

ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM QUEBRA-MARES DE TALUDE

Nuno R. C. Marujo da Silva

WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., Rotunda Nuno Rodrigues dos Santos,
1-B – 10.º, 2685-223 Portela LRS, Portugal

nuno.marujo@wwsa.pt

Resumo

Os quebra-mares deterioram-se com o tempo se não forem intervencionados. Estas intervenções devem ser programadas em função do estado da obra, potencial de progressão de danos, benefícios estruturais e de segurança esperados ao intervir, assim como dos recursos disponíveis.

Tendo em conta os diferentes critérios de análise que existem, preconiza-se na presente comunicação uma abordagem multicritério para priorizar intervenções. Esta abordagem recorre ao método MACBETH e à sua utilização durante uma conferência de decisão com a finalidade de desenvolver modelos para avaliar os benefícios estruturais de intervir para repor a situação original. Estes benefícios, calculados com recurso aos modelos desenvolvidos, podem então ser utilizados para priorizar intervenções na obra em análise segundo métodos distintos de criação de portfólios. Para exemplificar a metodologia utilizou-se o molhe do porto de pesca da Ericeira. Verificou-se que este possui os maiores benefícios numa intervenção na cabeça. Ilustra-se ainda a metodologia para priorizar intervenções em outros quebra-mares teóricos.

1 Introdução

As obras marítimas e, em particular, os quebra-mares deterioram-se com o passar do tempo se não forem intervencionadas. Estas intervenções devem ser programadas de forma a minimizar os custos e maximizar os benefícios estruturais, funcionais, de segurança e económicos ao longo da sua vida útil. Para uma gestão eficiente, os dados do projeto são utilizados conjuntamente com a evolução passada e a evolução futura prevista para a obra. A evolução passada é aferida com base no processo de monitorização (Marujo et al., 2013a, 2013b; Oliver et al., 1998; Pirie et al., 2005) e a evolução futura com base em modelos empíricos (Melby, 2009; Melby e Kobayashi, 1998; Suh et al., 2013). A avaliação da necessidade de intervir é feita com base em pareceres técnicos mas, para a tomada de decisão, têm de se considerar os recursos disponíveis e a prioridade das diferentes intervenções.

Analisando a literatura, verificou-se que existem limitações no processo e nas ferramentas de apoio à decisão de intervenções. Entre estas limitações encontra-se a ausência de sistemas de informação e de apoio à decisão que contemplem todas as fases de gestão do ciclo de vida de obras marítimas – desde a fase de dimensionamento até à fase de demolição/ reconversão. Desta forma, procedeu-se ao desenvolvimento de uma metodologia de apoio à decisão incorporando o método MACBETH (Bana e Costa e Vansnick, 1999) no processo de análise do SIMOM (Marujo et al., 2014b).

O SIMOM – Sistema de Informação para a Monitorização de Obras Marítimas (Marujo-Silva, 2016; Marujo et al., 2014a, 2014b, 2013b) é um sistema de informação e de apoio à decisão que possibilita gerir as diferentes fases do ciclo de vida de obras marítimas. Este sistema possui diferentes módulos: base, cartografia, processos de obra, caracterização estrutural, monitorização, análise, documentos e auditoria. Uma limitação anterior do SIMOM era a priorização de intervenções apenas com base na caracterização do dano resultante do preenchimento de fichas de inspeção visual e atribuição de pesos. No entanto, e para suprir

esta limitação, considera-se na presente comunicação um modelo de análise multicritério – MACBETH – que permite considerar diferentes critérios como sejam a influência na operacionalidade do porto, o potencial de progressão de danos, entre outros. Considerando a subjetividade no preenchimento de fichas de inspeção visual, procedeu-se à realização de uma reunião de especialistas para obter modelos para avaliar os benefícios associados à necessidade de intervir. Estes modelos são depois utilizados para obter valores dos benefícios em intervir os quais servem para estabelecer portfólios de intervenções.

