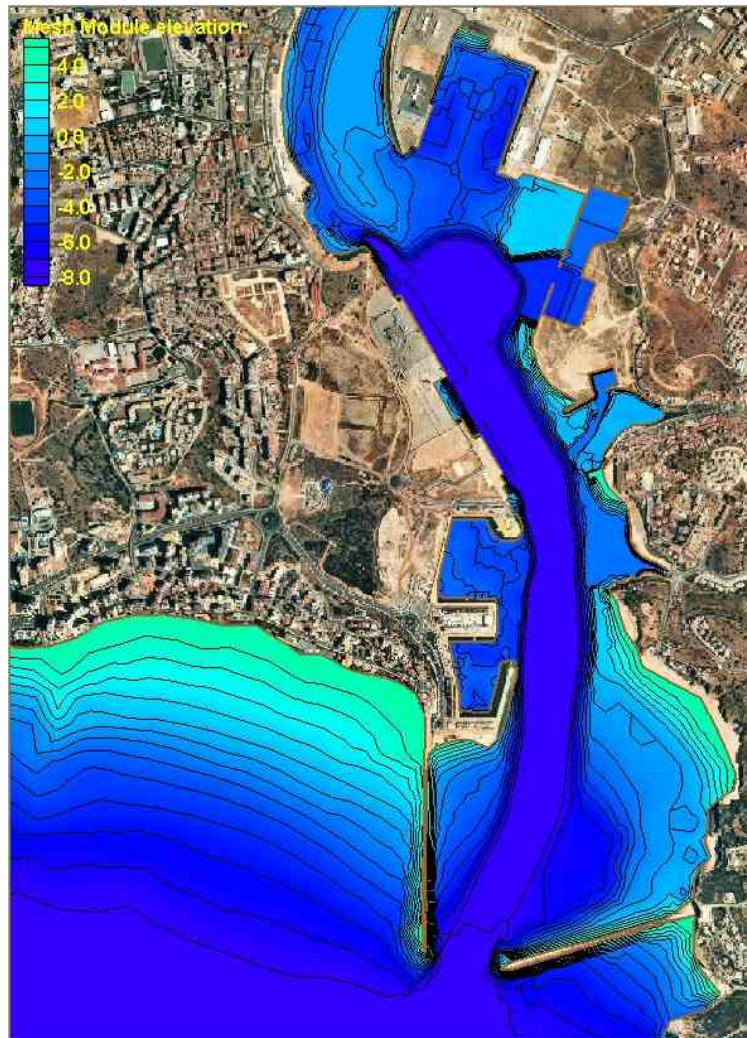


Figura 11 – Lay-out do estuário, incluindo as infra-estruturas planeadas.

3.2 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos para a simulação, incluindo as três intervenções planeadas, estão resumidos nas figuras 12 a 14. Uma primeira observação aos resultados permite-nos dizer que quando a maré muda da enchente para a vazante, na zona considerada, o ponto de inversão é praticamente simultâneo em todos os pontos de observação considerados; mas na mudança da vazante para a enchente, no ponto de observação “Baixio” existe um atraso de quase 1.5h. Esta facto já era observável na situação de referência.

Outra observação, comum também com a situação de referência, é que o valor da velocidade máxima na vazante é muito superior ao valor máximo da velocidade, no mesmo ponto, na enchente.

