

GESTÃO, MONITORIZAÇÃO E INSPEÇÃO DE OBRAS MARÍTIMAS

Nuno Ricardo Costa Silva Marujo^{1,2}

nuno.marujo.silva@gmail.com

António Sanches do Valle¹, Jorge Caldeira¹

sanchesvalle@wwsa.pt , jorgecaldeira@wwsa.pt

António Trigo Teixeira², Maria Amélia Araújo²

trigo.teixeira@ist.utl.pt , amelia.araujo@ist.utl.pt

¹ WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A.

Rotunda Nuno Rodrigues dos Santos, 1B – 10º, 2685-223 Portela LRS

² CEHIDRO – Centro de Estudos de Hidrossistemas, Instituto Superior Técnico, Universidade
Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa.

Resumo

A gestão do ciclo de vida de obras marítimas é uma necessidade que vem assumindo uma importância crescente. Para uma eficaz gestão de obras marítimas é recomendado um sistema de suporte à decisão que facilite a gestão documental associada à obra, o processo de monitorização, a análise e avaliação destas obras, assim como a subsequente tomada de decisões.

Com esta finalidade foi desenvolvido o Sistema de Informação para a Monitorização de Obras Marítimas (**SIMOM**) o qual inclui: base de dados; interface SIG; integração com dispositivos móveis para inspeção; avaliação automática das fichas de inspeção preenchidas; visualização, processamento e avaliação de danos com base em levantamentos; e permite o registo de decisões tomadas pela entidade responsável pela gestão da estrutura.

O molhe Norte do porto de pesca da Ericeira é utilizado para ilustrar o sistema, sendo apresentados exemplos de dados da obra, caracterização estrutural, formulário de inspeção visual preenchido e levantamentos carregados e interpolados através de imagens de navegação no sistema.

1 Introdução

As obras marítimas têm sido construídas, reparadas, reconstruídas e alteradas ao longo de décadas, com pouca atenção para a otimização dos custos ao longo do seu ciclo de vida. Estes custos resultam das seguintes parcelas: construção, monitorização, manutenção, reparação, reconstrução e abandono / reconversão. Na maioria dos casos, os custos de construção representam a maior parcela do custo do ciclo de vida económico da obra. No entanto, para a maioria das estruturas a realidade mostra que a sua vida útil acaba por ser prolongada para além da sua vida útil económica. Nestes casos, o conjunto dos custos de monitorização, manutenção e reparação / reconstrução constitui a maior parcela do valor total investido na obra. A monitorização de uma obra é possível através de inspeções periódicas e levantamentos topo-batimétricos, efetuados aquando de eventos extremos e da necessidade de obtenção de informação detalhada. Atendendo a este facto, importa que a gestão da obra seja feita de forma a manter a estrutura funcional, operacional e estável dentro dos limites definidos, otimizando os recursos disponíveis sujeitos às restrições impostas pelas partes interessadas. Quando estes limites são ultrapassados, a obra deverá ser intervencionada para que sejam repostos os níveis de operacionalidade e de estabilidade estrutural pré-definidos. Estas intervenções, que podem ser periódicas e/ ou de carácter excecional, devem ser programadas e executadas como resultado de um plano de monitorização definido em função das características da obra e da entidade responsável pela sua gestão.

A adoção de um sistema de suporte à decisão possibilita a otimização de tempo e recursos ao facilitar o acesso, utilização e geração de informação necessária por parte das diferentes entidades envolvidas. Aplicado a uma obra marítima, este tipo de sistema deve possibilitar o armazenamento, consulta, análise e processamento de dados assim como o registo de informação aquando de situações próximas ou mais severas que as consideradas no dimensionamento.

Detalhando cada um destes aspetos, o armazenamento deverá ser efetuado de forma centralizada e sem redundância da informação, a consulta deverá ser feita de acordo com os privilégios definidos para cada utilizador e a análise e processamento devem ser feitos de forma automática em tarefas rotineiras. Em casos complexos deverá existir liberdade para integração de outros métodos e de resultados obtidos, por exemplo, como resultado de *expert judgement* e/ou utilização de outras ferramentas complementares através da inserção de documentos elaborados com essa finalidade. Esta necessidade prende-se com a evolução tecnológica, do conhecimento técnico-científico e de qualquer sistema informático que siga um processo evolutivo em função das necessidades.

2 Gestão de Obras Marítimas

A gestão de uma obra marítima engloba todos os processos relacionados de alguma forma com o seu normal funcionamento utilizando os recursos disponíveis eficiente e eficazmente. A adequada gestão de uma obra implica o acompanhamento da sua evolução e a tomada de decisões em função do desempenho presente *versus* o esperado. A gestão documental da obra, o registo de informação de intervenções, a análise do seu desempenho e a modelação dos diferentes fenómenos com efeitos nesta são parte integrante do processo de gestão destas obras em cada uma das fases do seu ciclo de vida. PIANC MarCom WG103 (2008)

apresentam algumas considerações para implementação de estratégias na gestão do ciclo de vida de obras marítimas. O ciclo de vida destas obras é composto pelos seguintes processos: dimensionamento, construção, operação, monitorização e intervenções. De uma forma geral a gestão do ciclo de vida destas obras pode ser descrito da seguinte forma:

- Intenção/ necessidade de construir, reconstruir ou adaptar uma obra;
- Definição dos objetivos da obra e recolha de informação condicionante;
- Dimensionamento – inclui estudo de diferentes soluções, análise da evolução esperada da obra e avaliação económica;
- Construção e Fiscalização – compreende as diferentes fases construtivas e fiscalização, incluindo os concursos associados;
- Operação e Monitorização – utilização da obra, avaliação do seu desempenho face ao esperado, realização de inspeções visuais, levantamentos topo-batimétricos e ensaios com equipamento adequado, assim como cálculo de indicadores no contexto da avaliação de danos e recomendação de intervenções;
- Intervenções – decisão de intervir, registo de todas as intervenções sobre a estrutura, quer manutenção, reparações, reconstruções;
- Demolição/ Reabilitação/ Reversão/ Abandono – alterações ao carácter da estrutura.

Ao longo de cada uma das fases acima referidas existem diferentes entidades que partilham informação entre si conforme as necessidades. Durante este processo de partilha existem diversos aspetos que condicionam a eficiência das tarefas a desempenhar. Algumas das dificuldades frequentes são o facto de a informação e documentação gerada não ficar armazenada de forma estruturada ou ser de fácil acesso quando necessária e de, no âmbito de projetos distintos para a mesma área, não existir conhecimento do local onde a informação está armazenada ou esta encontrar-se dispersa. Este aspeto pode provocar custos indiretos (perda de produtividade) e diretos (aquisição em duplicado de informação já existente pela dificuldade em a encontrar).

Em termos de gestão de obras marítimas já construídas os maiores desafios são a otimização de custos quer operacionais quer associados à manutenção da estrutura conforme o preconizado pelo projetista e responsável pela gestão. Estes desafios são concretizados com as seguintes perguntas:

- O que fazer no instante t_i ? Monitorizar de forma análoga? Alterar estratégia de monitorização? Efetuar manutenção? Reparar? Reconstruir?
- Como é que a resposta à pergunta anterior afeta o desempenho em instantes futuros?
- A solução é robusta? Isto é, a ação tomada continuará a ser a melhor mesmo face a alterações nas premissas consideradas?

