

INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO DO MOLHE OESTE DO PORTO DE SINES

João Alfredo SANTOS

Eng. ° Civil, LNEC, Av. do Brasil, 1700-066, Lisboa, +351.21.8443451, jsantos@lnec.pt

Luís Gabriel SILVA

Eng. ° Civil, LNEC, Av. do Brasil, 1700-066, Lisboa, +351.21.8443602, lgsilva@lnec.pt

Maria da Graça NEVES

Eng. ° Civil, LNEC, Av. do Brasil, 1700-066, Lisboa, +351.21.8443426, gneves@lnec.pt

Carlos SILVESTRE

Eng. ° Electrotécnico, DSOR/ISR – IST, Av. Rovisco Pais, 1, Torre Norte, Piso 8, 1049-001 Lisboa

Paulo OLIVEIRA

Eng. ° Electrotécnico, DSOR/ISR – IST, Av. Rovisco Pais, 1, Torre Norte, Piso 8, 1049-001 Lisboa

Antonio PASCOAL

Eng. ° Electrotécnico, DSOR/ISR – IST, Av. Rovisco Pais, 1, Torre Norte, Piso 8, 1049-001 Lisboa

Luís SEBASTIÃO

Eng. ° Electrotécnico, DSOR/ISR – IST, Av. Rovisco Pais, 1, Torre Norte, Piso 8, 1049-001 Lisboa

João ALVES

Eng. ° Electrotécnico, DSOR/ISR – IST, Av. Rovisco Pais, 1, Torre Norte, Piso 8, 1049-001 Lisboa

Resumo

Este artigo tem como objectivo descrever o trabalho em desenvolvimento por uma equipa do LNEC e do IST com duas vertentes complementares: Utilização dos últimos avanços da tecnologia de posicionamento, navegação e controlo para o desenvolvimento de metodologias e ferramentas de inspecção precisa e eficaz da geometria de quebra-mares de talude; Desenvolvimento de metodologias de diagnóstico do estado de risco da estrutura que, a partir de medidas da evolução dos quebra-mares ao longo dos anos, permita ajudar na tomada de decisão de quando e como fazer intervenções na estrutura.

Assim, no âmbito deste trabalho está a ser desenvolvido um instrumento para a caracterização da geometria de quebra-mares de talude que é composto por uma sonda acústica com varrimento mecânico para mapeamento da parte da estrutura abaixo da linha de água e um sistema laser para levantamento da restante parte. Este instrumento está a ser testado na inspecção do quebra-mar de protecção do porto de Sines, tendo sido já efectuadas campanhas com um pré-protótipo para identificar as características dos aparelho necessárias à sua fácil utilização. A aplicação destas técnicas de inspecção de quebra-mares irá pôr à disposição dos técnicos meios para acompanhar a evolução temporal destas estruturas, permitindo localizar com precisão as áreas mais debilitadas.

O volume de dados resultante das inspecções da estrutura (parte emersa e imersa) será condensado num conjunto reduzido de parâmetros que permita a caracterização do estado da estrutura e a sua evolução.

Palavras-chave – Inspeção, quebra-mar, diagnóstico, porto de Sines

1 INTRODUÇÃO

O projecto de quebra-mares de taludes é, devido às características destas estruturas, realizado no pressuposto de que obras de manutenção ou reparação serão necessárias durante a sua vida útil. O custo da estrutura, o seu comportamento esperado, bem como as consequências da sua ruína na protecção da bacia portuária, justificam a existência de um programa de acompanhamento da estrutura que permita decidir quando realizar as obras necessárias de manutenção, ou mesmo de reparação. O processo de tomada de decisão relativo a estas intervenções deve apoiar-se no diagnóstico da estrutura, partindo de um conjunto de variáveis descritoras do seu estado.

Contudo, ainda não é viável caracterizar de forma contínua o estado de um trecho de um quebra-mar de taludes. Assim, o procedimento mais usual de acompanhamento destas estruturas é a sua inspecção periódica que, na maioria dos casos, se tem limitado à parte emersa da estrutura, uma vez que o custo associado à observação da parte submersa é muito elevado.