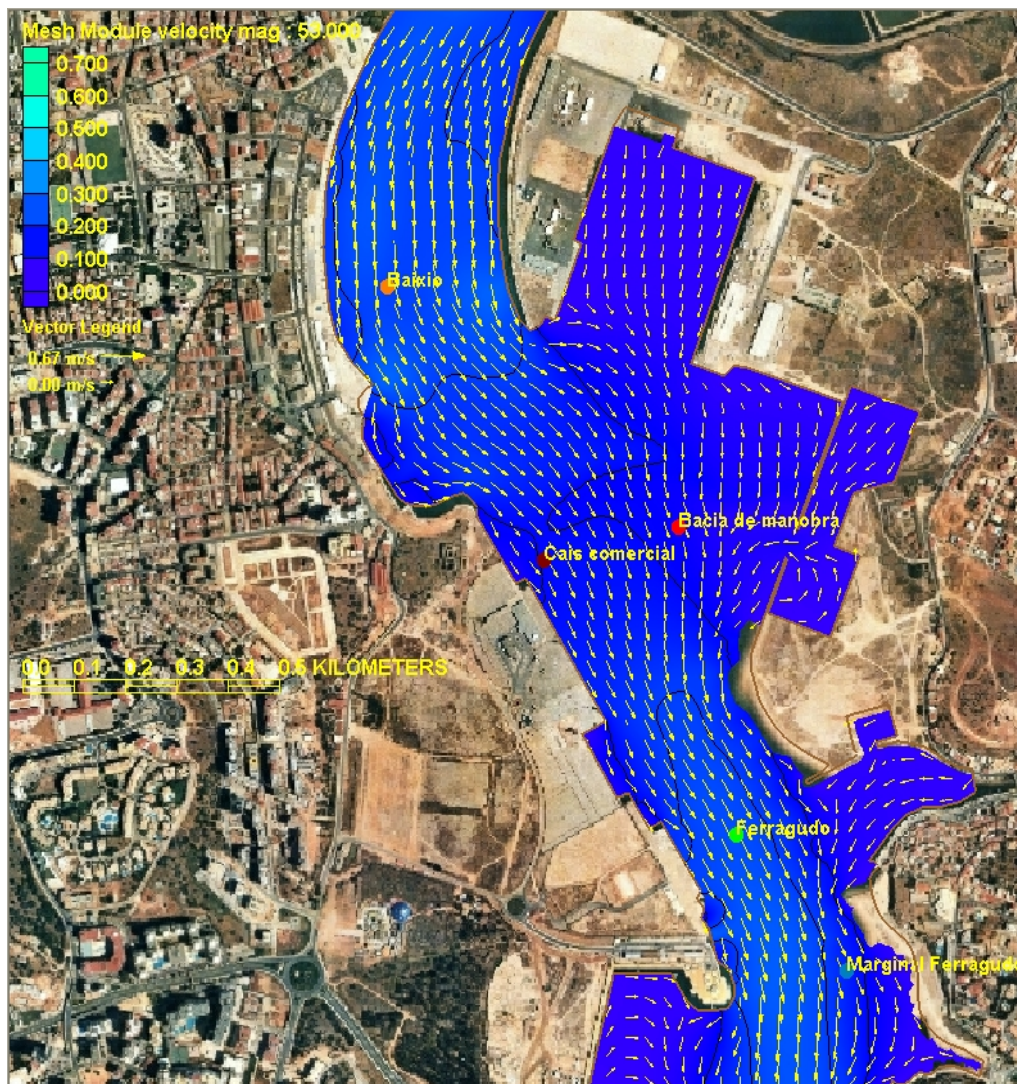


Figura 12 – Resultados para a situação final, vazante, para t=53h.