Para responder a estas perguntas o especialista deverá ser capaz de providenciar à entidade gestora não apenas os efeitos da solução no presente mas qual o efeito da solução preconizada face a eventos futuros, face a diferentes estratégias de gestão da estrutura, face às incertezas intrínsecas e qual o seu efeito em termos do valor do Risco associado à obra.

No presente contexto, Risco é definido como o resultado do produto da probabilidade p_i pela consequência c_i . Este parâmetro é importante na medida em que permite ao decisor avaliar diferentes soluções com base num parâmetro agregador de significado físico explícito. Pela

sua natureza difusa as parcelas do risco podem ser tratadas com base em conceitos de lógica difusa. Entre os aspetos a ter em particular atenção deve-se referir o facto de o Risco ser utilizado como um parâmetro de valor inteiro quantificável de forma definida para uma dada obra, preferencialmente na unidade monetária utilizada pela entidade gestora, a que deve ser acrescentada uma medida da incerteza associada. Este parâmetro deve ser calculado ao longo do tempo em intervalos iguais e aquando de alterações da obra passíveis de o alterar para ultrapassar respetivamente o carácter evolutivo contínuo e discreto deste parâmetro. Esta necessidade de atualizar o valor calculado deve-se ao facto de o seu valor ser função do tempo, valor da obra, intervenções na estrutura, tipo de utilização da obra, danos na estrutura, estratégia de gestão e monitorização, existência de informação adicional que altera as premissas consideradas no cálculo deste.

O cálculo do valor do Risco possui dificuldades intrínsecas ao nível do investimento de tempo necessário e estabelecimento do valor de cada uma das parcelas. Apesar disso, o seu cálculo é recomendado por providenciar um parâmetro de significado físico que mostra claramente à entidade gestora qual o custo de não intervir, de intervir de uma dada forma, da demora em intervir e é robusto face a qualquer evolução económica com impacto na gestão da obra.

Considera-se que a metodologia de cálculo do valor do Risco, desde que definido numa fase precoce da obra ou com base nos dados da sua evolução, é robusta face aos grupos de interesse envolvidos na sua definição reduzindo a contestação que poderá surgir aquando da construção, ampliação e alteração de um obra. Este parâmetro possui a vantagem de ser um indicador económico de carácter mais amplo que apenas o valor de investimento *versus* retorno económico. Esta afirmação é demonstrada pela experiência que o valor inicial apenas é comparado com o retorno económico e não com a possibilidade de eventos futuros que alteram a análise económica efetuada e a estratégia de gestão associada.

Após estas considerações de carácter geral importa descrever uma forma de implementar os conceitos associados à gestão do ciclo de vida de obras marítimas. A preparação de uma estrutura para o processo de gestão deve atender à metodologia desenvolvida por Marujo et al. (2013). Esta metodologia é independente da evolução da estrutura e é reproduzida na sua versão melhorada como se segue:

- i. Recolha de toda a informação que condiciona e/ou condicionou de alguma forma decisões tomadas sobre a estrutura;
- ii. Divisão da estrutura em zonas de análise – **Tramos**. No caso de serem homogéneas, i.e., possuírem características geométricas, elementos estruturais e funções idênticas, a dimensão recomendada é de 100 a 500 m, ou no caso de serem zonas de transição entre estas zonas homogéneas recomenda-se que a sua dimensão seja de 10 a 200 m;
- iii. Com a finalidade de definir uma grelha de análise estrutural face a inspeções, modelação estrutural, intervenções de dimensão variável, os Tramos devem ser divididos em **Subtramos**, tipicamente de 10 a 50 m;
- iv. A divisão longitudinal preconizada acima deve ser complementada com a divisão transversal em **Elementos Estruturais e Zonas** (Emersa, Submersa, Extradorso e Intradorso nas suas combinações lógicas);
- v. No caso de estruturas com elementos sobrepostos ou desenvolvimento vertical, além destes objetos devem ser consideradas divisões verticais por elemento/zona/ dimensão máxima;

- vi. A interseção destas unidades (subtramos, elementos/ zonas e divisões verticais) constitui a grelha de monitorização e modelação de desempenho estrutural. Cada uma das unidades elementares resultantes designa-se por **Célula**;
- vii. Para cada uma das Células deve-se definir:
 - a. A periodicidade das inspeções rotineiras,
 - b. As técnicas de inspeção aplicáveis,
 - c. As principais patologias possíveis e o risco associado (estabelecendo quais as consequências e probabilidades de cada uma destas),
 - d. Quais os cenários de aviso e de alerta;
- viii. Aplicar a metodologia definida às obras em análise.

Recomenda-se a manutenção de uma grelha única de análise definida desde a fase de projeto por constituir um quadro de referência para a análise da evolução da estrutura ao longo do tempo. Em situações em que seja necessário ajustar esta grelha deverá ter-se o cuidado de ajustar a informação histórica a esta nova grelha para que a evolução seja comparável de forma direta e inequívoca.

3 Monitorização de Obras Marítimas

De entre os processos que constituem o ciclo de vida de uma obra, o processo de monitorização é destacado pelo seu âmbito temporal amplo, custos envolvidos e importância na manutenção das condições operacionais desejadas. Entende-se por monitorização o conjunto de todas as atividades relacionadas com a observação, análise e recomendações de ações no contexto de uma dada obra de forma a avaliar potenciais problemas e a providenciar a melhor resposta possível. O processo de monitorização é ilustrado na Figura 1 com carácter sequencial. Este torna-se cíclico ao repetir-se em diferentes instantes do ciclo de vida da obra.

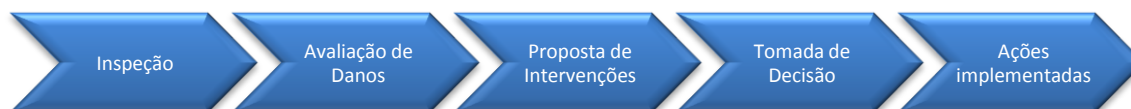


Figura 1 – Etapas do processo de monitorização de uma obra marítima.

A monitorização de uma obra pode ser feita de diferentes formas:

- Periodicamente – de x em x meses;
- Em contínuo – por exemplo registos operacionais;
- Espontaneamente – disponibilidade de recursos;
- Excecional – aquando de um evento extremo;
- Preparação para intervenções – como recolha de informação para elaboração do projeto de intervenção.

Implicitamente, uma combinação destas formas é realizada para qualquer obra marítima. Independentemente da importância da obra, a forma de monitorizar deve estar descrita num documento denominado Plano de Monitorização. Este plano deverá ser efetuado em concordância com a importância da obra podendo ser parte inclusa da memória descritiva do dimensionamento, anexo a este ou elaborado numa fase posterior.

A existência de um documento deste tipo, independentemente do detalhe e complexidade considerados, possibilita ganhos futuros ao providenciar a todas as entidades envolvidas uma base a qualquer decisão de intervenção. Este documento possibilita ainda o controlo dos gastos com o processo de monitorização ao sistematizá-lo e deverá ainda incluir a divisão da estrutura em unidades de análise compatíveis com a sua modelação. Deverá ainda providenciar o quadro de referência para a avaliação de danos e a evolução da obra conforme o método descrito em Marujo et al. (2013) e descrito anteriormente.

