

SISTEMAS OPERACIONAIS PARA SUPORTE À ATIVIDADE PORTUÁRIA

Adélio Silva, José Leitão, Paulo Leitão, Pedro Galvão, João Ribeiro - HIDROMOD, Lda

Ernesto Carneiro, João Pinto - APSS

SUMÁRIO

A APPS, SA, no âmbito do planeamento das dragagens e da sua monitorização, tem vindo a desenvolver um estudo aprofundado que visa identificar as suas causas e efeitos, tendo em consideração tanto o que respeita ao comportamento hidrodinâmico como o que respeita ao ecossistema e impactos resultantes destas intervenções. Para o efeito, tem vindo a desenvolver um conjunto de ações, avaliações e aquisição de dados, de forma a produzir ferramentas de apoio à decisão.

Neste contexto a APSS tem vindo a desenvolver em colaboração com a HIDROMOD um conjunto de tecnologias e ferramentas informáticas que permitem a integração de dados (incluindo dados adquiridos em tempo real) e modelos de previsão para apoio à operação, emissão de avisos e alertas e produção automática de relatórios. Estas ferramentas, baseadas na plataforma AQUASAFE, representam uma inovação em termos de operação e gestão, disponibilizando sistemas capazes de integrar dados e modelos, comunicar com bases de dados e extrair daí informação com as características consideradas necessárias para suporte das atividades diárias. Isto inclui a capacidade de pesquisar os dados num sistema georreferenciado, com uma interface amigável para o utilizador, e fazer perguntas que permitem dar resposta a requisitos operacionais

Como resultados práticos pretende-se conseguir por um lado a redução do esforço de dragagem tendo por base um conhecimento detalhado das características dos navios e da coluna de água real disponível para a navegação e, por outro lado, disponibilizar uma ferramenta de apoio específico à pilotagem/navegação e ao combate à poluição que possa cruzar toda a informação meteorológica, de níveis e agitação, com os levantamentos hidrográficos atualizados, produzindo informação sobre as condições de navegabilidade e das possíveis áreas afetadas em caso de ocorrência de um derrame acidental.

Na presente comunicação apresenta-se uma descrição das práticas que têm vindo a ser implantadas no Porto de Setúbal e das melhorias que se pretendem alcançar associadas a este tipo de abordagem.

ENQUADRAMENTO

O Plano de ordenamento e expansão do porto de Setúbal e o Plano Estratégico do Porto de Setúbal, enquanto instrumentos de gestão do território e de apoio à decisão apontam como um dos fatores críticos de sucesso para cumprir a visão de desenvolvimento do porto a melhoria dos seus acessos marítimos.

Integrada nesta estratégia a Administração dos Portos de Setúbal e Sesimbra, S.A. entendeu como fator determinante para o desenvolvimento do porto de Setúbal, as seguintes necessidades:

- Garantir e melhorar as condições de acesso aos terminais portuários, dos canais de navegação, bacias de manobra e bacias de estacionamento;
- Avaliação das necessidades de aprofundamento dos acessos marítimos.

Estes objetivos estratégicos prendem-se com a necessidade absoluta de garantir as condições de operação e navegação de toda a frota e tipo de navios que operam no porto de Setúbal, o cumprimento absoluta das regras e normas de segurança marítima e de navegação estabelecidas na legislação nacional e normas internacionais que Portugal é subscritor, a par do cumprimento e das melhores práticas ambientais aplicáveis.

Para o efeito, foram identificadas as seguintes necessidades no que se refere à melhoria dos acessos marítimos ao porto, tendo contudo, sido classificadas segundo os seguintes critérios:

- Necessidades de curto prazo: nas situações em que exista atualmente uma procura de aprofundamento dos acessos a terminais que disponham já de infraestruturas compatíveis com tal aprofundamento;
- Necessidades de médio prazo: nas situações em que exista atualmente uma procura de aprofundamento dos acessos, para terminais ainda a construir ou a adaptar às profundidades em causa.
- Necessidades de longo prazo: nas situações em que foi identificada uma procura de aprofundamento dos acessos a médio ou longo prazo

DRAGAGENS DE MANUTENÇÃO

A informação relativa às dragagens do Porto de Setúbal passou a ser processada de forma sistemática a partir de 2004 com base não só nas previsões estabelecidas (fossem elas determinadas mais empiricamente ou em modelo matemático/hidrodinâmico) para a reposição dos fundos, como também nos volumes efetivamente realizados. Esta análise tem permitido estabelecer correlações e “comportamentos” de resposta do sistema (leia-se sistema, como o espaço geográfico dos canais e sua envolvente) face a um conjunto de fenómenos sejam eles gerados por comportamentos de maior previsibilidade, como o efeito das correntes de marés, ou outros de carácter mais imprevisível. Nestes fatores incluem-se as variações das condições meteorológicas, designadamente a intensidade pluviométrica ao longo de toda a bacia hidrográfica que pode alterar significativamente caudais e consequentemente o transporte de sedimentos, fenómenos de maior agitação marítima quer em intensidade quer em rumo, que vão contribuir de forma muito substantiva para alterações de turbulência e consequentemente transporte de partículas quer para o canal da barra, quer para o interior do estuário em função das marés (enchente ou vazante).

Toda esta informação, quer no que se refere aos volumes, quer à gestão dos dragados, ou seja, todo o processo de planeamento, execução dos trabalhos e gestão de todas as operações que regem as dragagens, sejam elas a avaliação dos índices de contaminação dos materiais a dragar, seleção do equipamento de dragagem, tempos de operação/janelas de oportunidade, avaliação de impactes no ecossistema, monitorização das operações de deposição e impactes na ictiofauna e flora subaquática, é de alguma forma sistematizada e processada num sistema de informação geográfica, onde todos estes registos se encontram “depositados” e georreferenciados, permitindo deste modo o cruzamento da informação, sua avaliação e análise crítica quanto aos resultados obtidos.

Os aspetos mais determinantes nesta avaliação são os seguintes, podem-se representar esquematicamente na Figura 1, onde se estabelece na metodologia a aplicar em projeto dos principais aspetos a ter em consideração no seu desenvolvimento e corporização no terreno.