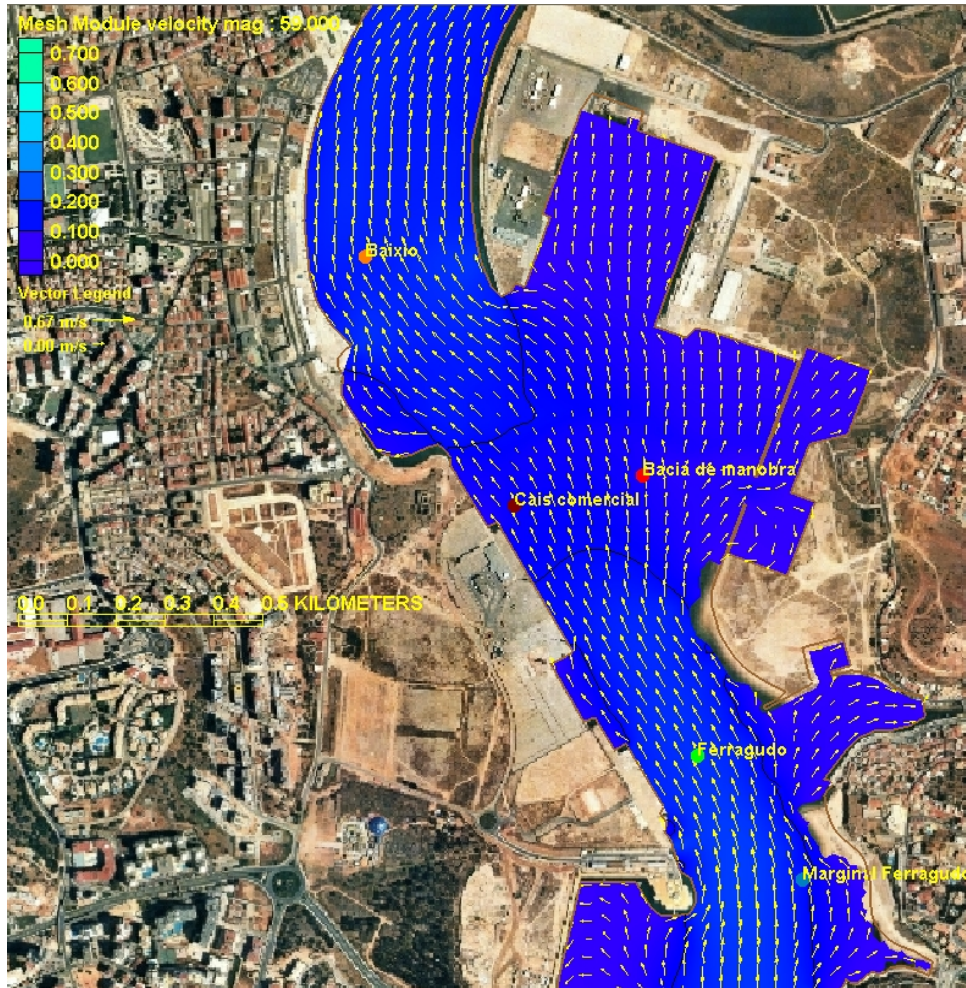


Figura 13 - Resultados para a situação final, enchente, para t=59h.

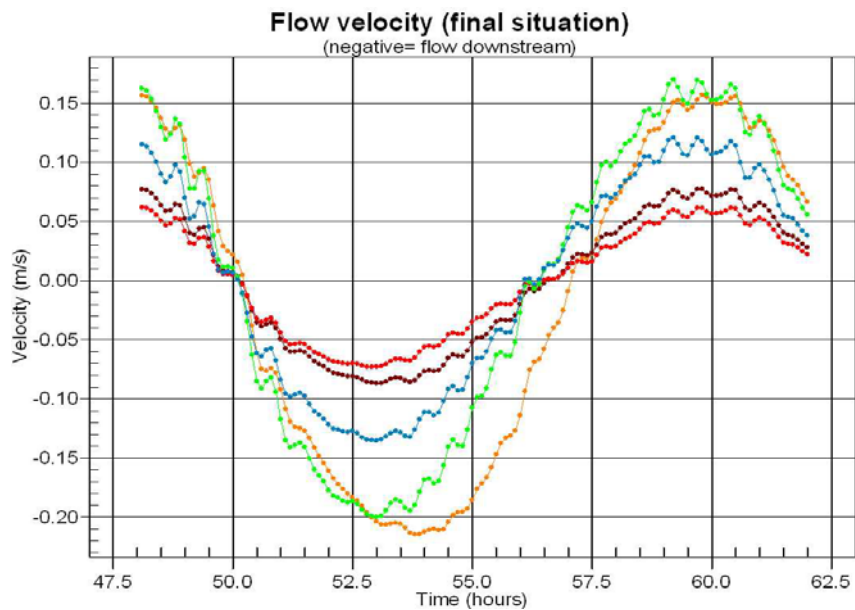


Figura 14 – Velocidade nos pontos de observação, situação final.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a análise dos resultados, considerar-se-ão, um a um, os vários pontos de observação. Assim, para o ponto de observação “Baixio”, os resultados para a situação de referência e para a situação final, estão representados na Figura 15. Neste caso, como a secção molhada aumenta significativamente, devido à dragagem de metade do canal (actualmente a cotas +2.00 ZH, e que será dragado para -1.00ZH), a velocidade máxima, tanto na enchente, como na vazante, diminui substancialmente, da ordem de 30%.

Uma consequência expectável desta redução de velocidade é a deposição de sedimentos a montante do actual ponto de sedimentação, reduzindo o volume de sedimentos que chegará à zona do cais comercial e da bacia de manobra.