Um plano de monitorização tem uma validade temporal definida e poderá ser ajustado quando necessário. Recomenda-se que estes ajustes sejam realizados sempre que se verifique alguma das situações seguintes:

- Alterações na entidade gestora que impliquem alteração de estratégia de manutenção e gestão da obra;
- Alteração das condições consideradas no projeto, p.e. alterações climáticas, aumento do período de vida útil desejado, alterações na configuração dos fundos, p.e. devido à construção de uma barragem num rio a montante e conseqüentemente redução de transporte de sedimentos, entre outras;
- Evolução estrutural diferente da esperada – mais danos do que o esperado, qualidade dos materiais inferior;
- Informação adicional que altere de forma apreciável as condições aquando do projeto, p.e. séries de agitação mais longas que alterem as ações de dimensionamento.

4 Inspeção de Obras Marítimas

A inspeção de obras marítimas pode ser realizada utilizando diferentes técnicas. A técnica a utilizar depende do tipo de inspeção e deverá ser determinada de acordo com as especificidades da obra, a sua escala e o tipo de informação a obter. Uma visão geral de técnicas aplicáveis foi apresentada em Marujo et al. (2013), entre as quais se destacam a inspeção visual com registo de informação visual (fotos e vídeos) e baseada em levantamentos topo-batimétricos com recurso a técnicas de varrimento laser 3D e sonar multifeixe. As inspeções materializam uma das fases do ciclo de monitorização podendo ser de diferentes tipos segundo PIANC InCom WG30 (2013) e PIANC MarCom WG17b (2004) e em função do instante no ciclo de vida da obra:

- Inspeção de uma nova obra;
- Inspeção base;
- Inspeção rotineira;
- Inspeção para determinar uma intervenção (pré-intervenção);
- Inspeção após intervenção;
- Inspeção extraordinária;
- Inspeção aquando de um evento inesperado.

As inspeções acima podem ser designadas utilizando outra taxonomia em função da periodicidade que se apresenta na Tabela 1.

Como resultado de cada uma destas inspeções resulta uma ficha de inspeção conforme especificado no caderno de requisitos da campanha de inspeção associada. Exemplo de fichas

de inspeção foram apresentadas por Lemos and Santos (2007), Oliver et al. (1998) e Pirie et al. (2005), entre outros. Refere-se que uma ficha de inspeção não deve ser tida como absoluta para cada elemento estrutural mas deve ser adaptada às características deste e às patologias possíveis de observar com a técnica considerada.

Tabela 1 – Classificação de inspeções de acordo com a periodicidade típica e exemplos de técnicas aplicáveis

Designação da Inspeção	Periodicidade típica	Exemplo de Técnicas Aplicáveis
Contínua	Trimestral	Inspeção visual geral, acompanhamento operacional
Regular	Anual	Inspeção visual detalhada da parte emersa
Principal	Trienal	Inspeção visual da estrutura (incluindo parte submersa)
Detalhada	Cada 6 Anos	Levantamento topo batimétrico
Especial	Não programada – Aquando de um evento extremo, de um acidente ou de patologias severas	Técnicas intrusivas, técnicas de inspeção detalhada de betão

Previamente à inspeção de uma obra e tendo como base o plano de monitorização, deve-se elaborar o documento com as especificações técnicas da campanha de inspeção. Este documento deverá incluir as técnicas a utilizar, as fichas de inspeção a utilizar, o âmbito espacial, os aspetos a ter em especial atenção assim como outra informação considerada útil.

As fichas de inspeção preenchidas durante a campanha deverão servir de base ao cálculo de indicadores de dano que possibilitam a atribuição dos índices de degradação associados. As fichas de inspeção podem ser agrupadas em diferentes níveis de forma a providenciar uma visão abrangente da estrutura, considerando os níveis mais relevantes: subtramo (equivalente à secção transversal/ radial), elementos estruturais (equivalente a seções longitudinais), tramos (equivalente a uma visão macro) e da estrutura como um todo. A avaliação de danos é feita agrupando os indicadores calculados para cada uma das fichas de inspeção calculando médias ponderadas e considerando os níveis hierárquicos inferiores. Este processo é resumido na Figura 2.

Detalhando o processo de preparação de inspeção deve-se:

- i. Determinar as fichas de inspeção a aplicar à obra em análise em cada uma das células;
- ii. Determinar os pesos a atribuir a cada uma das perguntas e respostas da ficha de inspeção. Os pesos a atribuir às perguntas deverão ser discretos, no entanto, os pesos a atribuir às respostas podem ser discretos ou contínuos, conforme a pergunta associada e a forma de inspeção possibilite a aquisição de dados contínuos ou discretos. Estes pesos encontram-se definidos no plano de monitorização a implementar de forma a evitar o preenchimento subjetivo ou manipulação dos resultados de uma campanha para outra;
- iii. Proceder à inspeção preenchendo os campos da ficha;
- iv. Avaliar os danos com base nas respostas obtidas para cada uma das fichas e nos pesos atribuídos aos campos associados;

- v. Recomendar ações a tomar em função do resultado obtido;
- vi. Repetir o processo para cada inspeção visual.

