



4^as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

MODELAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS EM TEMPO REAL: RESULTADOS DE UM PROJECTO NO ESTUÁRIO DO TEJO

Luís Ivens Portela¹, Adélio Silva², Ramiro Neves³

¹Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente
Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa
lportela@lnec.pt

²Hidromod Lda, Av. Manuel da Maia, nº 36 - 3º Esq., 1000-201 Lisboa
adelio@hidromod.com

³Maretec / Instituto Superior Técnico (IST), Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa
ramiro.neves@ist.utl.pt

RESUMO

A presente comunicação descreve alguns resultados alcançados no âmbito do projecto Realtime, recentemente concluído. Este projecto teve como objectivo principal a aquisição de experiência no desenvolvimento de sistemas integrados de modelação e monitorização em tempo real da zona costeira portuguesa. O sistema de aquisição de dados em contínuo esteve montado numa bóia na entrada do estuário do Tejo. O sistema compreendia equipamento para a medição de parâmetros hidrodinâmicos (velocidade e direcção da corrente) e de qualidade da água (salinidade, temperatura, oxigénio dissolvido, pH e turbidez). A informação era transferida para terra por um sistema de comunicação GSM e armazenada numa base de dados, podendo ser acedida pela internet com recurso a uma interface gráfica. A componente de modelação operacional foi baseada no sistema MOHID. Este sistema pode ser acoplado a um modelo atmosférico que disponibiliza previsões meteorológicas. A modelação operacional exige um conhecimento aprofundado dos processos responsáveis pela variabilidade dos processos simulados. No âmbito do projecto, foi realizado um estudo específico com o objectivo de apoiar a modelação do transporte de sedimentos coesivos, envolvendo a realização de ensaios em instalações laboratoriais.

Introdução

O desenvolvimento de sistemas de monitorização da zona costeira tem merecido um interesse crescente por parte das entidades com responsabilidades na gestão do ambiente, mas também por parte do sector portuário e de transportes marítimos. Cada vez mais são propostas abordagens mistas, envolvendo a aquisição automática de dados de forma contínua, complementada por ferramentas de modelação capazes de funcionar como elementos de integração, de interpretação e de previsão. Estas propostas estão associadas à emergência do conceito de oceanografia operacional, que, na Europa, constitui uma das principais áreas de desenvolvimento das ciências e tecnologias do mar (Flather, 2000; Prandle, 2000; Flemming *et al.*, 2002; Dahlin *et al.*, 2003). Pretende-se que os sistemas operacionais sejam instrumentos de apoio à gestão (Silva *et al.*, 2000; Summerhayes, 2002), capazes de lidar em tempo oportuno com os complexos problemas associados ao mar e à zona costeira.

A presente comunicação pretende descrever alguns dos resultados mais relevantes alcançados no âmbito do projecto Realtime, no período compreendido entre Janeiro de 2001 e Dezembro de 2004. Este projecto, da responsabilidade do Instituto do Mar (IMAR), contou com a participação do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa (IMAR), da

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (IMAR), do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, do Instituto Hidrográfico da Marinha e da Hidromod Lda. O principal objectivo do projecto consistiu na aquisição de experiência no desenvolvimento de sistemas integrados de modelação e aquisição de dados em tempo real, para monitorização, investigação e gestão de regiões costeiras. O estuário do Tejo constituiu a área de estudo seleccionada para aplicação do projecto.

Sistema de monitorização

Apresenta-se, em seguida, uma descrição resumida do sistema de monitorização que esteve montado na entrada do estuário do Tejo durante o projecto. Uma descrição mais desenvolvida encontra-se em Anjos & Lino (2003) e Anjos *et al.* (2003).