Com o objectivo de melhorar a caracterização do estado de um quebra-mar de talude, uma equipa do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e do Instituto de Sistemas e Robótica do Instituto Superior Técnico (ISR/IST) está neste momento a trabalhar num projecto intitulado "MEDIRES - Metodologias de Diagnóstico e Inspeção Robotizada de Estruturas Semi-Submersas" que pretende estabelecer uma metodologia para o diagnóstico de quebra-mares de talude a partir da inspecção periódica, quer da sua parte emersa, quer da sua parte submersa. Para tal, estão a desenvolver-se técnicas sistemáticas para medição "in situ" de quebra-mares de talude e metodologias de avaliação e previsão da evolução do estado dos quebra-mares, procurando, deste modo, fornecer aos técnicos indicadores claros que permitam caracterizar o estado em que se encontram as estruturas e avaliar a extensão de eventuais intervenções. As ferramentas e as técnicas em desenvolvimento no âmbito deste projecto serão testadas no molhe oeste do porto de Sines e no molhe do porto de Avilés (Astúrias) cujas autoridades portuárias são também parceiros deste projecto de investigação em consórcio.

Este artigo tem como objectivo descrever o trabalho em desenvolvimento nas suas duas vertentes complementares:

- Desenvolvimento de metodologias e ferramentas de inspecção precisa e eficaz da geometria de quebra-mares de talude;
- Desenvolvimento de metodologias de diagnóstico do estado de risco da estrutura que, a partir de medidas da evolução do quebra-mar ao longo dos anos, permita ajudar na tomada de decisão de quando e como fazer intervenções na estrutura.

Depois desta introdução, apresenta-se nesta comunicação um breve resumo da actividade do LNEC no âmbito da inspecção sistemática de obras marítimas, descrevendo-se em seguida com algum detalhe os objectivos do projecto MEDIRES. Por fim apresenta-se o trabalho já realizado tendo em vista a inspecção e o diagnóstico do molhe oeste do porto de Sines.

2 OBSERVAÇÃO SISTEMÁTICA DE OBRAS MARÍTIMAS EM PORTUGAL

Em 1986, foi implementado pela primeira vez em Portugal, por iniciativa do LNEC, um programa de observação sistemática das obras que então se encontravam sob a jurisdição da Direcção-Geral de Portos. Nesse ano levou-se a efeito uma série de acções preparatórias para a sua implementação e procedeu-se à realização das primeiras campanhas de observação visual.

Esta observação sistemática, para além do aspecto preventivo de que se reveste, tem permitido ter uma panorâmica do estado em que as obras se encontram, facilitando, assim, o estabelecimento de prioridades de actuação baseado em dados concretos resultantes da avaliação contínua e não em meras observações de circunstância que poderão facilmente induzir em erro quem decide.

Os moldes em que este programa se tem desenvolvido foram evoluindo ao longo do tempo, em função dos meios disponíveis e dos resultados que entretanto foram sendo obtidos, com vista à sua optimização. Actualmente, o projecto inclui a observação sistemática da zona emersa de 28 quebra-mares distribuídos por toda a costa de Portugal continental, representando cerca de 75% do comprimento total de quebra-mares de taludes em Portugal. Após a realização de cada campanha, é elaborado um relatório, onde se pretende dar uma panorâmica do estado em que se encontram as diversas obras, o modo como eventuais estragos têm evoluído e se procura definir o Estado de Risco em que as diversas estruturas se encontram. Até agora a observação visual tem sido aquela que com mais frequência tem sido utilizada.

2.1 Objectivos da observação sistemática de obras marítimas

Com a implementação de um programa de observação sistemática de obras marítimas, visam-se, fundamentalmente, três objectivos principais:

- Possibilitar a detecção de anomalias do comportamento das estruturas a tempo de permitir introduzir as correcções adequadas e minimizar as consequências económicas de eventuais avarias;
- Comparar o comportamento real das estruturas com o comportamento previsto no projecto, permitindo, assim, aperfeiçoar critérios de concepção e especificar melhor as propriedades dos materiais a empregar, as técnicas de fabrico de alguns componentes e os processos construtivos a adoptar;
- Proporcionar uma selecção criteriosa e tecnicamente sustentada das estruturas mais necessitadas em termos de obras de manutenção e/ou obras de reparação.

Para que estes objectivos possam ser atingidos com mais eficácia, é fundamental que a observação seja efectuada segundo dois pontos de vista distintos: o das acções e o do comportamento da estrutura, avaliando através do estado em que se encontra a obra e da evolução do mesmo ao longo do tempo.

No que se refere à observação das acções, torna-se necessário caracterizar a agitação marítima ao largo, para que, posteriormente, seja possível a determinação das suas características em pontos situados nas imediações das obras, recorrendo a modelos matemáticos de propagação da agitação.

A observação do comportamento das estruturas marítimas deverá iniciar-se logo após a finalização da construção, devendo-se, nessa ocasião, proceder à perfeita caracterização do estado da estrutura, visto tratar-se de uma base de referência óptima para a continuação de um programa de observação. Em caso de não ser possível, a primeira observação será tomada como o estado de referência, a partir do qual se observa a evolução do estado do quebra-mar.