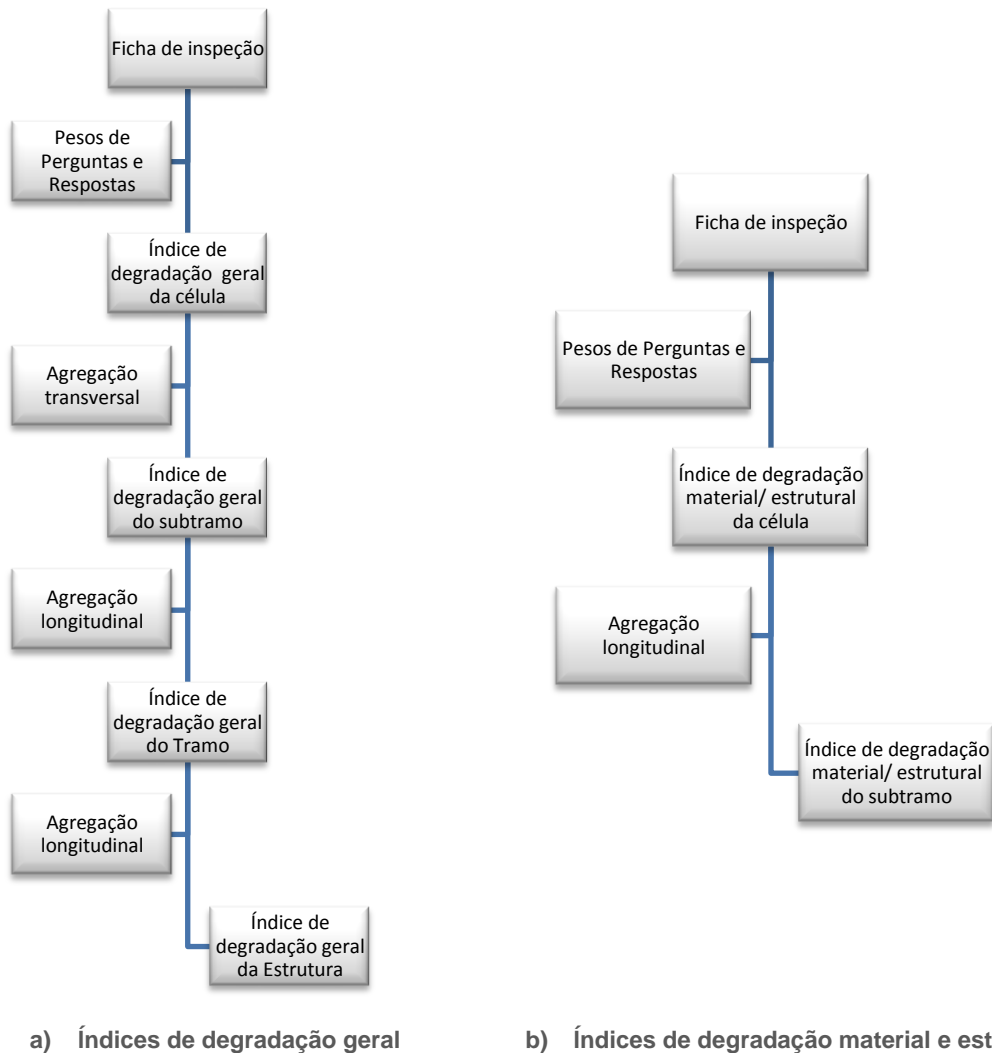


Figura 2 – Níveis de agregação de indicadores de dano.

5 SIMOM - Sistema de Informação para a Monitorização de Obras Marítimas

5.1 Funcionalidades Gerais

Após a introdução ao processo de gestão do ciclo de vida de obras marítimas importa descrever quais as funcionalidades que um sistema de suporte à decisão aplicado a obras marítimas deverá conter. As funcionalidades essenciais desejadas encontram-se na Tabela 2 tendo sido divididas em duas classes: as que constam do Sistema de Informação para a Monitorização de Obras Marítimas (**SIMOM**) e outras funcionalidades (ideais/mais avançadas).

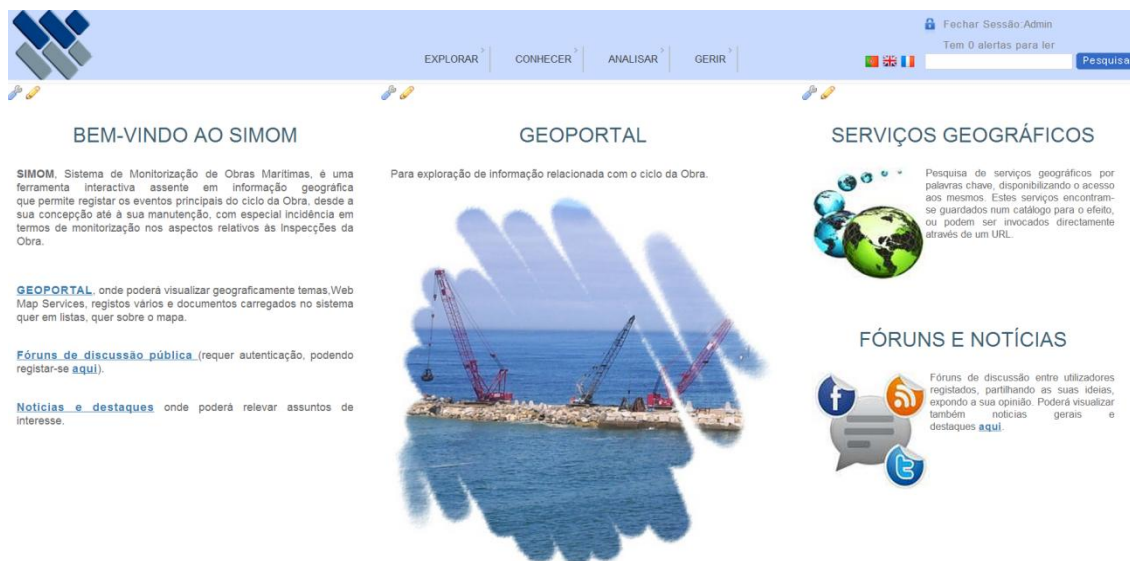


Figura 3 – Página inicial do SIMOM.

O sistema **SIMOM**, apresentado na sua versão *desktop* na Figura 3, está em desenvolvimento contínuo e baseia-se na metodologia desenvolvida por Marujo et al., (2013). Este sistema é baseado num *web SIG* e em tecnologia *open source* (*QuantumGIS*, *Postgres/ Postgis*, *GeoServer*, *GeoNetwork*, *JasperServer*). No entanto, poderão ser utilizadas outras tecnologias de informação de acordo com as necessidades e objetivos dos clientes do sistema.

O **SIMOM** é modular e contempla os seguintes módulos:

- Informação base de obras – dados gerais e georreferenciação da obra - Figura 4 e 5;
- Processos de obra – informação relativa ao projeto, construção, fiscalização, intervenções e concursos respetivos, assim como a associação de documentos relacionados;
- Caracterização estrutural – criação de zonas de análise, i.e. tramos homogéneos e zonas singulares (não homogéneas), e registo de dados associados, carregamento do alinhamento de referência da obra e visualização das geometrias associadas;
- Monitorização - inclui o plano de monitorização em vigor e o histórico, a divisão da estrutura em Subtramos, a listagem de perfis de avaliação e geometrias associadas, a criação de campanhas de inspeção de diferentes tipos, as fichas de inspeção (com fotografias e outros documentos associados) e o carregamento de levantamentos topobatimétricos. Este módulo possibilita a geração de fichas de inspeção em formato impresso e digital - dispositivo móvel *Android 4.x (smartphone/ tablet)* - que permite a localização do observador na obra, o preenchimento no local das fichas de inspeção, a aquisição de fotografias com o dispositivo e o envio desta informação em tempo real para o sistema central.
- Análise - que inclui listagem e visualização de imagens raster resultantes da interpolação de levantamentos, listagem de entidades vetoriais que caracterizam a estrutura, visualização de gráficos elaborados a partir dos perfis considerados no módulo de monitorização, avaliação/ classificação de danos - com base quer em fichas de inspeção visual quer em levantamentos, assim como o registo de recomendações e

ações tomadas, em função da avaliação de danos, pela entidade responsável pela gestão da estrutura;

- *Plugin* QGIS para carregamento de geometrias para o sistema, carregamento, interpolação e análise de levantamentos, cálculo de indicadores de dano obtidos a partir do raster resultante da interpolação de levantamentos.
- Além das funcionalidades acima mencionadas, o sistema possibilita a visualização de cartografia, o consumo de serviços Web Map Service (WMS) e Web Feature Service (WFS), a centralização e organização de ficheiros e informação geográfica em base de dados, a visualização em ambiente SIG, a emissão de relatórios, a gestão documental geral, a auditoria de ações e a pesquisa da informação registada via critérios alfanuméricos, geoespaciais e palavras-chave.