O sistema de aquisição de dados foi instalado na bóia de balizagem nº 5 da barra sul do porto de Lisboa, situada num ponto de coordenadas $38^{\circ}40,6'N$ e $9^{\circ}16,6'W$ e profundidade de cerca de 20 m (Fig. 1). A bóia (Mobilis Jet 2500), disponibilizada pela Direcção de Faróis da Marinha, não sofreu alterações significativas para a fixação do sistema de monitorização.

O sistema compreendia um sensor de velocidade e direcção da corrente (Aanderaa 3900), uma sonda multiparamétrica para a determinação da salinidade, da temperatura, do oxigénio dissolvido, do pH e da turbidez (Hydrolab H2O) e um fluorímetro para a detecção de clorofila (Chelsea Mini II). Este equipamento estava ligado a um *datalogger* (Campbell CR10X). O sistema incorporava uma unidade de GPS (Motorola Oncore) de forma a se poder determinar a posição do sistema em caso de deriva da bóia por quebra da amarra.



Fig. 1 - Local de instalação do sistema de aquisição de dados. Bóia de auxílio à navegação onde foi instalado o sistema

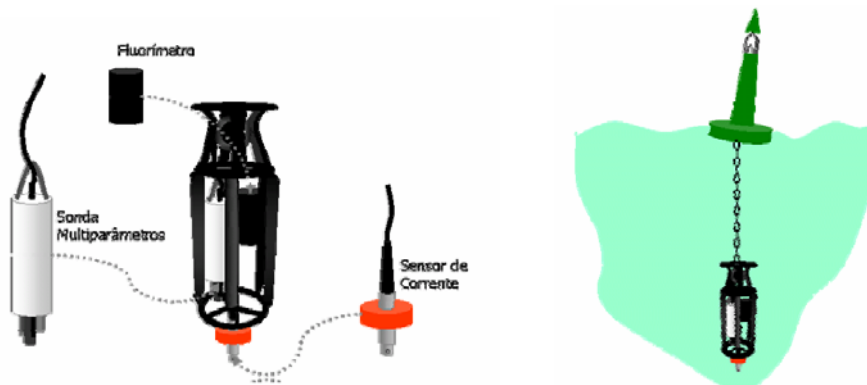


Fig. 2 - Esquema de fixação dos instrumentos submersíveis ao suporte, e deste à bóia de balizagem

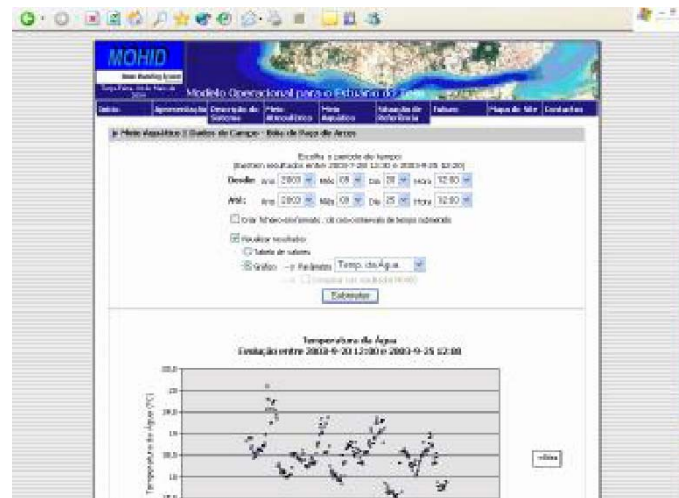


Fig. 3 - Interface para disponibilização na internet dos dados de monitorização

A electrónica do sistema encontrava-se numa caixa estanque de aço inoxidável e silicone, com conectores resistentes à imersão (Impulse). No topo da bóia, encontrava-se a antena de GPS e GSM (Magnatec). O equipamento submersível estava fixado numa estrutura de suporte de aço inoxidável, suspensa da bóia por correntes e ligada por cabos de alimentação e comunicação (Fig. 2). A autonomia energética do sistema era assegurada por dois painéis solares de 10 W cada, ligados a uma bateria independente do sistema de iluminação da bóia.