2.2 Caracterização das acções

O trabalho de base realizado até agora pelo LNEC no que respeita às acções nos quebra-mares que são objecto de observação sistemática consta de:

- Traçado de matrizes de fundo para toda a costa de Portugal continental;
- Compilação dos dados de agitação marítima existentes desde a década de 50 (no âmbito desta actividade foi editada uma série de relatórios);
- Traçado de planos de ondulação para a zona circundante dos portos de Póvoa de Varzim, Figueira da Foz, Leixões, Baleeira e Viana do Castelo e para a baía de Cascais;
- Cálculo de leques de refração para a zona do porto de Figueira da Foz.

Desenvolveu-se ainda uma base de dados relativa às acções: VALEXT. Esta base de dados contém informação sobre todas as tempestades registadas na costa de Portugal continental desde 1956 e que tem vindo a ser actualizada sempre que novos dados se encontrem disponíveis.

2.3 Caracterização do estado da estrutura

O trabalho de base realizado até agora pelo LNEC no que respeita à observação das estruturas que são objecto de observação sistemática consta de:

- Selecção de perfis e pontos de referência para levantamentos e nivelamentos, e obtenção de alguns resultados da aplicação destas técnicas topográficas;
- Observação visual da zona emersa das obras, com uma frequência anual;
- Obtenção de fotografias sistemáticas;
- Análise dos resultados obtidos nas campanhas de observação visual e produção de um relatório anual, no qual se caracteriza o estado em que se encontra cada uma das estruturas observadas e se estabelecem prioridades de intervenção.

Desenvolveu-se ainda uma base de dados relativa às observações: ANOSOM. Esta é uma base de dados onde se encontram armazenados todos os elementos considerados importantes para a caracterização do comportamento das estruturas. Para além da informação relativa a cada uma das campanhas de observação visual, esta base de dados dispõe ainda de um pequeno historial de cada uma das estruturas em observação e a caracterização tão exacta quanto possível de cada um dos troços em que cada uma das obras foi dividida. Com base nos elementos armazenados resultantes da realização das diversas campanhas de observação visual, pode fornecer-se ao utilizador os resultados da aplicação de determinados critérios estabelecidos para classificar o estado actual das obras, o seu estado de evolução e o estado de risco em que se encontra cada um dos troços em que as obras foram previamente subdivididos. Estes resultados permitem caracterizar globalmente a segurança das estruturas, sendo a partir deles e com base em observações mais pormenorizadas possível avaliar sobre a eventual necessidade de se efectuarem obras de vulto ou pequenas reparações.

A inspecção visual de quebra-mares de talude pode realizar-se a partir do coroamento da estrutura, de bordo de um navio, de uma aeronave ou até com mergulhadores. Esta técnica de inspecção permite detectar variações nos taludes do quebra-mar, nomeadamente elementos partidos ou deslocados, bem como a deterioração dos elementos do manto devido aos processos físico-químicos naturais do ambiente agressivo em que a estrutura foi construída. Qualquer que seja o tipo de inspecção visual adoptado, ele deve ser sempre completado com uma série de fotografias da estrutura inspeccionada de acordo com um plano de pontos de vista e ângulos de tomada, estabelecidos a priori para cada quebra-mar.

Para se obter a maior extensão visível do talude, as campanhas de inspecção visual são usualmente levadas a cabo em baixa-mar. Para facilitar a tarefa do observador, sobretudo a sua movimentação sobre os elementos do manto, as inspecções devem ser levadas a cabo em dias de bom tempo e mar calmo.

Devido à extensão usual dos quebra-mares, a sua divisão em troços é fundamental para a eficiência da sua inspecção visual. Para se caracterizar adequadamente a variabilidade do estado da estrutura ao longo do seu traçado em planta, o comprimento máximo de qualquer troço daquela divisão é 200 m, sendo o número de troços no mínimo igual ao número de perfis tipo diferentes existentes ao longo do traçado da estrutura.

Numa inspecção visual o observador desloca-se ao longo do coroamento do quebra-mar duas vezes. Na primeira passagem o observador identifica os troços a inspeccionar na passagem seguinte e observa os detalhes da estrutura considerados merecedores de atenção especial na inspecção anterior. Na segunda passagem, que é muito mais demorada que a primeira, o observador preenche os impressos de inspecção e tira algumas fotografias de acordo com o esquema estabelecido.