5.2 Gestão Documental

O sistema possibilita a inserção de diversos tipos de documentos no contexto de uma obra e a nível de gestão documental geral. Na Figura 6 apresenta-se os dados de um documento associado ao “Molhe do Porto de Pesca da Ericeira”.

5.3 Processos de Obra

O sistema SIMOM encontra-se preparado para a gestão de diferentes processos de obra: construção, fiscalização, monitorização, manutenção, reabilitação e concursos. Alguns Processos de Obra são exemplificados na Figura 7.

Tabela 2 – Funcionalidades de um sistema de gestão de obras marítimas implementadas no SIMOM e outras funcionalidades previstas

Funcionalidades implementadas no SIMOM	Outras funcionalidades previstas
Possibilidade de caracterizar obras marítimas	Possibilitar a previsão de evolução da estrutura face a cenários de intervenção
Organização documental da obra nas suas diferentes fases e evitar a duplicação de informação	Possibilitar a análise económica de alternativas
Centralizar a informação e facilitar o acesso à obra de acordo com os privilégios do utilizador	Visualização de resultados obtidos com modelos numéricos
Possibilitar automatizar as tarefas rotineiras de monitorização	Gestão operacional em tempo real, quando aplicado a portos
Facilitar o processo de inspeção com frequências maiores: inspeção visual e levantamentos topo-batimétricos	Modelar o desempenho da estrutura face aos últimos dados da estrutura
Possibilitar a avaliação do estado da estrutura com base nas fichas de inspeção determinadas	
Possibilitar o registo de sugestões de intervenção assim como as intervenções sobre a estrutura	
Possuir carácter centralizado para facilitar a utilização, mas separação por módulos para permitir a fácil e robusta expansão do sistema	
Possibilitar a consulta da informação no contexto espaço temporal	
Aplicável a todas as fases de desenvolvimento da obra desde a fase de projeto	

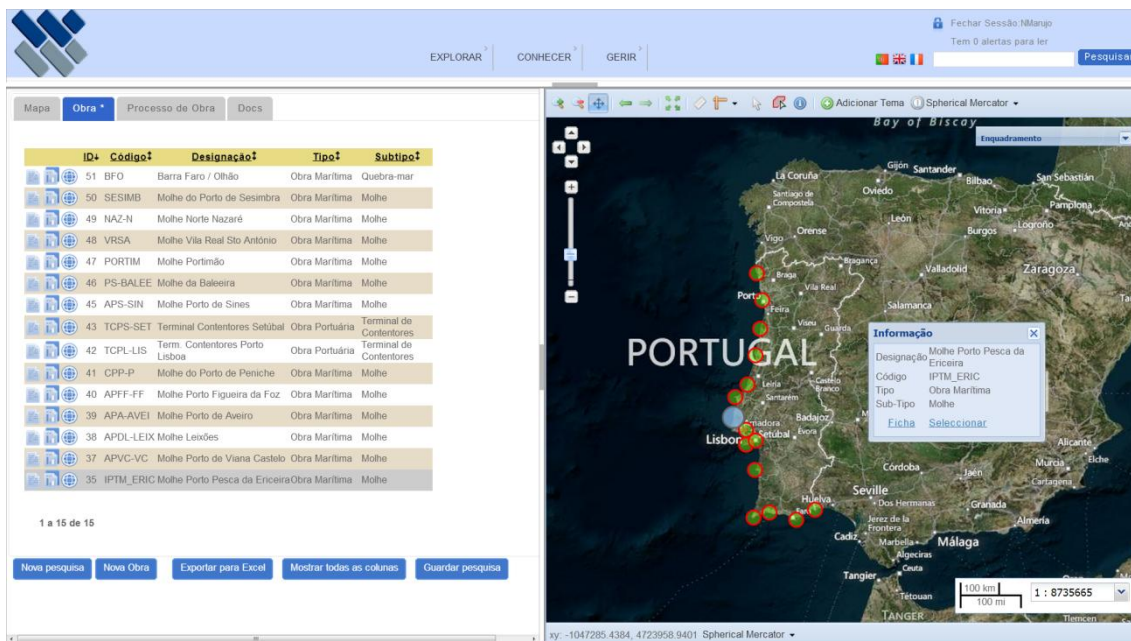


Figura 4 – Exemplo do SIMOM. Listagem de algumas obras inseridas e georreferenciadas (esquerda) e visualização no mapa (direita).

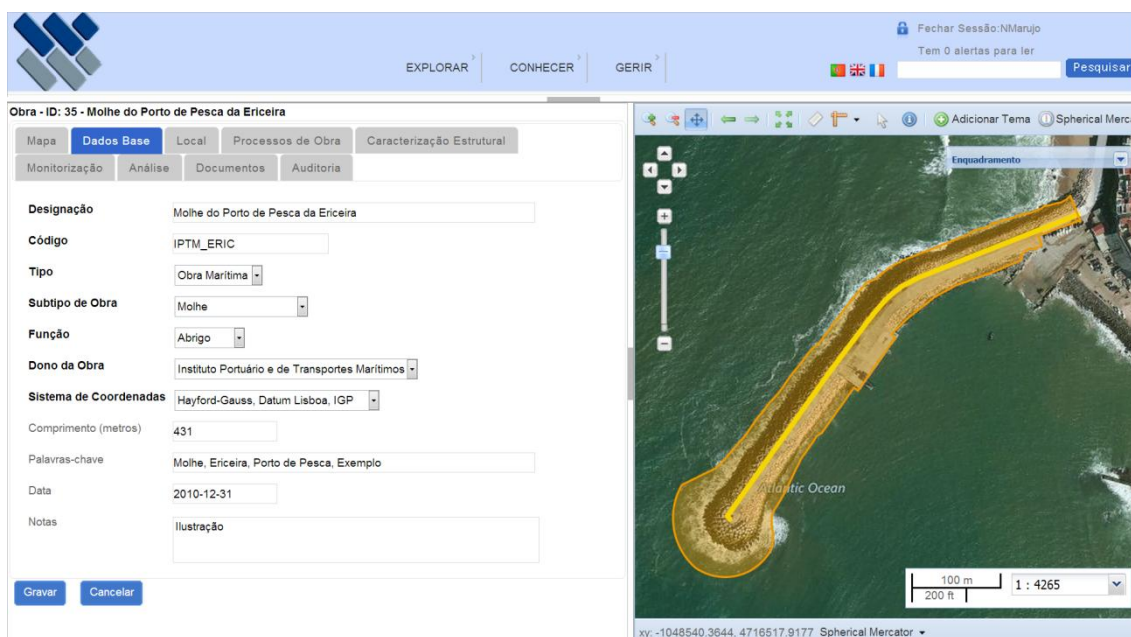


Figura 5 – Exemplo de visualização da planta do “Molhe do Porto de Pesca da Ericeira”.

5.4 Caracterização Estrutural

O sistema encontra-se preparado para a realização da caracterização estrutural da obra. Esta caracterização é feita seguindo as etapas seguintes:

- Determinação do âmbito geográfico da obra em consideração e georreferenciação;
- Carregamento das geometrias de tramos e sua caracterização;
- Caracterização e carregamento de geometrias de elementos estruturais;

- iv. Carregamento das geometrias de subtramos e sua caracterização;
- v. Geração automática das células utilizáveis no âmbito da monitorização - resultado observável na Figura 8.