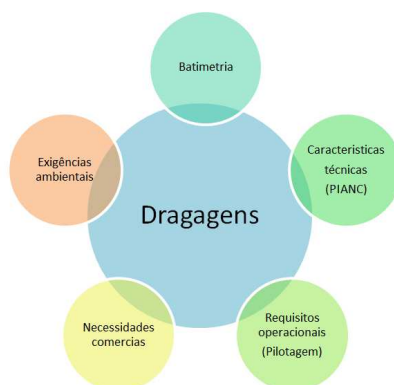


Figura 1: Aspetos de avaliação da dragagem

Na fase de elaboração de projeto, já tendo em consideração a informação prévia quanto aos índices de contaminação de sedimento e a sua tipificação e considerando as condicionantes operacionais, geralmente estabelece-se o tipo de dragagem a realizar. Essa seleção tem necessariamente de conjugar diversos fatores, nomeadamente os rendimentos de trabalho necessários para realizar os volumes de dragado, a segurança marítima e de navegação, a garantia de continuação da operação portuária comercial a par com a minimização dos impactes ambientais sejam eles ao nível da alteração da turbidez da água provocada pela ressuspensão de material fino, emissão de ruído e possibilidade de perda de material no decurso da operação.

Outro aspeto de importância fundamental é o acompanhamento dos trabalhos de dragagem de modo garantir todas os pressupostos definidos em fase de planeamento, nomeadamente na localização das operações de dragagem e deposição dos materiais em meio marinho. Estes processos implicam um controlo muito rigoroso tendo sido definidos processos de acompanhamento constante das operações efetuadas pelas dragas em trabalho no Porto de Setúbal.

O acompanhamento das operações é efetuado pelo VTS (*Vessel traffic System*), recorrendo aos seus sistemas de apoio à navegação e de posicionamento, quer através de radar instalado no centro de controlo portuário, e por comunicação rádio e obriga a uma comunicação constante com a draga de forma a serem controlados e registados e os locais de trabalho e de deposição, conforme os procedimentos internos e instruções de trabalho desenvolvidas especificamente para estas ações.

Deste modo, é possível estabelecer mapas de deposição, com a identificação dos pontos de descarga com informação da origem do sedimento, informação que permite a monitorização dos impactes no ecossistema dos efeitos da deposição, designadamente se se verifica transferência de contaminação de metais pesados para organismos vivos.

ANÁLISE DA INFORMAÇÃO EXISTENTE SOBRE A DRAGAGEM DOS CANAIS

O processo mais adequado para a estimativa das dragagens de manutenção necessárias para garantir situações de projeto com canais a profundidades diferentes (superiores) às atuais / históricas, passa pela análise das operações de manutenção anteriores, pela sua interpretação à luz do modelo de funcionamento hidrodinâmico e sedimentar considerado para o sistema em causa, e, finalmente, pela posterior extrapolação, tendo em atenção aquele funcionamento, para as situações futuras.

Atualmente, embora se disponha de um conjunto de dados sobre as operações de dragagem que têm vindo a ser feitas nos canais e bacias do Porto, tal informação carece de alguma sistematização e tratamento, um vez que só a partir de 2004, quando do início do Plano de Dragagens, esta se começou a realizar sistematicamente, bem como o tratamento da informação existente e a sua análise crítica, estando toda esta informação armazenada num sistema de informação geográfico.

Assim, embora se disponha, por exemplo, dos volumes de algumas dragagens realizadas anteriormente a 2004, assim como bem como da “cota” a que tais operações foram realizadas, desconhece-se (com exceção dos períodos mais recentes) se tais dragagens correspondem à totalidade realizada, quais as cotas exatas atingidas (normalmente as cotas referidas correspondem às cotas nominais dos canais e não necessariamente à profundidade atingida na dragagem), quais os locais exatos dragados, e quais as áreas envolvidas. Este último aspeto é particularmente importante quando se pretende utilizar a informação para estabelecer taxas de assoreamento entre períodos de dragagem, para extrapolá-las para situações de dragagem a outras profundidades.

De qualquer modo, conjugando os elementos disponíveis com os resultados dos estudos em modelo matemático foi possível estabelecer, com um grau de aproximação adequado aos objetivos do presente estudo, ordens de magnitude para as dragagens de manutenção a efetuar em cada Projeto considerado.

Das zonas em análise, o Canal da Barra é o que apresenta maior dinamismo do ponto de vista sedimentar. De acordo com os registos mais antigos, este canal apresentava, em 1930, fundos de (-6 m) ZH. Segundo os dados que foi possível apurar, nos anos de 1966/67 foi efetuada uma dragagem de 450.000 m³ para estabelecer a cota de (-7 m) ZH, e após esta dragagem, até 1971, foram efetuadas dragagens de 115.000 m³/ano, em média, para manutenção dessa profundidade.

Em 1971/72, com a entrada em atividade dos estaleiros da Setenave, o canal foi dragado à cota (-9 m) ZH, a que se terão seguido dragagens de manutenção de valor médio de 160.000 m³/ano. Em 1977/78 foram dragados 1.800.000 m³ para estabelecer o rasto do canal à cota (-12 m) ZH.

A informação sobre os volumes de dragagens de manutenção que se seguiram é escassa. De acordo os dados disponíveis entre 1978 e 1981 não foram feitas dragagens. Entre 1981 e 1983 foram feitas dragagens mas não se conseguiu averiguar os volumes que teriam sido removidos. A partir de 1984 até 1988, terão sido dragados, em média, cerca de 176.000 m³/ano.

Nos projetos da dragagem dos canais da Barra e Norte, realizados na segunda metade da década de 90 para o Terminal Multiusos, com base nos volumes de dragagens realizadas entre 1978 e 1987 foi estimada uma taxa de assoreamento inicial, imediatamente a seguir à realização da dragagem, da ordem de 0,70 m/ano, baixando depois, nos anos seguintes, para valores próximos de 0,15 m/ano.