Para facilitar a avaliação das mudanças ocorridas no troço em inspecção o observador utiliza durante a inspecção os impressos respectivos de inspecções anteriores, bem como as fotografias obtidas nessas inspecções. Além disso, o observador transporta também durante a inspecção uma máquina fotográfica, o esquema com a divisão em troços do quebra-mar inspeccionado e o esquema

das fotografias a obter, bem como um esclerómetro, que lhe fornecerá uma estimativa grosseira da resistência à compressão dos elementos do manto protector do talude.

O impresso de inspecção é um auxiliar precioso do observador pois dirige a atenção do observador para os aspectos mais relevantes do estado da estrutura a inspeccionar, fornecendo uma base para o registo sistemático daqueles aspectos, o que facilita a comparação do estado da estrutura em inspecções levadas a cabo em instantes diferentes. A qualidade da informação registada no impresso de inspecção depende fortemente da configuração do impresso e da experiência do observador. Cada impresso diz normalmente respeito a um troço apenas e procura caracterizar os vários componentes da secção transversal da estrutura, nomeadamente o manto resistente, o coroamento e o tardo.

3 NOVAS FERRAMENTAS E MÉTODOS DE INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO

Pese embora as virtudes da inspecção visual da parte emersa dos quebra-mares de taludes levada a cabo até agora pelo LNEC, nomeadamente no que se refere à compreensão do comportamento in-situ destas estruturas e às indicações sobre a necessidade de obras de reparação ou manutenção que dela se pode obter, esta abordagem tem algumas limitações intrínsecas. A mais importante resulta da inspecção visual estar limitada à parte emersa da estrutura, o que limita a qualidade do diagnóstico pois, avarias que ocorram na parte submersa da estrutura, pode demorar muito tempo até os seus efeitos se tornarem visíveis na parte emersa. Além disso, este tipo de inspecção depende muito do observador que a leva a cabo. Com efeito, para muitos dos parâmetros que é necessário caracterizar no impresso de inspecção apenas existe uma escala qualitativa, ficando ao critério do observador o estabelecimento dos limites quantitativos para essa escala. Finalmente, deve referir-se o facto de não existir qualquer influência directa do regime de agitação no diagnóstico da estrutura.

Para obstar a alguns destes problemas, o LNEC, o ISR, a APS e a Autoridad Portuária de Avilés estão envolvidos num projecto de investigação em consórcio cujo objectivo é o desenvolvimento de ferramentas e metodologias para a inspecção da geometria dos taludes de quebra-mares.

3.1 Inspeção robotizada de quebra-mares de taludes

Uma das fases mais importantes deste projecto é o desenvolvimento pelo ISR de um instrumento de medição para a realização de levantamentos com alta precisão. Este instrumento, denominado IRIS, será constituído por um sistema laser para levantar a parte emersa da estrutura e por uma sonda acústica com varrimento mecânico para levantar a parte submersa.

O IRIS conterà os seguintes sensores e sistemas:

- Uma sonda acústica, com feixe muito fino (abertura de cerca de 1 grau), equipada com um sistema de varrimento mecânico, que vai permitir fazer levantamentos da parte submersa das estruturas com grande precisão. Desta forma será possível realizar o levantamento mantendo o veículo a uma distância de segurança do quebra-mar.
- Uma sonda acústica do tipo sonar lateral que pode também ser colocada no instrumento para realizar levantamentos mais rápidos embora de mais baixa precisão. Esta técnica pode ser muito útil para uma primeira identificação do local onde se vai realizar a inspecção de modo a parametrizar correctamente todo o sistema.
- Um sistema laser com varrimento 2-D irá servir para fazer levantamento topográfico de grande precisão da parte emersa da estrutura.
- Um sistema de posicionamento via satélite, em tempo real, que irá fornecer a posição do instrumento com precisão centimétrica.
- Um sensor de movimento colocado no instrumento mede os ângulos instantâneos de rolo e picada (roll e pitch) bem como as acelerações instantâneas.