A caracterização estrutural de uma obra pode ser visualizada também sob a forma de relatório impresso conforme ilustrado na Figura 9.

5.5 Monitorização

O Sistema foi desenvolvido com o intuito de providenciar às entidades intervenientes no processo de gestão de obras marítimas uma ferramenta que responda às necessidades. A arquitetura do sistema no módulo de monitorização inclui os seguintes aspetos:

- Inclusão do plano de monitorização em vigor – este plano é carregado em instantes pré-definidos para cada obra;
- Listagem de Campanhas de Inspeção e consulta da informação associada às unidades de monitorização: Tramos/ Subtramos/ Elementos Estruturais/ Zonas a considerar em cada uma das campanhas de inspeção visuais e/ ou levantamentos;
- Localização dos Perfis de Avaliação de danos considerados no Plano de Monitorização: inclui perfis transversais, radiais e longitudinais;
- Listagem das fichas de inspeção visual preenchidas ao longo do tempo para diversas campanhas;
- Listagem de levantamentos topo-batimétricos realizados e dos indicadores de dano associados a cada célula.

Esta monitorização engloba inspeções visuais e levantamentos de forma automatizada e outras técnicas via carregamento de relatórios e/ou transposição dos mesmos para fichas de inspeção quando razoável.

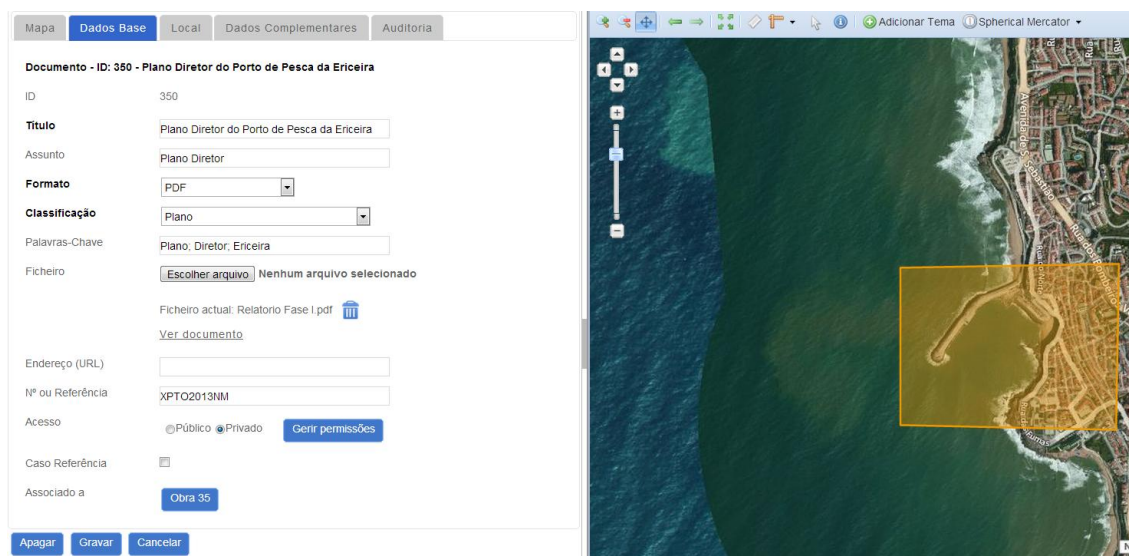


Figura 6 – Exemplo de dados de um documento (Plano Diretor) inserido no sistema associado à obra “Molhe do Porto de Pesca da Ericeira”. Dados associados ao documento (esquerda) e área geográfica afeta ao documento (direita).

Mapa Dados Base Local **Fases** Documentos Auditoria

Molhe do Porto de Pesca da Ericeira - Reconstrução do Molhe

Fase do Processo

- Projeto
- Concurso construção
- Construção
- Concurso fiscalização
- Fiscalização

Dados Base Documentos

Titular Instituto Portuário e de Transportes Marítimos

Número do Contrato

Data do Contrato

Data do Projecto

Data de Aprovação

Autor

Entidades Aprovadoras Instituto Portuário e de Transportes Marítimos

Notas

Gravar

Figura 7 – Exemplo do sistema. Dentro do módulo “Processos de Obra” e da obra “Reconstrução do Molhe” formulário para criação de uma fase do processo. Campos associados a “Projeto”.

5.5.1 Inspeções Visuais

A inspeção visual de obras marítimas é solicitada com base na definição de uma campanha de monitorização no sistema que inclua este tipo de inspeção. Na Figura 10 apresenta-se um exemplo da listagem de fichas de inspeção para preencher no dispositivo móvel. Estas fichas também podem ser impressas e preenchidas *in situ* pelo responsável. Na Figura 11 apresenta-se uma ficha de inspeção já preenchida inserida no sistema.

EXPLORAR CONHECER GERIR

Obra - ID: 05 - Molhe Porto Pesca da Ericeira

Mapa Dados Base Local **Processos de Obra** Caracterização Estrutural

Monitorização Análise Documentos Auditoria

Piano Subramos Perfis Campanhas Inspeções Visuais

Levantamentos

Tramos	Tipo	DI	DF	Peso	Subramos	Peso
67	Talude c/ superestr...	0	40	15	ERIC_TS.1	10
68	Talude c/ superestr...	40	140	15	ERIC_TS.2	10
69	Misto - Horizontal	210	270	12	ERIC_TS.3	10
70	Talude c/ superestr...	270	390	15	ERIC_TS.4	10
71	Talude c/ superestr...	430	431	10	ERIC_TS.5	10
72	Zona Singular	140	210	10	ERIC_TS.6	10
73	Zona Singular	390	430	20		

Base Elemento Estrutural / Zona

Celulas	Peso Elemento / Zona	Peso
ERIC_TS.6.1	Talude do Manto de Protecção 8.35 / Submerso Intradorso	10
ERIC_TS.6.2	Talude do Manto de Protecção 8.35 / Emerso Intradorso	10
ERIC_TS.6.3	Berm do Manto de Protecção 8.35 / Emerso Intradorso	
ERIC_TS.6.4	Maçô de Coroamento 8 / Emerso Intradorso	
ERIC_TS.6.5	Muro Corina / Emerso Estradorso	
ERIC_TS.6.6	Berm do Manto de Protecção 10.2 / Emerso Estradorso	
ERIC_TS.6.7	Talude do Manto de Protecção 10.2 / Emerso Estradorso	
ERIC_TS.6.8	Talude do Manto de Protecção 10.2 / Submerso Estradorso	

Figura 8 – Módulo de Monitorização de Obras Marítimas. Exemplo de listagem de tramos, subramos e células com alguns pesos incluídos. Selecionado a azul o Subtramo 5.6.