A informação do *datalogger* era recolhida e transferida para terra em tempo real por intermédio de uma unidade de GSM (Siemens TC35T). Podiam também ser enviados SMS de alarme, a indicar anomalias no sistema de aquisição e armazenamento de dados.

A informação recolhida via GSM, sob a forma de ficheiros em formato ASCII, foi armazenada numa base de dados concebida para o efeito em Microsoft Access. Parte dessa informação foi disponibilizada na internet, podendo ser acedida com recurso a uma interface gráfica em www.mohid.com/tejo-op (Fig. 3).

Modelação operacional

A componente de modelação do projecto foi concebida com base no sistema MOHID. Este sistema permite a simulação de processos físicos, químicos e biológicos em zonas costeiras, considerando diferentes dimensões (1D, 2D, 3D). O sistema é composto por diversos módulos (hidrodinâmica, turbulência, transporte, qualidade da água, etc.). A discretização espacial baseia-se numa abordagem de volumes finitos.

As aplicações no estuário do Tejo têm sido efectuadas em 2D e 3D, por vezes encaixadas numa malha da costa portuguesa (Braunschweig *et al.*, 2003; Leitão *et al.*, 2003). O modelo global da costa portuguesa tem um passo espacial de 2000 m. O modelo encaixado tem um passo espacial mínimo de 300 m, podendo ser executado com uma só camada ou, se se pretender simular os gradientes de densidade, com cerca de dez camadas. Os modelos podem considerar não só a acção periódica da maré, mas também a acção do vento. Neste caso, são forçados na interface oceano-atmosfera por um modelo atmosférico de previsão meteorológica (descrito em meteo.ist.utl.pt).

No âmbito do projecto, têm vindo a ser disponibilizadas previsões horárias do nível do mar, do campo de velocidades 2D, da contaminação microbiológica e da distribuição de determinados parâmetros, numa fase ainda preliminar, em www.mohid.com/tejo-op (Fig. 4).

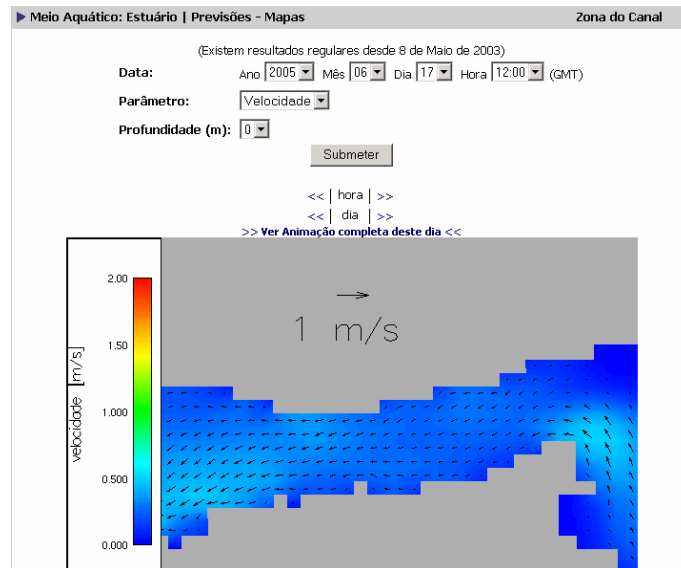


Fig. 4 - Interface para disponibilização na internet das previsões do modelo numérico

Sendo o estuário do Tejo dominado pela maré, a previsão das condições hidrodinâmicas não apresenta dificuldades significativas. No entanto, estudos recentes sugerem que a reprodução do campo de velocidades na zona exterior do estuário requer uma descrição rigorosa do campo de vento (Leitão *et al.*, 2003).

Ensaio laboratoriais

O sedimento em suspensão é um parâmetro importante em ambientes estuarinos e costeiros, mas difícil de simular, que tem sido utilizado para testar sistemas integrados de modelação e aquisição de dados (Vos *et al.*, 2000).