Para o Canal da Barra a dragagem média anual da ordem dos 50 000 m³, o que corresponde a uma taxa de assoreamento de cerca de 0,07 m/m²/ano, embora, refira-se que esta taxa de assoreamento não apresenta uma distribuição uniforme dada a formação de complexos fenómenos de dunas e anti dunas submersas, que apresentam uma notável mobilidade no sentido de jusante, embora ainda sem um padrão de comportamento bem definido/identificado dada complexa hidrodinâmica local, associada à agitação marítimas, turbulência local e permanente alteração dos fundos, sendo que a principal ocorrência se verifica numa extensão aproximada de um 1/3 do seu comprimento junto da entrada da barra.

Com base no histórico já existente e da recolha sistemática de informação, podem tirar-se algumas conclusões de permitem identificar alguns aspetos determinantes para a definição de estratégias de atuação para situações futuras ou mesmo, equacionar novas abordagens quanto à resolução deste assunto.

Deste modo, permite-se concluir que, de uma forma geral, o aprofundamento dos canais se traduz num padrão de comportamento que se pode caracterizar do seguinte modo:

- No imediato verifica-se uma tendência para reposição dos fundos iniciais, mas passa a verificar-se uma estabilização dos fundos em geral;
- As maiores variações, neste padrão de comportamento, verificam-se nos extremos nascente e poente do estuário, designadamente junto da bacia de estacionamento do terminal da Termitrena e no 1º terço do início do canal da barra, embora os fenómenos que levam a esta maior instabilidade, sejam distintos.

Consequentemente, se em grande parte dos canais de navegação e bacias se podem estabelecer previsões dos índices de assoreamento com uma boa fiabilidade, nestes dois locais os fatores de incerteza são mais elevados dada a sua variabilidade e interdependência de efeitos de grande imprevisibilidade a “longo prazo”, essencialmente os de natureza meteorológica. Em qualquer caso, o conhecimento da dinâmica local permite estabelecer estratégias de atuação para as dragagens de manutenção, de modo a otimizar os elevados custos associados a estas operações, a par da mitigação de alguns impactes ambientais que decorrem das operações de dragagem.

Poder-se-á, assim assumir algum risco de assoreamento, aumentando o intervalo de tempo entre intervenções de dragagem, com as seguintes vantagens:

- Redução de custos de mobilização e desmobilização de equipamentos de dragagem e apoios técnico-logísticos;

- Aproveitamento do efeito de escala (maior volume de dragagem), mas que pode tornar mais eficiente e eficaz a operação, melhorando assim o resultado a par da redução do custo unitário de dragagem, pelo efeito da maior eficiência da operação, resultando maiores rendimentos do equipamento.

Conhecendo, a tendência de comportamento (taxa de assoreamento), poder-se-á assim, aumentar o intervalo de tempo para $(t+x)$, mas tal implica também que a necessidade de dragagem num determinado local terá que ser $(a+x)$, contudo, pela tendência verificada, constata-se que se verifica uma capacidade acomodativa do “sistema”, tendendo estes volumes para valores menores.

Há no entanto que ter em atenção as singularidades que se verificam no canal da barra, com a formação de complexas dunas submarinas que estão constantemente a sujeitas à dinâmica das correntes locais, agitação marítima, entre outros fenómenos, embora de menor expressão e magnitude, mas que não poderão ser desprezados numa análise mais “fina”, que levam a que estas dunas submersas estejam em contante mudança de geometria (variação da altura e forma, assim como do seu posicionamento em “projeção horizontal” ao longo do canal.

Indissociado e complementarmente a esta estratégia, dever-se-á, caminhar para uma “abordagem” deste problema não assente em modelos determinísticos e muito conservativos, como os que até à presente data têm vindo a ser adotados, uma vez que os critérios de dimensionamento assentam numa visão estática das diferentes variáveis em jogo, quando de facto elas são dinâmicas e estão a variar a cada instante.

Na atual visão para determinação do resguardo à quilha são considerados os fatores indicados na Figura 2 que se vão adicionando sucessivamente (mesmo quando não se estão a verificar). Ao invés desta perspetiva/abordagem, poder-se-á ter uma “visão dinâmica” do assunto, uma vez que a cada instante as condições físicas na prática se estão constantemente a alterar.

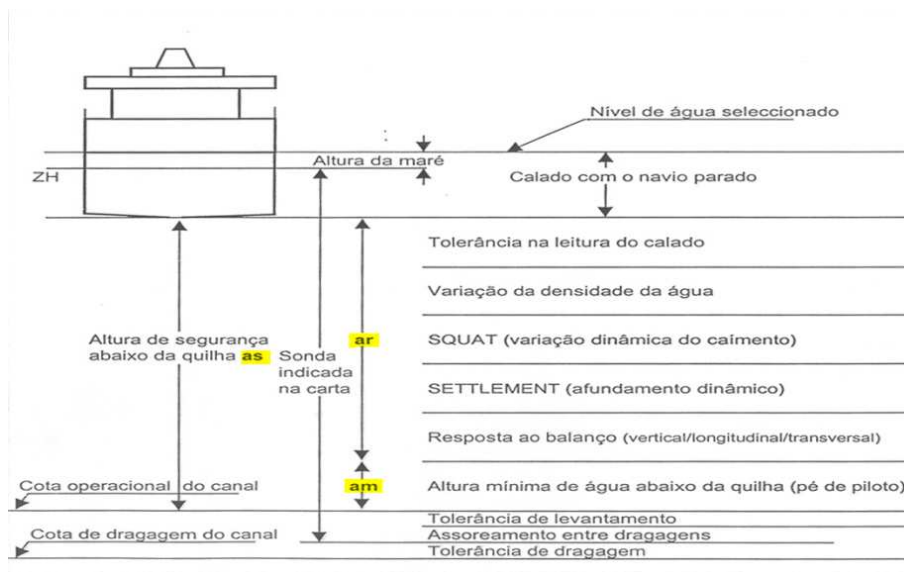


Figura 2: Resguardo à quilha (segundo modelo da PIANC)

Ou seja, a limitação operacional, para além dos fatores dinâmicos que a cada instante de verificam, é estabelecida para a “sonda reduzida” (sonda mais desfavorável detetada em levantamento hidrográfico) no percurso que o navio vai realizar, e cuja probabilidade de ocorrência é muito remota, ou cujo fator de incerteza se pode determinar, podendo assim definir-se “janelas de oportunidade” ou “janelas de interdição” como representado na Figura 3.