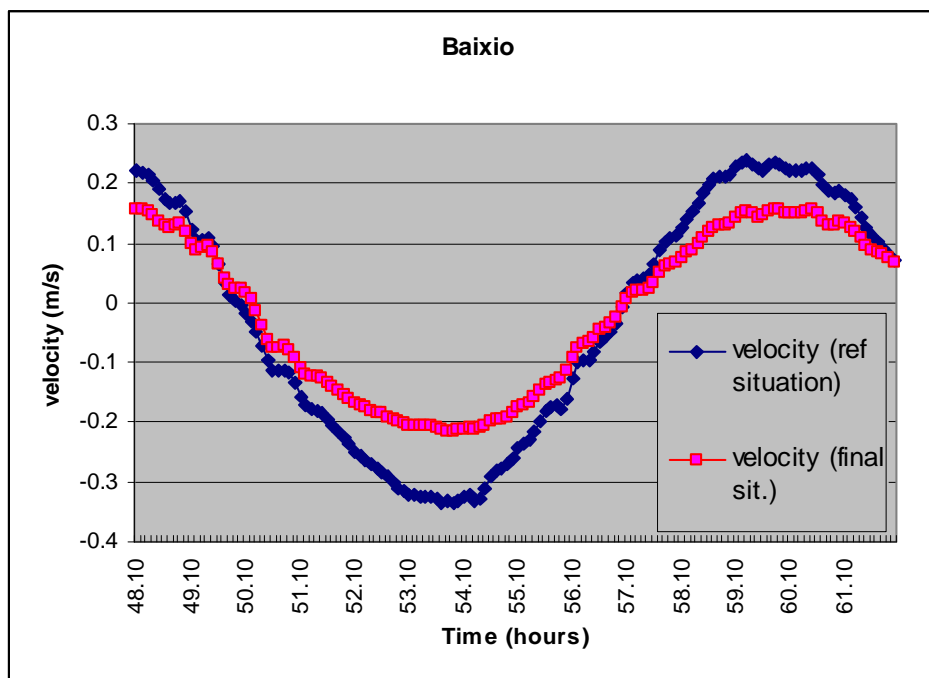


Figura 15 – Resultados obtidos para a velocidade, para as situações de referência e final, para o ponto de observação “Baixio”.

Na zona do cais comercial (Figura 16) a redução da velocidade é pequena, da ordem de 10%. Esta redução pode levar a um aumento do volume anual de sedimentação. Mas considerando que haverá a deposição de um volume maior de sedimentos mais a montante, no canal e na zona da ponte rodoviária, devido à forte redução de velocidades naquela área, é razoável esperar que na zona do cais comercial se mantenha aproximadamente a mesma taxa de deposição que actualmente se verifica e, conseqüentemente, será necessário manter a mesma periodicidade de dragagens de manutenção que actualmente são executadas.

Na zona da bacia de manobra (Figura 17) o comportamento é similar ao do cais comercial, mas com uma mais forte redução da velocidade máxima, da ordem de 14%. Será, assim, expectável um ligeiro aumento na taxa de deposição, e, conseqüentemente, será necessário aumentar ligeiramente a frequência e o volume das dragagens de manutenção.

No ponto de observação do canal de Ferragudo (Figura 18) obtém-se um resultado diferente: observa-se um ligeiro aumento da velocidade máxima. Apesar de nesta secção a área molhada aumentar, tem que se ter em consideração que o maior volume de dragagem a executar, tanto

na bacia de manobra, canal de navegação, e nova marina de Ferragudo serão a montante desta secção, o prisma de maré aumentará, justificando assim o aumento da velocidade máxima. Tendo em conta o pequeno aumento da velocidade no canal considera-se razoável admitir que o esforço de dragagem de manutenção, para esta zona, se mantenha idêntico ao verificado na situação de referência.