No âmbito do projecto, foram efectuados ensaios nas instalações laboratoriais do LNEC com sedimentos finos do estuário do Tejo, com o objectivo de apoiar a componente de modelação. Estas instalações laboratoriais estão equipadas com um canal anular, colunas de sedimentação e um difractómetro laser, permitindo determinar tensões críticas de deposição e de erosão e velocidades de queda em função de diversos parâmetros.

Os ensaios em canal anular indicam que, para velocidades decrescentes, se verifica uma deposição parcial do sedimento em função da tensão de corte no fundo, sendo difícil definir uma tensão crítica (Portela, 2002; Portela & Reis, 2004). Para velocidades crescentes, a erosão apenas ocorre quando é excedida uma tensão da ordem de 0,2-0,4 Pa (Fig. 5).

Os ensaios de sedimentação indicam que os sedimentos das áreas entre-marés apresentam valores típicos da velocidade de queda da ordem de $0,1 \text{ mm s}^{-1}$. Não parece existir uma relação directa entre a velocidade de queda e a concentração de sedimento em suspensão, mas sim uma relação entre a velocidade de queda e a dimensão dos agregados e partículas que constituem a suspensão (Portela & Freire, 2000). A salinidade tem também um efeito apreciável na velocidade de queda.

Os resultados obtidos sugerem que os sedimentos finos têm um comportamento em que a fracção silte, preponderante no fundo, é responsável por efeitos importantes associados à granulometria (p.ex., deposição parcial), mas em que a fracção argila pode ter também papel significativo (p.ex., floculação pela salinidade).

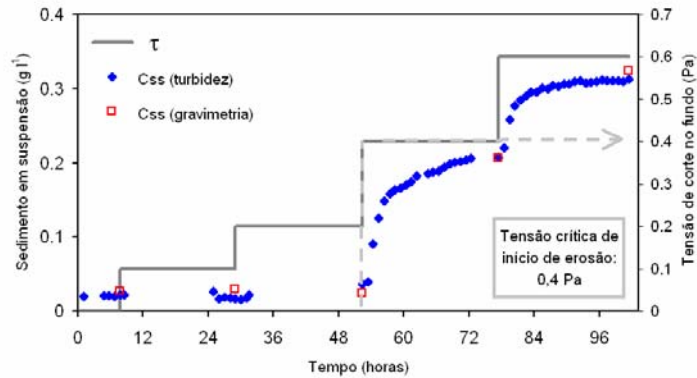


Fig. 5 - Canal para ensaio de sedimentos finos. Resultados de ensaio de erosão com sedimento de Alcochete

Discussão

As principais dificuldades encontradas no projecto relacionaram-se com os resultados obtidos pelos instrumentos do sistema de monitorização e com a sua manutenção.

Devido às elevadas velocidades da corrente no local de instalação do sistema, o sensor de corrente, embora fixo a uma estrutura de aço de 30 kg, chegou a registar inclinações de 50°. Este efeito é indesejável pois o erro na determinação da velocidade e direcção da corrente aumenta com a inclinação. Efectuaram-se sucessivas filtrações dos dados, comparando-se estes dados com os resultados do modelo numérico (Fig. 6).

Os resultados da monitorização com a sonda multiparamétrica e o fluorímetro foram afectados pela formação de biofilme, por vezes apenas uma semana após a colocação dos instrumentos no meio aquático. Os valores de salinidade (condutividade) medidos tendiam a diminuir com este biofilme. Os valores de temperatura eram relativamente pouco afectados. Os valores de oxigénio dissolvido, de turbidez e de clorofila eram muito afectados pelas condições de limpeza dos instrumentos (Fig. 7).