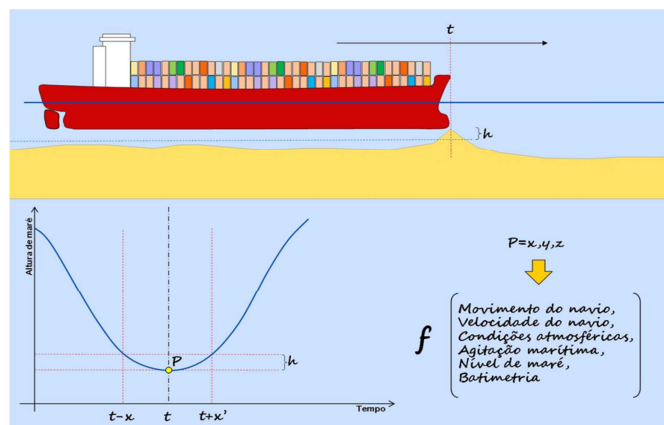


Figura 3: Definição de janelas de oportunidade

Considere-se um determinado espaço geográfico, algures no canal de navegação, de coordenadas x, y, z , num determinado intervalo de tempo t , em que se verifica a maré mais baixa para o ano e em que h corresponde à sonda reduzida nesse instante. O ponto P , representa, o conjunto de fatores que estão a interagir a com navio, designadamente as condições atmosféricas, pressão, agitação marítima e os movimentos do navio, sendo que o principal e que mais efeito tem com o “afocinamento” do navio é o chamado “squat” (caimento), que é determinado com base na seguinte expressão (PIANC).

$$\text{Squat} = 2.4 \times \tilde{V} / L_{pp}^2 \times F_{nh}^2 / (1 - F_{nh}^2)^{1/2}$$

Onde:

\tilde{V} - Deslocamento do navio (m^3)

L_{pp} - Comprimento entre perpendiculares do navio (m)

F_{nh} - Número de Froude

Sendo o número de Froude (F_{nh}) determinado através da seguinte expressão:

$$F_{nh} = V / (gh)^{1/2}$$

Onde:

V - Velocidade a que se desloca o navio

g - Força da gravidade

h - Altura da lâmina de água

Na possibilidade de se poderem prever e/ou parametrizar com a necessária segurança as variáveis que condicionam a navegação, passa a ser possível estabelecer um serviço operacional que determine para as horas ou dias seguintes quais as condições de eventual restrição de navegação para um determinado tipo de navio com uma determinada carga.

O conhecimento destas variáveis em tempo real, sejam elas as condições meteorológicas, características da agitação no local (altura, período e rumo); as correntes locais, a pressão atmosférica que está a ocorrer no instante, assim como a temperatura, salinidade da água, torna possível a redução do esforço de dragagem (nomeadamente por redução de algumas dos coeficientes de incerteza e assunção de algumas eventuais restrições pontuais à navegação) mantendo as condições de navegabilidade, manobrabilidade e de segurança do navio (cf. Figura 4).

Pode-se pois deste modo, definir janelas de oportunidade ou de limitação operacional, contribuindo assim para a melhoria substantiva da eficácia do porto, na mitigação dos impactes ambientais que as dragagens provocam de alguma forma no ecossistema, redução dos custos de n (por otimização/eficiência da operação) contribuindo para a melhoria da competitividade do porto, com os inerentes benefícios económicos para as economias regionais e nacionais.



Figura 4: Possibilidades de geração de informação

Este aspeto é de primordial importância na competitividade, na eficiência e eficácia de um porto, dado que 1 cm de calado a mais pode representar dezenas ou centenas de milhares de euros, economizados por via da otimização do calado, ou do dito de outra forma o “deslocamento carregado”.

Naturalmente que esta visão do problema, implica a adoção de métodos e critérios probabilísticos, assentes e modelação matemática, que permita quantificar a “resposta” do navio, seja ela decorrente do tipo e geometria do navio, dos seus movimentos e trajetória, o seu posicionamento em tempo real, as condições de operação e manobra, as condições ambientais externas ao navio, tais como a agitação do mar, seja altura, período das ondas, temperatura das águas/densidade, direção e intensidade das correntes, direção e intensidade do vento, pressão atmosférica, a fiabilidade das previsões das marés, agitação, batimetria, e condições meteorológicas, o que na prática representa uma imensa variabilidade de fatores, embora grande parte deles se possam vir a prever, com bom grau de fiabilidade.

Esta avaliação probabilística, permite de facto estabelecer janelas de oportunidade ou permitir a adoção de atuações mais compatíveis com a realidade, reduzindo a incerteza (quando anteriormente, esta era considerada como níveis de risco muito superiores), logo uma visão mais conservativa da realidade, com ineficiências económicas substantivas.

Para a implementação desta abordagem torna-se necessário a aquisição de equipamento específico que proceda em tempo real à recolha de informação datada de meios de transmissão de dados, para um sistema que integre e processe toda a informação em tempo real, e de suporte à decisão, permitindo ainda a previsão das condições de operação (cf. Figura 5).

A APSS tem atualmente disponível um conjunto de dados recolhidos por estações meteorológicas, marégrafos e sensores de nível que suportam este tipo de abordagem e que pode igualmente disponibilizar para utilização dos utilizadores do estuário.



Figura 5: Meios de recolha de informação

Meteorologia

A informação de meteorologia em tempo real tem origem em 4 estações instaladas pela APSS em Sesimbra, Baliza 2, Trem Naval e Santa Catarina. Estas estações encontram-se equipadas de forma a fornecer dados sobre: temperatura, pressão atmosférica, humidade relativa, velocidade e direção do vento, precipitação e visibilidade. Estas estações funcionam com um *datalogger* que envia os dados para um servidor da APSS

Níveis de maré

Os níveis de maré são registados em 4 estações da responsabilidade da APSS (Baliza 2, Fontainhas, Trem Naval e Lisnave) e em 2 da responsabilidade do IH (Troia e Sesimbra).

Os dados de maré recolhidos pela APSS utilizam diferentes tipos de tecnologia o que implica um tratamento diferenciado dos dados produzidos.