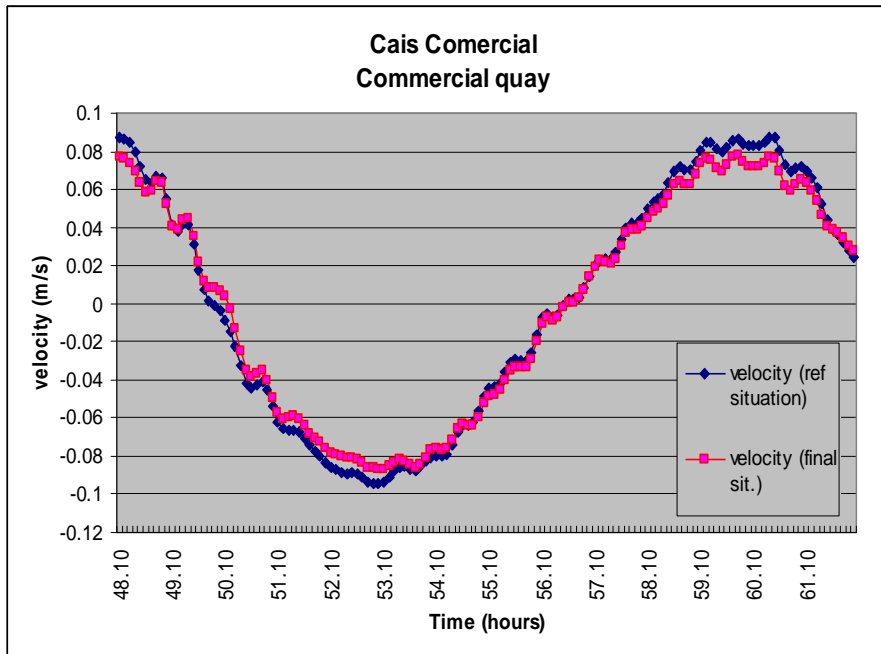


Figura 16 – Resultados obtidos para a velocidade, para as situações de referência e final, para o ponto de observação “Cais Comercial”.

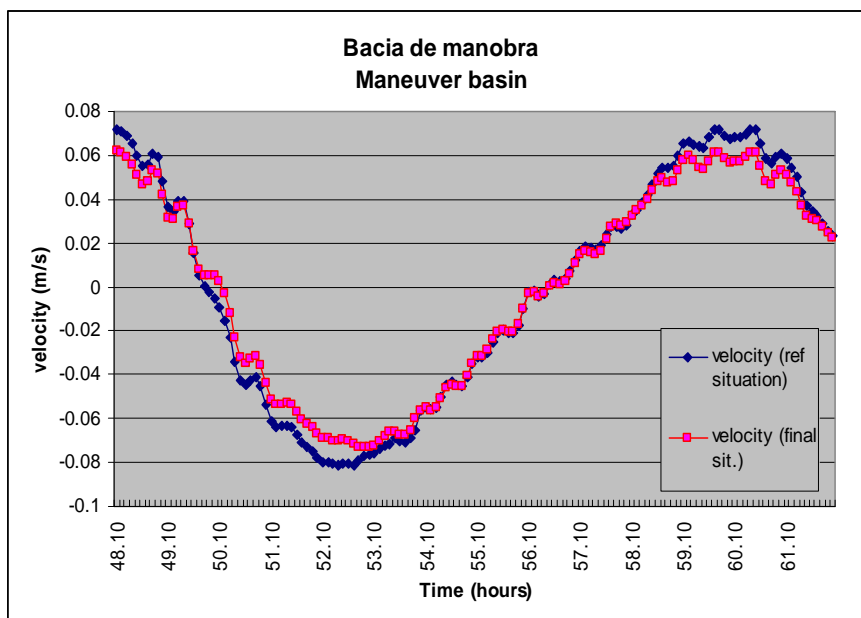


Figura 17 – Resultados obtidos para a velocidade, para as situações de referência e final, para o ponto de observação “Bacia de manobra”.

Na área do ponto de observação “marginal de Ferragudo” (Figura 19), observa-se, na situação de referência, uma muito forte sedimentação. Em contraste com o que se observa na bacia de

manobra onde os sedimentos são siltes ou siltes argilosos (Instituto Hidrográfico, 2002), nesta área da marginal de Ferragudo os sedimentos depositados são areias finas. Com as intervenções previstas observa-se uma redução da velocidade da ordem dos 15 a 20%, pelo que se espera que a taxa de deposição aumente fortemente. Deste modo prevê-se que, para manter a geometria pretendida para esta zona, seja necessário aumentar fortemente o esforço de dragagem de manutenção.

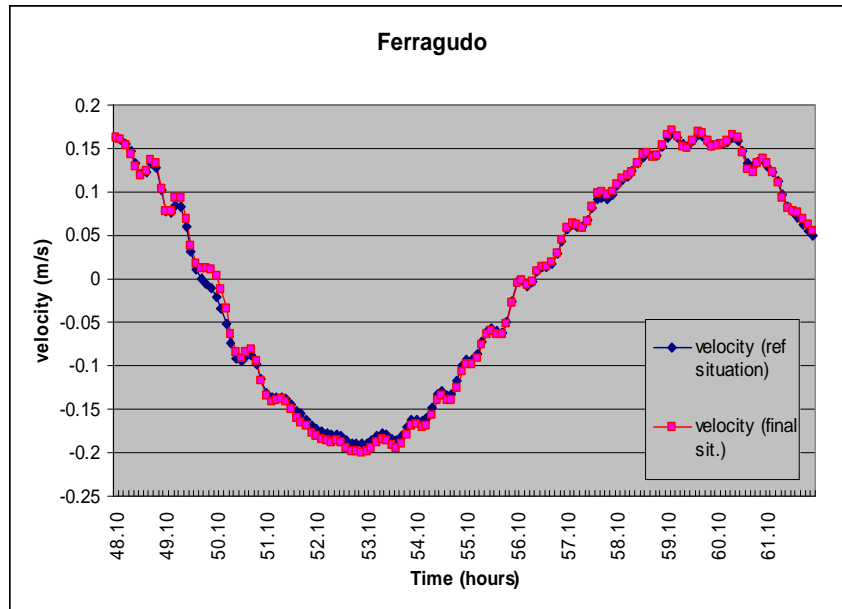


Figura 18 – Resultados obtidos para a velocidade, para as situações de referência e final, para o ponto de observação “Ferragudo”.