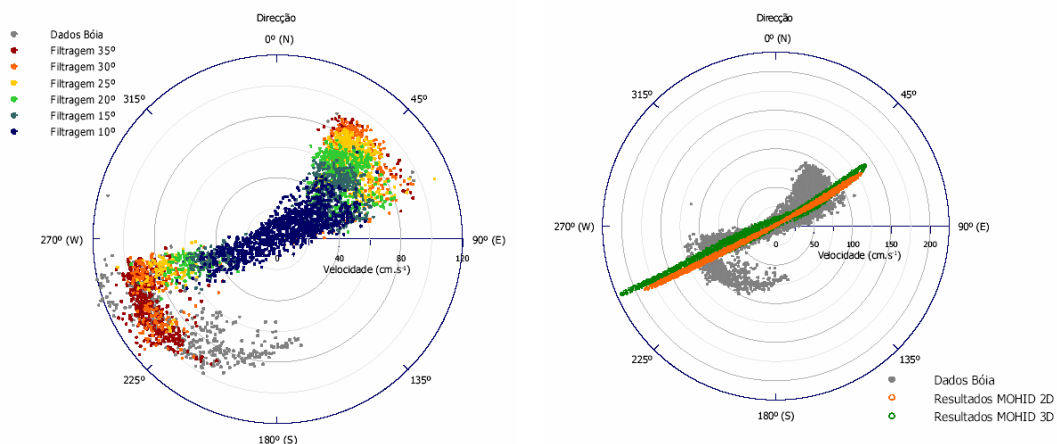


Fig. 6 - Resultados do sensor de corrente de Julho a Setembro de 2003. Comparação com resultados do modelo numérico