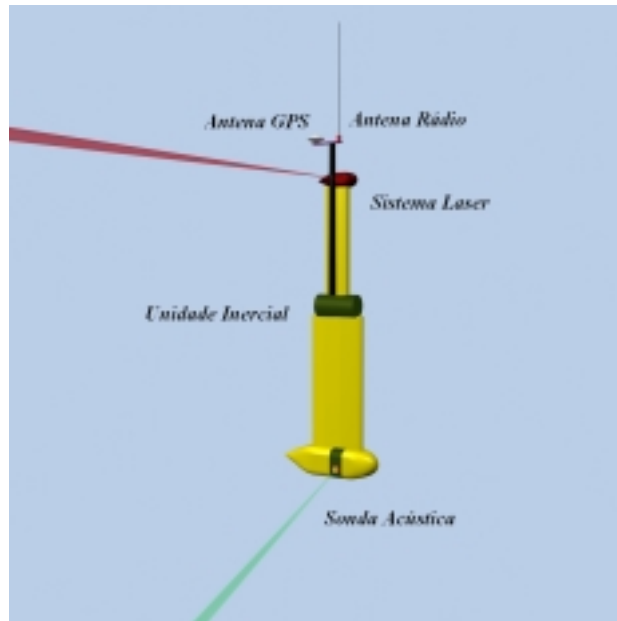


Figura 1: Instrumento para fazer levantamentos de alta precisão

- Um Sensor de Rumo colocado no instrumento irá fornecer medidas precisas do rumo do mesmo.
- Um Sistema de Sincronização e Navegação, responsável pela amostragem e sincronização dos dados de todo levantamento. Este Sistema recebe ordens do Sistema de Coordenação do Levantamento e envia comandos para posicionamento e disparo dos diversos equipamentos. Finalmente, procede às correcções das medidas dos perfis obtidos, utilizando os dados de posição, movimento (acelerações linear e velocidades angulares) e atitude.
- Um Sistema de Coordenação do Levantamento, responsável pela interacção com os sistemas de controlo do veículo e controlo de missão do veículo autónomo em que o instrumento está instalado.
- Uma Consola de Monitorização do Levantamento, de forma a aceder em tempo real aos dados produzidos pelo instrumento para avaliação in situ da qualidade dos mesmos. Existirá também no instrumento um computador destinado ao registo de dados temporal e espacialmente sincronizados e etiquetados.
- Um sistema de Pós-processamento dos Dados do Levantamento que consiste em criar uma ferramenta para processar os dados obtidos durante a missão recorrendo a metodologias de tratamento espacial e temporal das séries obtidas. O objectivo final desta análise "off-line" é aumentar a precisão dos dados da navegação, utilizando algoritmos sofisticados, multirritmo, para fusão da informação obtida pelos diversos sensores (GPS, movimento e rumo). Finalmente, utilizando a informação corrigida da navegação, compensar e corrigir espacialmente os dados obtidos pelas sondas (acústicas e laser).

Embora o IRIS possa trabalhar como um instrumento de levantamento autónomo em qualquer embarcação, desde que convenientemente solidarizado a essa embarcação, este projecto irá também explorar um cenário alternativo em que o instrumento será montado num catamarã autónomo, propriedade do ISR – IST, relativamente ao qual foram desenvolvidos sistemas de controlo e navegação de modo a garantir a repetibilidade da manobra e, conseqüentemente, a qualidade dos dados obtidos.

Este catamarã autónomo, denominado DELFIM, pode seguir rotas pré-determinadas com grande precisão, é equipado com dois motores eléctricos com hélices e desloca-se à velocidade máxima de 5 nós. Para determinar com exactidão a sua posição e velocidade, recorre a um sistema de

posicionamento via satélite (GPS com RTK). Para além disso, o veículo possui um sistema de orientação que lhe permite determinar o seu rumo e inclinação. Deste modo, o veículo sabe onde está e o rumo que leva.

Este veículo está também integrado numa rede de comunicações em tempo real, via rádio, desenvolvida no ISR. Esta rede, especialmente desenhada para aplicações de robótica multi-veículo, utiliza rádios com protocolo TDMA (Time Division Multiple Access) e vai permitir ter acesso em terra aos dados produzidos pelo instrumento. A Figura 2 apresenta o conceito da utilização do catamarã DELFIM para realizar levantamento de quebra-mares. A figura mostra a colocação do instrumento no veículo autónomo bem como a utilização do sistema laser e da sonda acústica ao longo de um possível levantamento de um quebra-mar.



Figura 2: Catamarã a fazer um levantamento

Dada a especificidade do projecto, directamente relacionada com a qualidade dos dados a obter, irá ser necessário projectar/redesenhar os seguintes sistemas do DELFIM:

- Sistema de Controlo da Missão: vai ser necessário projectar e implementar um sistema de controlo de missão, utilizando a linguagem CORAL+ (desenvolvida pelo ISR), de forma a permitir a cooperação entre os sistemas instalados no Catamarã e o Sistema de Coordenação do Levantamento instalado no instrumento.
- Sistema de Controlo do Veículo: Este é de importância extrema para o sucesso do levantamento e para a preservação da integridade da plataforma. Só a garantia de repetibilidade permitirá a comparação entre os dados obtidos ao longo de diversos levantamentos. Para além disso, o sistema de controlo do veículo é capaz de executar missões com os seguintes requisitos:
 - 1 - Baixa velocidade de progressão, função da definição do levantamento desejada. É esta velocidade que dita o espaçamento dos pontos;
 - 2 - Seguimento do quebra-mar, a distância constante, de forma a uniformizar os dados do levantamento;
 - 3 - Controlo de atitude de grande precisão de modo a permitir apontar as sondas na direcção desejada;
 - 4 - Capacidade de afastar o veículo rapidamente da estrutura no caso deste se aproximar demasiado, em virtude de ondulação, corrente ou perturbações inesperadas.