Na estação da Lisnave a medição do nível de maré é efetuada por um sensor de pressão que é gerido diretamente pelo *datalogger*. Os dados de maré das estações da Baliza 2 e Trem Naval são obtidos através de um sensor de micro-ondas (Miros SM-094 *Range Finder*) são enviados em bruto e tratados através de *software* proprietário a funcionar nos servidores APSS.

Refira-se também que o facto de se dispor de uma “quadricula” de marégrafos, vai permitir determinar com rigor, as variações diferenciais ao longo do estuário do Sado, da onda de marés, seja nos defasamentos de “tempo”, seja da diferença altura da onda de maré, de ponto para ponto, permitindo assim “desenhar” “isócronas”, facto de importância para que se possa “jogar” com este parâmetro na altura da coluna de água sobre o navio e ajustar a sua velocidade ou janela temporal de modo a poder “surfear” sobre esta onda.

Agitação marítima (Tempo real).

Os dados de agitação marítima (altura significativa e período, de onda) resultam de prós processamento dos dados brutos enviados pelos já referidos sensores Miros nas estações da Baliza 2 e Trem Naval com a utilização de *software* propriedade do fabricante. Ainda no âmbito deste projeto mais ambicioso, para além do equipamento instalado, poder-se-á vir a adquirir uma boia ondógrafo que permita recolher a cotas mais profundas, superiores a 100 metros ZH (onde se pode “capturar” uma onda completamente “limpa” de interferências do fundo).

MODELOS DE PREVISÃO

A HIDROMOD mantém atualmente sistemas de previsão das condições oceanográficas (correntes, níveis, salinidade e temperatura) e da agitação marítima para toda a costa portuguesa com previsões de 3 a 7 dias. Estes sistemas encontram-se a funcionar em servidores próprios e permitem disponibilizar previsões com grande detalhe (em malhas com uma precisão da ordem dos 50 metros) para a área de jurisdição da APSS.

Previsão da agitação

O sistema de previsão da agitação para a Costa Portuguesa é suportado pelos modelos Wave Watch III (WWIII) e SWAN que apresenta a característica de incluir os subdomínios de grande resolução, com malhas da ordem dos 50 metros, para diferentes áreas. Estes submodelos de grande resolução suportam atualmente a produção de informação detalhada sobre as características da agitação nas zonas de Viana do Castelo, Leixões, Peniche, Lisboa, Setúbal e Sines.

No caso do porto de Setúbal, como se viu, a APSS tem vindo a instalar uma rede de monitorização de dados meteo-oceanográficos que inclui medidores de nível na Baliza 2, Tróia, Trem Naval e Setenave e meteorologia na Baliza 2, Tróia, Trem Naval e Setenave.

O medidor de nível instalado na Baliza 2 tem características que lhe permitem medir também a agitação. Neste caso o sistema não é direcional, já que apenas mede a altura num ponto mas permite determinar os valores da altura significativa e do período (*cf. Figura 6*).



Figura 6: Localização dos equipamentos de medida da APSS.

O sistema de modelação é corrido em duas fases. Na primeira fase é corrido o modelo de escala global WaveWatch III onde são calculados quatro domínios (cf. Figura 7). O forçamento é efetuado usando dados de vento do GFS (Global Forecasting System, NOAA) com uma resolução de 0.5°. O mesmo tipo de forçamento é mantido para todos os níveis, sendo que na simulação dos níveis inferiores é feita uma interpolação dos dados do GFS para a nova malha. A previsão operacional nesta primeira fase é de 7 dias.

Do modelo com maior resolução são então extraídas as condições de fronteira para forçamento do modelo SWAN que corre numa segunda fase. O modelo SWAN apresenta igualmente diferentes subdomínios de alta resolução (cf. Figura 8). Estes domínios de alta resolução apresentam malhas de cálculo compatíveis com os objetivos a que se destinam (e.g navegação, alerta) permitindo gerar previsões adequadas à navegação ao longo de um canal (resoluções da ordem dos 50 metros). O forçamento do vento nas simulações com o modelo SWAN recorre aos resultados de previsão efetuados com o modelo MM5 com uma resolução de 9 quilómetros. Presentemente estas previsões estão a ser efetuadas para os próximos 3 dias.

O sistema inclui a manutenção de um processo de validação que passa pela comparação dos resultados com observações na boia ondógrafo da APL fundeada em profundidades da ordem dos 30 metros, com o sistema de medição da agitação instalado pela APSS na boia de navegação da Baliza e com os dados das boias ondógrafo de Sines e Leixões. A validação tem vindo a ser efetuada quer por comparação com os parâmetros integrais, como altura significativa, período e direção acompanham os registos das boias (cf. Figura 9), mas também através de análise da energia da onda relativa aos dados da boia da APL (cf. Figura 10).

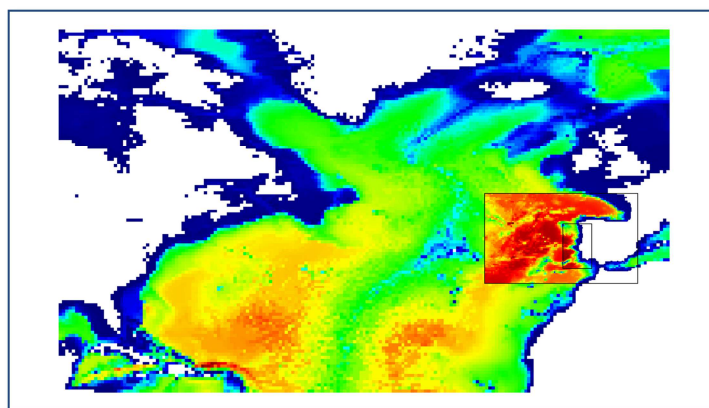


Figura 7: Domínios considerados no Wave Watch III e respetivas batimetrias.