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

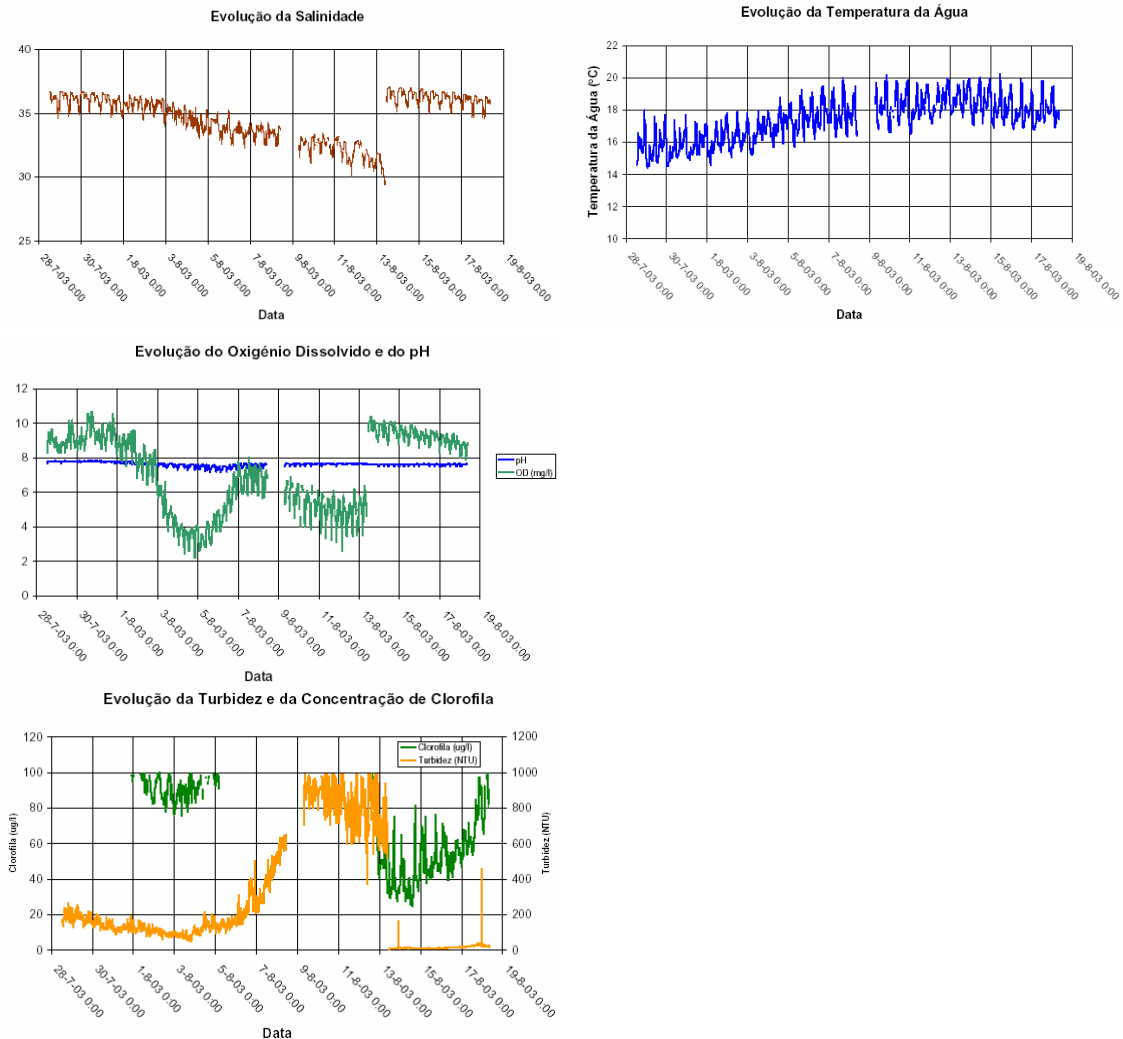


Fig. 7 - Exemplos de aquisição de dados de salinidade, temperatura, oxigénio dissolvido, pH, turbidez e clorofila

O sistema de monitorização revelou-se relativamente vulnerável a uma série de acontecimentos que inviabilizaram o seu correcto funcionamento por longos períodos.

Com a fixação do equipamento numa bóia previamente existente, foi possível uma poupança substancial no custo do sistema. Contudo, a impossibilidade de realizar alterações estruturais significativas na bóia acabou por determinar um mecanismo pouco expedito para as operações de manutenção do equipamento. Esta tarefa estava condicionada a períodos em que as condições de mar e meteorológicas a permitissem.

As elevadas velocidades registadas no local, além de limitarem o acesso à bóia a períodos de estufa de maré, aumentavam o risco de danos provocados por material arrastado pela corrente. As redes e outras artes de pesca, por exemplo, chegaram a danificar irreversivelmente todos os cabos submersíveis e, por algumas vezes, impossibilitaram a recolha do equipamento, sendo necessário nestes casos recorrer a mergulhadores profissionais.

As operações de manutenção envolvem uma elevada alocação de meios e de pessoal. A tripulação da embarcação não pode ser inferior a três indivíduos. A ausência de um sistema

eficiente de auto-limpeza obriga a operações de manutenção com uma periodicidade inferior a duas semanas (Fig. 8). A recolha e recolocação do equipamento, após limpeza e calibração, implicaria mais de quatro deslocações por mês, sendo este esforço demasiado elevado para um pequeno projecto.

Conclusões

Os sistemas de monitorização em contínuo e em tempo real são instrumentos de elevada importância para o estudo e a gestão da zona costeira. Idealmente, estes sistemas devem ser complementados por modelos numéricos, que permitam dar continuidade espacial e temporal aos valores medidos, efectuar previsões e estudar cenários de gestão. Por seu lado, estes modelos exigem um conhecimento aprofundado dos processos costeiros.



Fig. 8 - Estrutura de suporte do equipamento. Aspecto da mesma estrutura 20 dias após a sua colocação no local

Existindo uma experiência reduzida a nível nacional no desenvolvimento de sistemas integrados de modelação e aquisição de dados, o projecto Realtime encontrou algumas dificuldades, relacionadas principalmente com a aquisição de dados.