3.2 Diagnóstico da estrutura

O IRIS instalado no DELFIM será capaz de levantar, quer a parte emersa, quer a parte submersa do talude de um quebra-mar. Embora em teoria exista a possibilidade de, com base naquele levantamento, identificar até a orientação dos elementos da camada exterior do manto, tal exigirá certamente algum trabalho de identificação de padrões que pode ser mais ou menos complicado. Um resultado imediato daquele levantamento é a caracterização da envolvente do manto protector do talude. O objectivo desta parte do projecto é a definição de metodologias para estimar o estado da estrutura com base naquela envolvente.

Existem duas abordagens possíveis: as chamadas abordagens empírica e probabilística.

A abordagem empírica corresponde ao que tem sido feito até agora com os resultados das campanhas de inspecção visual: vai-se armazenando a informação sobre a envolvente do manto protector recolhido ao longo de vários anos e tenta-se entender como é que o manto protector tem variado com o tempo. Depois, partindo do conhecimento da envolvente do manto num dado levantamento e da evolução dessa envolvente até ao último levantamento deve ser possível inferir sobre o risco de ruína do manto protector nesse instante, ou seja, faz-se o diagnóstico do manto protector do quebra-mar.

A abordagem probabilística deve ser a mais adequada para lidar com o tipo de informação quantitativa que deverá ficar disponível nesses levantamentos. Começa-se por estabelecer as relações solicitações – resistência da estrutura em inspecção. Essas relações, que poderão obter-se a partir de resultados de protótipo ou de ensaios com modelos físicos reduzidos, devem ser válidas até para estruturas que já sofreram ruína parcial, algo diferente do que acontece usualmente com as fórmulas utilizadas para o dimensionamento de quebra-mares de taludes onde se assume uma situação inicial da estrutura correspondente à conclusão da sua fase construtiva. Melby e Kobayashi (1998) fornecem informação muito interessante para o estabelecimento daquelas relações solicitações – resistência a partir de resultados de ensaios com modelos físicos reduzidos.

Depois é necessário caracterizar apenas as solicitações na estrutura, que são devidas sobretudo à acção das ondas marítimas. Para tal, há que estabelecer o regime de agitação na zona de implantação da estrutura, algo que pode conseguir-se a partir da transferência do largo para aquela zona do regime de agitação ao largo (obtido idealmente a partir de medições efectuadas com bóias ondógrafo).

O conhecimento das solicitações na estrutura e da resposta da mesma permite, com base na erosão do manto protector medida na envolvente levantada pelo IRIS e utilizando técnicas de simulação de Monte Carlo, o cálculo da probabilidade de ruína do manto protector na altura do levantamento. Consegue-se assim fazer um diagnóstico do manto protector partindo de medições realizadas na estrutura e representar melhor a influência do regime de agitação na zona de implantação da estrutura na evolução esperada da estrutura.

4 O MOLHE OESTE DO PORTO DE SINES

O porto de Sines está situado na costa oeste de Portugal Continental, a cerca de 120 km a sul de Lisboa. É protegido por um quebra-mar com cerca de 1400 m de comprimento protegido no seu perfil corrente por cubos Antifer com o peso de 90 tf.

Estas características do molhe oeste resultaram do reacondicionamento do molhe que foi necessário realizar depois dos acidentes ocorridos com a solução inicialmente construída e cujo perfil corrente era protegido com dolos de 40 tf de peso. Com efeito, em Fevereiro de 1978, isto é no Inverno logo após a conclusão do manto protector do quebra-mar, ocorreu um temporal, durante o qual foi medido um estado de agitação com uma altura significativa de 8 m, que provocou estragos muito significativos no manto de dolos em quatro zonas do molhe. Um ano mais tarde, em Fevereiro de 1979,

ocorre um temporal ainda mais violento, foi registado um estado de agitação com a altura significativa de 11 m, e que provoca a ruína de praticamente todo o manto de dolos ao longo do molhe, bem como de parte do muro cortina.