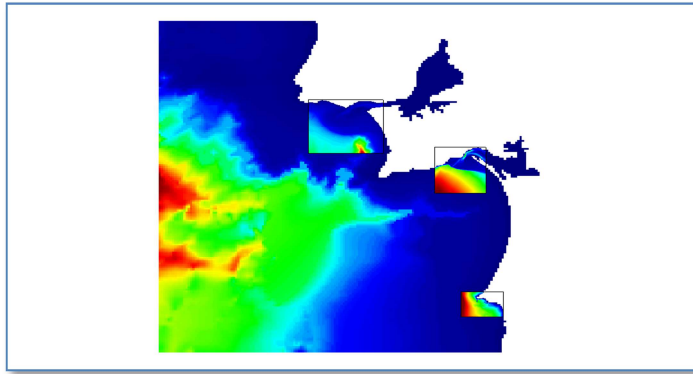


Figura 8: Domínios considerados no SWAN e respetivas batimetrias.

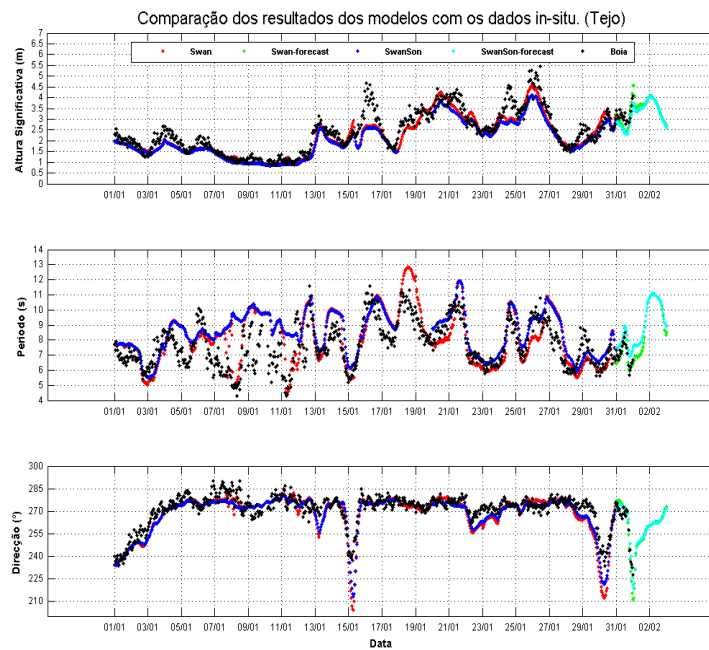


Figura 9: Comparação dos resultados obtidos pelos vários modelos com as medições da Boia da APL.

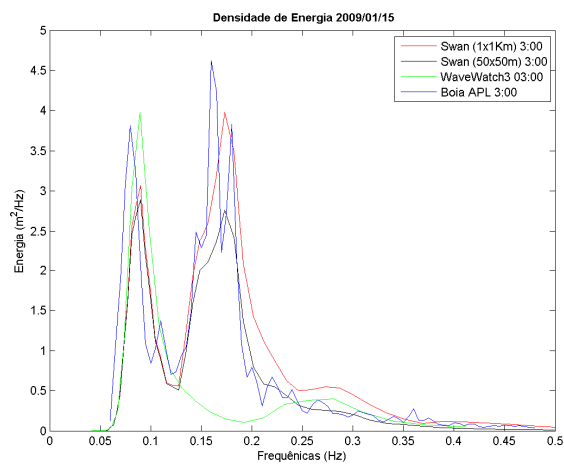


Figura 10: Comparação do espectro de energia de onda gerado em cada modelo com o espectro de energia registado na boia da APL.

Previsão de correntes e níveis

A Hidromod mantém um serviço de previsão das condições oceanográficas na Costa Portuguesa que incluem a previsão de níveis (incluindo os efeitos de maré astronómica e meteorológica), correntes, salinidade e temperatura da água.

O sistema utiliza como forçamento previsões de grande escala produzidas para o Atlântico Norte pelo Mercator Ocean (Drillet *et al*, 2005) e conta com 3 níveis locais para a Costa Portuguesa onde é utilizada igualmente a previsão atmosférica do modelo MM5 produzida pelo IST (Domingos *et al*, 2005). A maré é tida em consideração utilizando como forçamento a solução FES2004 (Lyard *et al* 2006).

A previsão de grande escala produzida pelo Mercator Ocean consiste numa solução semanal com 14 dias de previsão e 7 dias de análise. Os submodelos utilizados para a Costa Portuguesa estão implementados sobre o sistema MOHID e apresentam resoluções que variam de 0,06° a 0,01° com uma discretização vertical de 49 camadas.

As previsões atmosféricas produzidas pelo IST são efetuadas diariamente e abrangem o período dos próximos 7 dias. Com resoluções horizontais de 27 km e 9 km

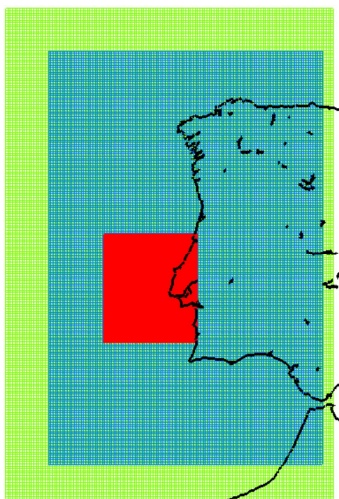


Figura 11: Esquema dos domínios de cálculo do modelo de previsão de correntes e níveis na Costa Portuguesa

APLICAÇÃO PARA SUPORTE À NAVEGAÇÃO EM TEMPO REAL

A implementação prática dos conceitos atrás referidos implica a necessidade de integrar toda esta informação num modelo geral de gestão, sustentado por ferramentas de gestão de informação, a partir do qual se possa gerar informação que sirva para construção de modelos avançados de previsão de agitação, meteorologia local, afinação e melhoramento dos modelos hidrodinâmicos existentes, e, finalmente, para suportar ferramentas de apoio à decisão na navegação portuária, gestão avançada das necessidades de dragagem (otimização das necessidades de dragagem/minimização dos volumes a dragar) e monitorização ambiental de todo o estuário e dos seus sistemas e ecossistemas (*cf. Figura 12*).