Na aplicação efectuada, as operações de manutenção do equipamento, complexas, morosas e condicionadas a certas condições de maré e meteorológicas, implicaram uma logística e uma alocação de recursos humanos significativas. Esta situação foi agravada pelo facto de o equipamento utilizado não apresentar mecanismos de prevenção da formação de biofilme, que permitissem reduzir a frequência das operações de manutenção.

Em futuros projectos, seria desejável dispor de meios que permitissem a aquisição de equipamento de monitorização mais eficiente para campanhas de longo termo, e de estruturas flutuantes próprias para suporte a esse equipamento. Em alternativa, o sistema poderia ser colocado numa das plataformas portuárias existentes nas margens do estuário ou numa das embarcações que diariamente o cruzam, o que permitiria reduzir substancialmente o investimento inicial e de manutenção.

Agradecimentos

O presente estudo, realizado no âmbito do projecto "*Realtime - Modelação e Aquisição de Dados em Tempo Real para Gestão Costeira*", foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (PDCTM e POCTI/MAR/15287/99).



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

Bibliografia

Anjos, D., Lino, S., 2003. *Modelação operacional no estuário do Tejo – Realtime. Acoplamento de um modelo e de um sistema automático de aquisição de dados*. Trabalho Final de Curso, Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Lisboa

Anjos, D., Fernandes, R., Lino, S., Pita, G., Neves, R., 2003. Modelação operacional no estuário do Tejo - Realtime. Acoplamento de um modelo e de um sistema automático de aquisição de dados. In: *VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente*, Lisboa, Novembro de 2003, 9 pp.

Braunschweig, F., Martins, F., Chambel, P., Neves, R., 2003. A methodology to estimate renewal time scales in estuaries: the Tagus Estuary case. *Ocean Dynamics* 53, 137-145.

Dahlin, H., Flemming, N.C., Nittis, K., Petersson, S.E. (eds.), 2003. *Building the European capacity in operational oceanography*. Elsevier, Amsterdam.

Flather, R.A., 2000. Existing operational oceanography. *Coastal Engineering* 41, 13-40.

Flemming, N.C., Vallerga, S., Pinardi, N., Behrens, H.W.A., Manzella, G., Prandle, D., Stel, J.H. (eds.), 2002. *Operational oceanography: implementation at the European and regional scales*. Elsevier, Amsterdam.

Leitão, P., Neves, R., Coelho, H., Braunschweig, F., Leitão, J., 2003. 3D hydrodynamic modelling of the Tagus region of fresh water influence. In: *4^o Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica*, Vigo, Julho de 2003, 3 pp.

Portela, L.I., Freire, P., 2000. Velocidade de queda de sedimentos finos de Corroios, estuário do Tejo. In: *3^o Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica*, Faro, Setembro de 2000, 2 pp.

Portela, L.I., 2002. Determination of critical bed shear stress for cohesive sediment deposition. In: *28th International Conference on Coastal Engineering*, Poster 14. The Institution of Civil Engineers, London.

Portela, L.I., Reis, M.M., 2004. Analysis of cohesive sediment transport in decelerating and accelerating flow. In: *29th International Conference on Coastal Engineering*, Paper 71. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Prandle, D., 2000. Operational oceanography - a view ahead. *Coastal Engineering* 41, 353-359.

Silva, A.J.R., Delfino, J.P., Leitão, J.C., Leitão, P.C., Pina, P., Neves, R.J.J., 2000. Operational models - a tool to improve coastal management. In: *Hydraulic Engineering Software VIII*, 405-414. WIT Press, Southampton.

Summerhayes, C., 2002. Technical tools for regional seas management: the role of the Global Ocean Observing System (GOOS). *Ocean & Coastal Management* 45, 777-796.

Vos, R.J., Brummelhuis, P.G.J., Gerritsen, H., 2000. Integrated data-modelling approach for suspended sediment transport on a regional scale. *Coastal Engineering* 41, 177-200.