4.1 Inspeção

Face aos problemas anteriores com o molhe oeste, e devido à importância da integridade desta estrutura para a segurança das operações no terminal petrolífero do porto de Sines, desde a conclusão do recondicionamento do molhe oeste de Sines, foi implementado um programa de acompanhamento da estrutura que inclui o levantamento da parte submersa do molhe com sondadores acústicos de feixe simples e da parte emersa com técnicas topográficas tradicionais. Estes levantamentos são realizados num conjunto de 54 perfis ao longo do desenvolvimento da estrutura, espaçados entre si cerca de 30 m. Desde 1993 já foram realizados 6 levantamentos. Destes levantamentos, apenas os dois últimos, os de 1998 e 2000, têm os dados em formato digital. Até agora estes são os únicos levantamentos disponíveis para o molhe oeste.

Em Junho de 2003 ficou concluído o pré-protótipo do IRIS. Este pré-protótipo, embora permita somente realizar levantamentos da parte submersa da envolvente de quebra-mar de taludes e com precisão inferior ao IRIS, está a ser determinante na caracterização das especificações associadas à qualidade dos dados obtidos e à operacionalidade do instrumento final. A seguinte série de três fotografias mostra a colocação do pré-protótipo na água antes da realização do levantamento ao manto do molhe oeste do porto de Sines, realizado em Junho de 2003. É de salientar a facilidade de manobra da estrutura, exemplificada nas fotografias, bem como a diversidade de embarcações onde a mesma pode ser utilizada.



Figura 3: Colocação do pré-protótipo na água

A fotografia seguinte apresenta o comportamento mecânico do pré-protótipo durante a operação. A partir do conjunto de testes efectuados verificou-se que o comportamento dinâmico da estrutura base do IRIS se mostrou apropriado, não havendo a registar vibrações na estrutura induzidas pelo movimento da embarcação. Assim, na concepção do protótipo IRIS, para além da inclusão do laser, dever-se-ão somente realizar um conjunto de alterações na estrutura com o objectivo de facilitar o transporte e a montagem da mesma. Para além disso, e por questões de segurança, prevê-se também a introdução de um conjunto adicional de fusíveis mecânicos, que deverão ser concebidos com o objectivo de proteger o sonar e o laser, em caso de choque da estrutura com o fundo aquando da realização de levantamentos em águas pouco profundas.

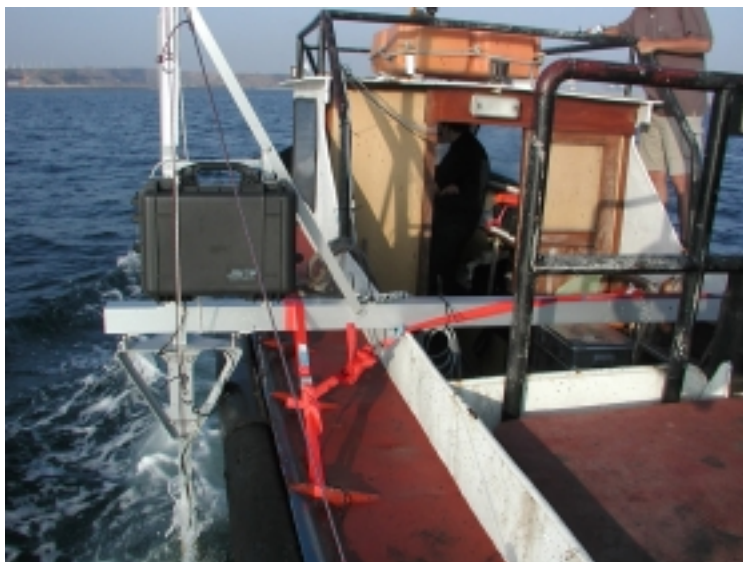


Figura 4: Comportamento mecânico do pré-protótipo durante a operação

As ferramentas e as técnicas de inspeção continuarão a ser exaustivamente testadas e desenvolvidas no molhe oeste do porto de Sines, que funcionará como primeiro caso de aplicação destas ferramentas (o segundo deverá ser o molhe do porto de Avilés, nas Astúrias). Prevê-se a realização de várias campanhas neste quebra-mar, de forma a identificar e testar as modificações necessárias às ferramentas e algoritmos, com vista a garantir a qualidade dos dados obtidos.

4.2 Diagnóstico

No corrente ano vai iniciar-se o desenvolvimento da aplicação que fará a simulação, utilizando técnicas de Monte Carlo, da evolução de um quebra-mar que já sofreu ruína parcial e que está sujeito a uma sequência de temporais determinada a partir do regime de agitação na zona de implantação da estrutura.