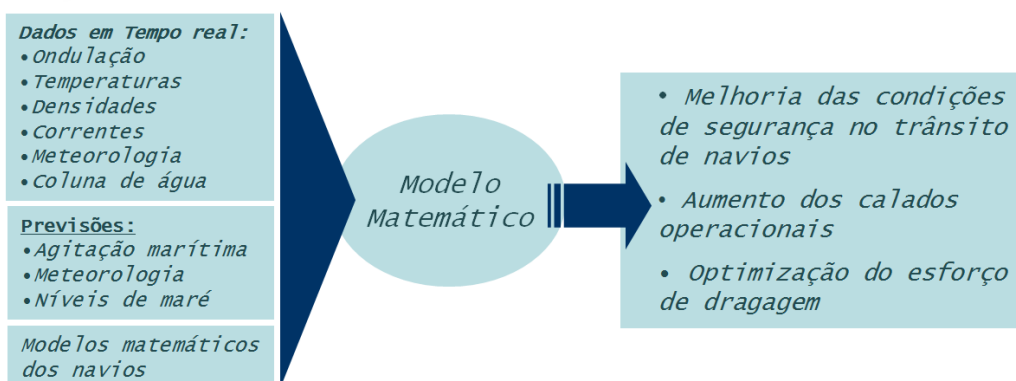


Figura 12: Esquema de gestão da informação

Plataforma AQUASAFE

A gestão eficiente da informação e a capacidade de antecipar problemas ou planejar operações de forma eficiente constituem pontos críticos tanto por causa de uma mais exigente regulamentação jurídica ambiental como também como por causa da necessidade de aumento da eficiência da exploração dos sistemas e incremento da segurança e informação ao consumidor e ao público em geral.

A plataforma AQUASAFE tem por objetivo tornar mais eficiente a gestão de operações potenciando a utilização de informação em tempo real e a sua integração com ferramentas de previsão e diagnóstico.

De acordo com os conceitos implementados na plataforma AQUASAFE essa integração é feita gerindo de maneira uniforme os dados medidos (sensores, deteção remota) e os dados modelados (cf. Figura 13).

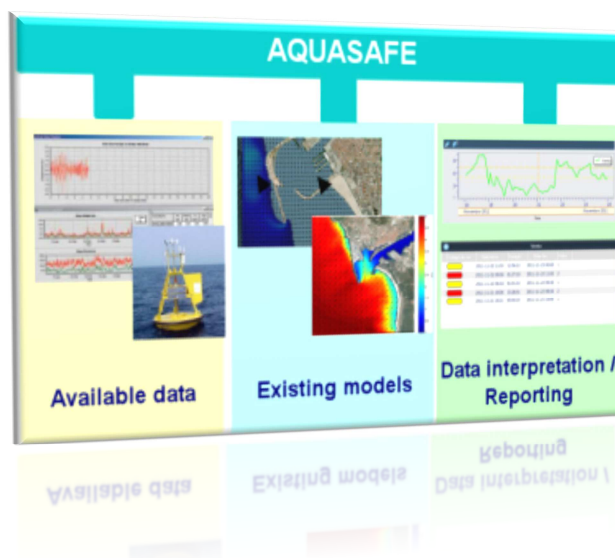


Figura 13: Esquema funcional da plataforma AQUASAFE

Os dados medidos podem ter origem em amostragem clássica ou ser importados em tempo real e os modelos podem ser executados em modo de diagnóstico para simular cenários ou periodicamente no modo de previsão. Esta metodologia permite uma gestão em tempo real dos dados necessários para caracterizar as condições de navegabilidade com uma elevada continuidade temporal e espacial.

Processamento em tempo real

Como se referiu anteriormente a APSS iniciou há alguns anos um processo de recolha de dados para caracterização das condições meteo-oceanográficas e da evolução dos fundos. Para estes dados se transformarem na informação útil que se pretende é necessário trata-los, organiza-los e reporta-los de forma eficiente.

A plataforma AQUASAFE está especialmente vocacionada para estas tarefas através da possibilidade da configuração de processamentos e modos de pesquisa dinâmicos adequados a cada tipo de problema. Por exemplo é possível automatizar os cálculos associados à dinâmica dos navios, cruzar esses dados com as previsões meteo-oceanográficas e com os dados de batimetria e indicar de forma automática e continua no tempo a coluna de água disponível para navegação.

A plataforma permite criar ecrãs com dados em tempo real (tipo *dashboard*) que sintetizem a informação obtida a partir dos sensores ou resultam da integração deste tipo de dados com resultados de modelação matemática (cf. *Figura 14*).



Figura 14: Exemplo de *dashboard* AQUASAFE numa aplicação no porto de Viana do Castelo

Integração com ferramentas de Modelação

Um modelo funcional e calibrado equivale a ter uma rede de sensores “virtuais” em qualquer ponto, permitindo não apenas analisar o que se passou mas também prever o futuro.

Um modelo pode estar calibrado mas é fundamental que quando solicitado para obter uma resposta, o seu utilizador tenha a garantia que todas as condições de fronteira estão ajustadas à realidade. Esta informação deriva normalmente de sistemas de telemetria e envolve um fluxo de informação que necessita de armazenamento e manutenção e que normalmente representa um obstáculo à utilização plena das ferramentas de modelação em contexto operacional.

Este é um dos aspetos fundamentais da plataforma AQUASAFE: uma estrutura que permite gerir todos os fluxos de informação necessários para obter uma resposta adequada no contexto da gestão de problemas típicos em sistemas de suporte à navegação. Os dados medidos são importados em tempo real e os modelos são executados periodicamente no modo de previsão (cf. *Figura 15*).

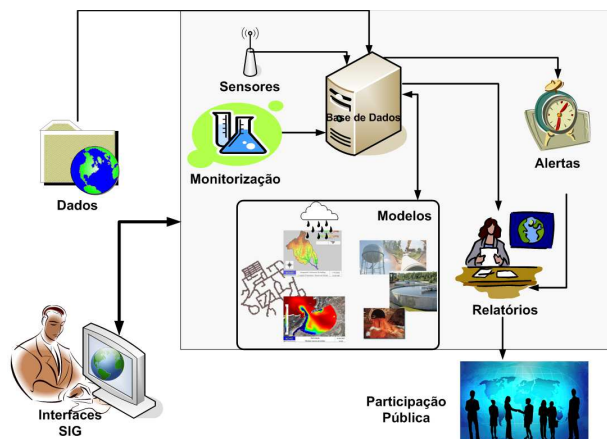


Figura 15: Integração de dados e modelos na plataforma AQUASAFE

IMPLEMENTAÇÃO DA PLATAFORMA AQUASAFE NA APSS

O sistema em fase de implementação na APSS dispõe da capacidade de publicar informação para suporte à navegação num *web browser* ou em dispositivos móveis, dispondo de uma aplicação *desktop*, de acesso mais restrito, para tratamento e análise mais detalhada dos dados disponíveis.