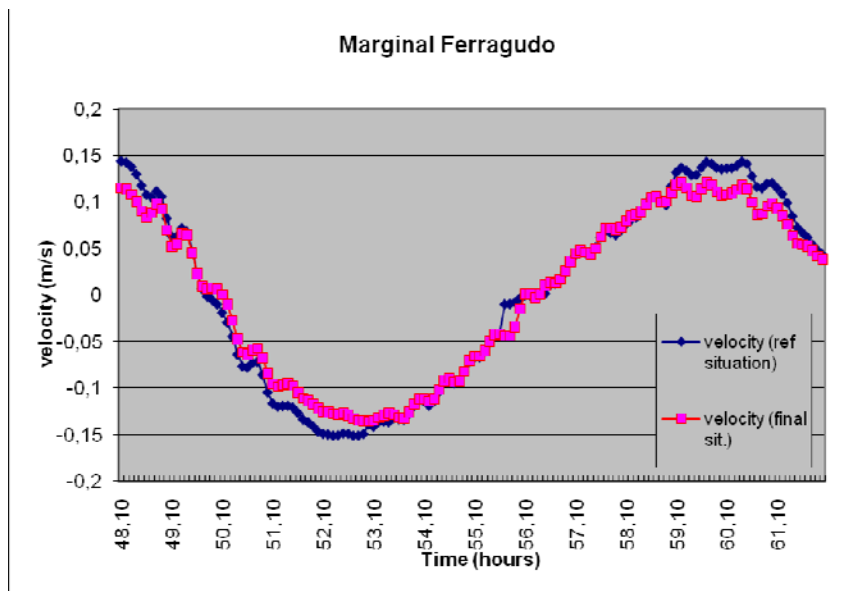


Figura 19 – Resultados obtidos para a velocidade, para as situações de referência e final, para o ponto de observação “ Marginal de Ferragudo” (Angrinha).



5 CONCLUSÕES

A simulação por elementos finitos desenvolvida para estudar o estuário do Arade mostrou que as intervenções planeadas no porto terão consequências diversas, em função da área do porto que se considerar. Na zona de montante, no canal entre a cidade e os estaleiros navais, pode-se considerar que haverá um benefício, fazendo deslocar para montante a zona principal de deposição de sedimentos, o que representará dragagens menos frequentes, com menor interferência na actividade portuária.

Na zona do cais comercial, e no canal de navegação, na zona de Ferragudo, não haverá, na prática, qualquer alteração à situação de referência.

Na zona da bacia de manobra prevê-se um ligeiro aumento nas dragagens de manutenção; e na zona do passeio marginal de Ferragudo (Angrinha), para manter a forma prevista do passeio marginal e do plano de água, será necessário um importante investimento em dragagens de manutenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto Hidrográfico, 2002. Caracterização físico-química de sedimentos na área do porto de Portimão e barra. Relatório final. Lisboa.

Loureiro, A. 1909. Os Portos marítimos de Portugal e Ilhas Adjacentes. Volume IV, Imprensa nacional. Lisboa.

Norton, W. R. & King, I.P. 1977. Operating Instruction for the Computer Program RMA2-2V. Resources Management Associates, Lafayette, CA, USA.

Santos-Ferreira, A.M.G. 2006. Impacte do plano do porto de Portimão na hidrodinâmica do estuário do Arade. Dissertação de Mestrado, Julho de 2006, IST, Lisboa.

Trigo-Teixeira, A. 1994. Finite Element Modeling of Hydrodynamics in Coastal Zones. PhD Thesis. Swansea. June 1994. University of Wales.

Weinholtz, M.B. 1985. Estudo da Situação do Troço Terminal do Rio Arade a Jusante das Pontes e Zona marítima Frontal após a Conclusão da Primeira Fase das Obras Portuárias. Direcção-Geral de Portos, Lisboa.