Já foi realizada a transferência do regime geral observado na zona onde foi colocada a bóia SINES 1D, $37^{\circ} 55' 16''$ N, $8^{\circ} 55' 44''$ W, cota do fundo -97 m (ZH), até um ponto em frente ao molhe oeste, Coli et al. 2004. Na Figura 5 apresenta-se a região considerada nos cálculos com o modelo numérico SWAN para avaliar a transformação das características da agitação marítima medida na bóia SINES 1D ao longo da sua propagação até próximo do molhe oeste. Como indicado na figura, para avaliar essa transformação foram utilizadas duas malhas quadrangulares, uma mais grosseira, com 125 m de lado cobrindo toda a região de interesse, e outra mais fina, com 5 m de lado, cobrindo apenas uma região com cerca de 500 m de lado em frente do molhe oeste e para cujas fronteiras eram transferidos os resultados da malha grosseira.

Com o regime geral observado é possível estimar o número de dias por ano em que se podem realizar operações de levantamento com o DELFIM. Para estimar a probabilidade de falha do manto protector do talude, importa conhecer o regime de extremos na vizinhança da estrutura. Tal pode obter-se transferindo o regime de extremos medido na bóia para o mesmo ponto em frente ao molhe. Neste procedimento pode utilizar-se a matriz de transferência entre a bóia e o ponto frente ao molhe oeste já estabelecida para o regime geral observado. Utilizar-se-ão os dados medidos na bóia ondógrafo SINES 1D entre 1988 e 2003, enquanto que para o regime geral observado apenas se dispunha dos dados entre 1988 e 1995.

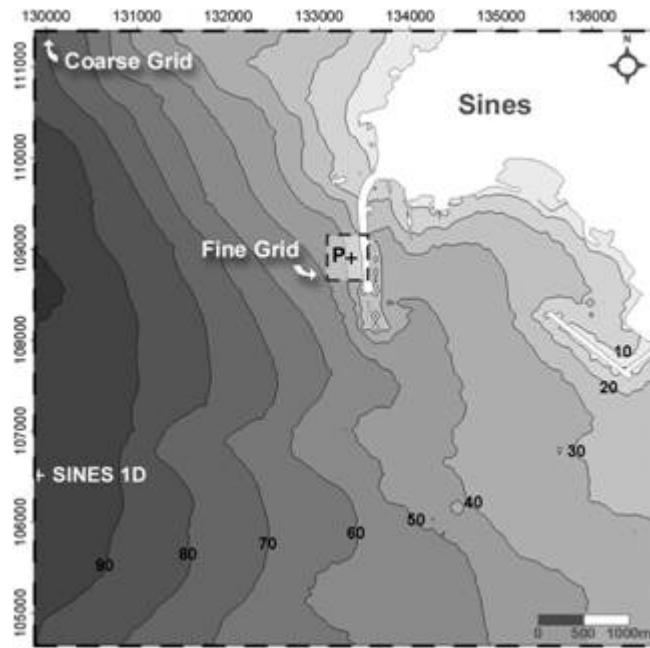


Figura 5: Domínio de cálculo considerado na transferência para frente do molhe oeste de Sines do regime geral observado na bóia SINES 1D.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentaram-se neste trabalho os procedimentos actualmente em uso no LNEC para inspecção de quebra-mares de taludes bem como as ferramentas e procedimentos que se pretende desenvolver no projecto MEDIRES para caracterizar a evolução da parte emersa e submersa da envolvente do manto protector daquelas estruturas. No âmbito deste projecto já foi desenvolvida uma versão zero do instrumento que irá realizar esse levantamento e, embora não tenha sido possível incluir nesta comunicação os resultados dos primeiros testes efectuados em Sines, espera-se que tal seja possível durante a conferência.

Pese embora o carácter quantitativo da informação que se espera recolher com os instrumentos a desenvolver no âmbito deste projecto e o nível de repetibilidade que será possível obter com os mesmos, tal não reduz o interesse da inspecção visual de quebra-mares de taludes devido à importância da informação qualitativa que se consegue obter com aquelas inspecções, nomeadamente no que se refere à fadiga dos blocos naturais ou artificiais empregues no manto protector, bem como a uma série de pequenos detalhes que poderão indiciar um comportamento anómalo da estrutura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento concedido ao projecto MEDIRES pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional e por fundos do Governo da República Portuguesa.

BIBLIOGRAFIA

COLI, A. B.; SANTOS, J. A.; CAPITÃO; R. – Wave Characterization for the Diagnosis of Semi-Submerged Structures, In *8th International Coastal Symposium*, Itapema, Brasil, 2004.