Caracterização Técnica De Obra

Molhe Porto Pesca da Ericeira

Código IPTM_ERIC Tipo Obra Marítima Sub-tipo Molhe
 Comprimento (m) 431 Dono de Obra Instituto Portuário e de Transportes Marítimos



TOT		
Atributo	Valor	Unidade
Proveniência	-	Alfanumérico

Dimensões		
Atributo	Valor	Unidade
Inclinação longitudinal	0.0	-
Cota máxima do elemento	10.2	m
Distância Alinhamento Referência Início	1.5	m
Distância Alinhamento Referência Fim	6.78	m
Cota Superior	10.2	m
Varição transversal da largura superior	0.0	-
Largura Superior	5.28	m
Espessura	4.7	m

Materiais		
Betão Simples		
Atributo	Valor	Unidade
Tipo de betão - Classe de resistência	C32/40	-
Tipo de betão - Classe de exposição	EQ2	-
Peso Volúmico	26	kN/m3
Características dos Agregados	-	-

Blocos Artificiais		
Atributo	Valor	Unidade
Disposição - Forma de colocação	Invertidos em	-
Nº camadas	2	-
Peso Volúmico	26	kn/m3
Massa	30	kg
Volume	11,53	m3

Figura 9 – Relatório da Caracterização para o Manto de Proteção – Berma (Extradorso) do tramo 5.

5.5.2 Levantamentos Topo-Batimétricos

Os levantamentos topo-batimétricos englobam um conjunto de técnicas de monitorização que merecem atenção especial pela sua frequência e grau de confiança nos resultados obtidos. Estes levantamentos são elaborados no contexto de uma campanha que os inclua e analisados com recurso ao *plugin* desenvolvido para o QGIS (Figura 12). A análise deste implica o cálculo de indicadores que possibilitam a comparação com os resultados obtidos durante campanhas de inspeção visual e *per se*. Este cálculo considera as mesmas células, e os indicadores e valores calculados funcionam analogamente às perguntas e respostas das fichas de inspeção.

5.6 Avaliação de Danos

A avaliação de danos é feita com base nas campanhas de inspeção realizadas para a obra em estudo e seguindo a lógica apresentada na Figura 2. A visualização dos resultados obtidos pode ser feita ao nível de célula – via respostas a perguntas (inspeção visual) ou indicadores de dano e valores (levantamentos). A visualização dos resultados pode ser feita com recurso a *treeview*, gráficos de evolução espacial e/ou gráficos de evolução temporal.

5.7 Sequências possível de utilização do sistema por diferentes tipos de entidade

Após a descrição e ilustração do sistema, apresenta-se uma sequência possível de aplicação em diferentes fases do ciclo de vida de uma obra por diferentes tipos de entidades com diversas finalidades:

- Consultor/ Projetista;
- Construtor/ Fiscal;

- Responsável pela inspeção visual/ Responsável pela elaboração de levantamentos;
- Dono de Obra/ Responsável pela gestão da obra.

5.7.1 Consultor/ Projetista

O consultor e/ ou projetista poderá utilizar o sistema da seguinte forma:

- O utilizador inicia o processo de dimensionamento de uma obra inserindo no sistema a área geográfica/ localização aproximada da obra;
- O utilizador pode inserir documentos e/ ou endereços no sistema a que associa palavras chave. Exemplos são dados de agitação, especificações técnicas pelo dono de obra, levantamentos prévios, fotografias, etc.;
- Poderá carregar diferentes geometrias com ID's diferentes e documentar as soluções testadas.

Estas entidades podem ainda utilizar o sistema para a gestão do portefólio de projetos elaborados por si ou pelos seus colaboradores.

5.7.2 Construtor/ Fiscal de uma nova obra

Para uma entidade responsável pela fiscalização ou construção de uma obra o sistema poderá ser utilizado da seguinte forma:

- A entidade insere os dados base da obra, efetua a caracterização estrutural desta e define qual o plano de monitorização desta fase;
- Para cada instante definido no plano de monitorização, são estipuladas quais as células a fiscalizar e o valor esperado da sua avaliação;
- Face a estes resultados, são registadas no sistema quais as ações a tomar e é monitorizada a evolução dos trabalhos face ao previsto.

Cod.	Tr.	Subt.	Ele.Est. / Zona	
35.2013_08_20.4	ERIC_T4	ERIC_T4.1	Muro Cortina Emerso Extradorso	✓
35.2013_08_20.3	ERIC_T4	ERIC_T4.1	Maciço de Coroamento Emerso Intradorso	✓
35.2013_08_20.5	ERIC_T4	ERIC_T4.1	Berma do Manto de Proteção Emerso Extradorso	✓
35.2013_08_20.5	ERIC_T4	ERIC_T4.1	Berma do Manto de Proteção Emerso Extradorso	✓
35.2013_08_20.8	ERIC_T5	ERIC_T5.1	Berma do Manto de Proteção Emerso Intradorso	✓
35.2013_08_20.7	ERIC_T5	ERIC_T5.1	Muro Cortina Emerso Extradorso	✓

Figura 10 – Exemplo da listagem de fichas de inspeção para preencher no dispositivo móvel.

Desta forma, o sistema é utilizado de uma forma mais abstrata comparando a situação de referência – projeto – com a evolução da obra durante a construção.

Grupo	Pergunta	Resposta	Quantidade
Generalidades	Estimativa do assentamento da Berma		0
Generalidades	Área afectada pelo assentamento		0
Degradação Berma Manto Protecção: Perda Blocos	Queda de blocos	Nenhumas	
Degradação Berma Manto Protecção: Perda Blocos	Exposição de material do Submanto i	Sim - através cavidades pequena dimensão	
Degradação Berma Manto Protecção: Perda Blocos	Estimativa da área da cavidade - no local de observação/ subtramo		1,0
Degradação Berma Manto Protecção: Perda Blocos	Estimativa da profundidade da cavidade no ponto máximo - no local de observação/subtramo		4,7
Degradação Berma Manto Protecção: Deslizamento	Irregularidades na face da berma não justificáveis por perda de blocos	Ausência	
Degradação Berma Manto Protecção: Deslizamento	Exposição de material do Submanto i devido a deslizamento	Não observável	
Degradação Berma Submanto i	Exposição de material da camada i-1 (inferior (Núcleo ou Submanto i-1))	Não observável	
Degradação Berma Submanto i	Degradação da camada inferior (Núcleo ou Submanto i-1)	Não observável	

Figura 11 – Ficha de inspeção preenchida utilizando o dispositivo móvel para o Manto de Protecção – Berma (Extradorso) do subtramo 5.1.

5.7.3 Responsável pela inspeção visual/ Responsável pela elaboração de levantamentos

O responsável pela inspeção visual e/ ou elaboração de levantamentos é quem utiliza de forma mais intensiva o sistema. Estas entidades partem da caracterização estrutural anteriormente carregada no sistema e baseiam a inspeção visual, levantamentos e o cálculo dos indicadores na informação inserida no sistema. Estes realizam a recolha da informação, carregam no sistema e elaboram os relatórios que são analisados pelo dono de obra, responsável pela monitorização e/ ou gestão da obra.

O sistema, ao possibilitar a impressão de fichas de inspeção por preencher, preenchimento de fichas de inspeção no dispositivo móvel e envio automático de dados para a base de dados torna mais eficiente o processo de inspeção. Além de que as fichas de inspeção preenchidas podem ser impressas para documentos do tipo *PDF* e incluídas diretamente em software de processamento de texto com capacidade de inclusão de *PDFs*, facilitando e uniformizando também desta forma a comunicação dos resultados obtidos.