As componentes *web browser* e móvel dispõem de capacidade para permitir visualizar os dados adquiridos pela APSS à medida que eles estão disponíveis para o efeito (se a ligação for em tempo real os dados são igualmente publicados em tempo real) e os resultados das previsões de agitação, meteorológicas, níveis e correntes para os próximos 3 a 7 dias. A aplicação disponibiliza igualmente a previsão de eventuais períodos de restrição de navegação que resultam do cruzamento da informação atrás referida (agentes naturais, batimetria, movimentos do navio).

A componente de acesso mais restrito disponibiliza um cliente *desktop* para acesso ao servidor. Para além de permitir uma visualização mais elaborada dos dados disponíveis, com possibilidade de personalização, *pan-zoom*, etc. e permite igualmente efetuar operações complexas sobre os dados (quer medidos quer modelados).

O sistema é baseado na plataforma AQUASAFE que, funcionando como elemento integrador modelos e fontes externas de dados, permite nomeadamente:

- Disponibilizar resultados da modelação em tempo real através da integração de dados com os modelos sem intervenção humana;
- Antecipar situações problemáticas através da criação de alarmes personalizados que combinam a informação de várias fontes de dados (reais ou modelados);
- Lançar processos automáticos de simulação de cenários personalizados para avaliar opções de gestão em tempo real;
- Gerar relatórios automatizados dos resultados da modelação e/ou das medidas com base em *templates* pré-definidos pelo utilizador;
- Permitir utilizar de forma prática os resultados da modelação na gestão das operações tirando partido do *know-how* dos operadores já existentes;

A plataforma AQUASAFE é compatível (ou facilmente adaptável) com a utilização de diferentes modelos (*run-off*, meteorologia, hidrodinâmica, ondas, etc.) e inclui a possibilidade de customizar as interfaces de acordo com os perfis de diferentes utilizadores.

Todos os dados são armazenados de forma estruturada numa base de dados permitindo assim ir agregando conhecimento para otimizar operações críticas no futuro (como seja o caso das dragagens por exemplo).

CONCLUSÕES

No âmbito dos respetivos Planos de Ordenamento e Expansão e Estratégico o porto de Setúbal tem vindo a desenvolver abordagens que permitam suportar de forma objetiva a adoção de estratégias mais eficazes na gestão das ações de desenvolvimento do porto e da melhoria dos seus acessos marítimos.

Entre os aspetos críticos para melhoria dos procedimentos atualmente seguidos encontra-se a gestão dos planos de dragagem, que se pretende que passem a ser geridos com base em avaliações dinâmicas do sistema ao invés da abordagem tradicional que se baseia em visões estáticas do problema.

Esta abordagem dinâmica da gestão das acessibilidades é suportada pela integração em tempo real de dados adquiridos por sensores (estações meteorológicas, marégrafos, ondógrafos, correntómetros) e de previsões de parâmetros meteo-oceanográficos (meteorologia, ondas, correntes, batimetria, características dos navios que demandam o porto, etc.).

Com a adoção deste tipo de abordagens pretende-se em última análise reduzir o esforço de dragagem através de um controlo contínuo da altura de água de segurança abaixo da quilha ou “Pé de Piloto” bruto (“Gross Underkeel Clearance”). Este controlo permite por um lado reduzir as margens de incerteza normalmente utilizadas para definir as cotas de dragagem e, em última análise, gerir o movimento dos navios para garantir que se um navio se encontraria perto do limite de segurança numa situação de baixa-mar de águas vivas, atrase (ou adiante) um pouco a hora de entrada por forma a beneficiar da onda de maré.

Para suportar este sistema está a ser instalada na APSS uma estrutura informática, baseada na plataforma AQUASAFE, que possibilitará cruzar em tempo real toda esta informação e proporcionar previsões fiáveis das condições de navegabilidade em função da situação atual e das previsões meteo-oceanográficas detalhadas para o local.

O sistema implica um esforço de monitorização que garanta uma atualização frequente da batimetria dos canais (para garantir que a evolução dos fundos é perfeitamente conhecida), a manutenção duma infraestrutura de monitorização de parâmetros meteorológicos e oceanográficos e de modelos de previsão devidamente validados, mas é potencialmente geradora de um retorno económico significativo já que os custos de dragagem podem ser significativamente reduzidos ou, em alternativa, o mesmo esforço de dragagem pode permitir o acesso a navios de maior calado.

REFERENCIAS

Briggs, M. J., Borgman, L. E., & Bratteland, E., 2003, *Probability assessment for deep-draft navigation channel design*. Coastal engineering 48, 29-50

Domingos, J. J. Delgado, A. R. Trancoso. Meteo-ist. Internet service, 2005.

Drillet, Y., Bourdalle R. Badie, L. Siefridt, and C. Le Provost. 2005, *Meddies in the Mercator North Atlantic and Mediterranean Sea eddy-resolving model*. Journal of Geophysical Research, 110(C3).

Lyard, F., F. Lefevre, T. Letellier, and O. Francis, 2006, *Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004*. Ocean Dynamics, 56(5-6):394-415.

PIANC, 1985, *Underkeel clearance for large ships in maritime fairways with hard bottom*. Report of a working group of the Permanent Technical Committee II, Supplement to Bulletin nº 51.

PIANC, 1995, *Approach Channels. Preliminary Guidelines*. Supplement to Bulletin nr. 87. , International Association of Ports and Harbors

PIANC, 1997, *Approach channels - A guide for design*. Supplement to Bulletin No 95, International Association of Ports and Harbors.

Savenije, P.Ph.A.C., 1996, *Probabilistic admittance policy deep draught vessels*, PIANC, Bulletin No. 91, pp. 25-37.