A consulta de toda a informação gerada pode ser feita ainda de forma totalmente livre de papel no SIMOM reduzindo assim os custos associados ao processo e a morosidade de trânsito de informação, especialmente importante quando o volume de informação e/ ou a distância são elevados – situação muito frequente para entidades com volume de negócio significativo e clientes internacionais.

5.7.4 Dono de Obra/ Responsável pela gestão da obra

O dono de obra e/ou responsável pela gestão da obra é o principal interessado no sistema como um todo pois possibilita o armazenamento, consulta e gestão da obra no seu todo. Desta forma esta entidade poderá utilizar o sistema na sua plenitude ao utilizar desde a consulta da caracterização estrutural, processos que a obra sofreu, campanhas de inspeção, avaliação de danos e recomendações de intervenção sobre a estrutura.

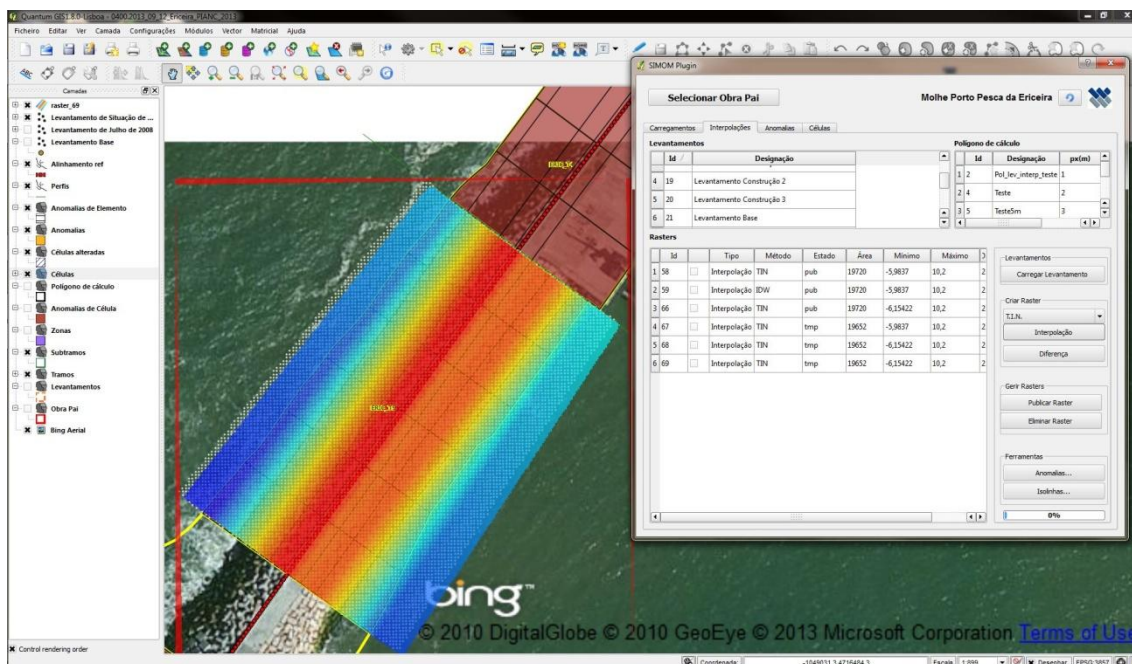


Figura 12 – Visualização do *plugin* do SIMOM no QGIS. Exemplo de um levantamento interpolado para o Tramo 5 do “*Molhe do Porto de Pesca da Ericeira*”.

6 Conclusões

O sistema SIMOM apresentado encontra-se ao nível do estado da arte em termos de gestão documental, inspeção visual, levantamentos e avaliação de danos. As suas características modulares robustas implicam que alterações e desenvolvimentos futuros correspondam a investimentos inferiores aos realizados até ao presente. Este facto deve-se à estrutura de dados base, funcionalidades e conceção terem sido determinados tendo em vista um sistema intencionado para ir evoluindo e ampliado de forma a responder ao novo conhecimento científico-técnico que surge e novos desafios que a engenharia costeira e portuária apresentará. Este sistema possui ainda características que possibilitam a sua adaptação às necessidades de clientes e especificidades. O sistema é passível de ser utilizado por qualquer entidade que tenha necessidade de intervir numa obra marítima e com volume de informação suficiente que justifique a sua centralização, estruturação e partilha da mesma de uma forma prática, eficaz e eficiente.

Este sistema implica um investimento inicial de carregamento da informação da mesma ordem de grandeza da colocada na estruturação em base de dados. Os ganhos são incomparáveis na possibilidade de consultar o mesmo em contexto geográfico, a inspeção visual das obras *in situ*

e envio automático para o servidor assim como o tratamento de dados obtidos com qualquer técnica de levantamento topo-batimétrico existente à data.

O molhe Norte do porto de pesca da Ericeira foi utilizado para exemplificar o sistema, incluindo: inserção de documentação relacionada, caracterização estrutural, fichas de inspeção visual, levantamentos, indicadores e avaliação de danos baseados nestes e ainda recomendações de ações a tomar.

Agradecimentos

Agradece-se a empresa WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A. pela Bolsa de Doutoramento do primeiro autor.

Agradece-se ao IPTM, IP. como Dono de Obra do Quebramar da Ericeira por possibilitar a divulgação de dados do Molhe Norte do Porto de Pesca da Ericeira.

WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A e FERCONSULT – Consultoria, Estudos e Projectos de Engenharia de Transportes, S.A. são referidos pela disponibilização dos dados obtidos durante a fiscalização da reconstrução do molhe.

Referências

- Lemos, R., Santos, J.A., 2007. ANOSOM - ANÁLISE DA OBSERVAÇÃO SISTEMÁTICA DE OBRAS MARÍTIMAS, in: 5^as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Lisboa, pp. 1–20.
- Marujo, N.R.C.S., Trigo-Teixeira, A., Sanches-Valle, A., Araújo, M.A.V.C., Caldeira, J., 2013. An Improved and Integrated Monitoring Methodology for Breakwaters – Application to the Ericeira Breakwater, in: 6th SCACR International Short Course/ Conference on Applied Coastal Research. Lisbon; Portugal.
- Oliver, J., Plotkin, D., Lesnik, J., Pirie, D., 1998. Condition and Performance Rating Procedures for Rubble Breakwaters and Jetties. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), Champaign, IL.
- PIANC InCom WG30, 2013. Inventory of Inspection and Repair Techniques of Navigation Structures (Steel, Concrete, Madonry and Timber) both underwater and in-the-dry. PIANC, Brussels.
- PIANC MarCom WG103, 2008. Life Cycle Management of Port Structures - Recommended Practice for Implementation. PIANC, Brussels.
- PIANC MarCom WG17b, 2004. Inspection, maintenance and repair of maritime structures exposed to damage and material degradation caused by salt water environment. PIANC, Brussels.
- Pirie, D., Foltz, S., Mckay, D., Plotkin, D., Kubinski, J., 2005. Condition and Performance Rating Procedures for Nonrubble Breakwaters and Jetties. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), Champaign, IL.