Assim, a presente comunicação estrutura-se da seguinte forma: na secção 1 apresentou-se uma introdução ao problema, o estado da arte geral do tema, limitações presentes e propostas de resolução a desenvolver nas secções seguintes; na secção 2 apresenta-se a metodologia e modelos desenvolvidos como resultado da conferência de decisão; na secção 3 apresenta-se a aplicação ao molhe do porto de pesca da Ericeira com base em dados reais e hipóteses de trabalho quando necessário, por exemplo, para quebra-mares de outros portos teóricos; na secção 4 apresentam-se as conclusões e alguns desenvolvimentos futuros potenciais.

2 Metodologia e modelos desenvolvidos

2.1 Métodos multicritério

Existem diferentes métodos multicritério com propósitos distintos: classificação, ordenação e escolha. Tendo em conta que o problema em questão é a priorização de intervenções, os métodos multicritério de ordenação de alternativas são os indicados. Exemplos de métodos deste tipo são: soma ponderada, média ponderada, Teoria de Utilidade de Múltiplo Valor (TUMV/ “MAUT - Multi-Attribute Utility Theory”) (Chelst e Canbolat, 2012; Lee et al., 2010; Ogle et al., 2015; Rebai et al., 2012; Seung e Zhang, 2011), Processo de Análise Hierárquico (PAH/ “AHP - Analytic Hierarchy Process”) (Poseiro et al., 2013; Saaty, 1987, 2008, 2005; Vargas, 2010), “PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations” (Behzadian et al., 2010; Taillandier e Stinckwich, 2011; Tomić et al., 2011) e “MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique” (Bana e Costa et al., 2012, 2004; Bana e Costa e Chagas, 2004; Sanchez-lopez e Bana e Costa, 2009).

Considerando as características dos diferentes métodos de ordenação observa-se que:

- Os métodos: soma ponderada e média ponderada não permitem conclusões nos casos em que as soluções possuam combinações de pesos e valores nos critérios que conduzem ao mesmo valor global. Esta situação pode levar a que seja necessário um critério novo de “desempate”, que corresponde a alterar o modelo, desvirtuando desta forma o processo;
- O método TUMV possui as mesmas limitações do das somas ponderadas e média ponderada com a diferença das funções de valor poderem ser não lineares. A probabilidade de ambas as alternativas possuírem o mesmo valor global é assim mais reduzida;
- O método PAH possui em adição aos anteriores o problema de poder levar a inconsistências de julgamentos não detetadas na fase de elaboração do modelo mas detetáveis por métodos sugeridos por outros autores que não Saaty (Bana e Costa e Vansnick, 2008; Kułakowski, 2015);
- O método PROMETHEE implica uma complexidade cognitiva grande ao exigir arbitrar um grande número de parâmetros;
- O método MACBETH implica o estabelecimento de julgamentos mas de uma forma mais intuitiva e simples para a(s) pessoa(s) responsável(eis) pelo processo. Este método possui a mesma limitação do das somas ponderadas ao poder conduzir ao mesmo valor global para combinações de alternativas e valores de coeficientes de ponderação. No entanto, este método permite o teste de consistência de julgamentos em tempo real ao invés do PAH que implica a utilização de técnicas específicas posteriormente (Kułakowski, 2015).

A metodologia MACBETH é uma técnica de análise multicritério que possibilita a escolha de uma alternativa entre várias e também a ordenação de alternativas baseadas num número de

critérios independentes entre si. Este método baseia-se na comparação da atratividade de um critério em relação a outro atribuindo-se diferentes julgamentos de preferência entre os seguintes: extrema, muito forte, forte, moderada, fraca, muito fraca e indiferente.

O processo preconizado para aplicar o método MACBETH é o seguinte:

1. **Definir a árvore de valor.** A árvore de valor é um diagrama que explicita os aspetos importantes a analisar no processo de tomada de decisão e que podem vir a constituir critérios;
2. **Identificar os critérios** de entre as preocupações presentes e identificadas na árvore de valor. Estes critérios têm de ser independentes entre si e não encadeados;
3. **Identificar os indicadores** que possibilitam medir cada alternativa num dado critério;
4. **Determinar os níveis de desempenho** associados a cada um dos critérios. Níveis de desempenho são patamares que as alternativas podem assumir e que depois são utilizados para estabelecer as funções de valor. Estes níveis de desempenho podem ser qualitativos ou quantitativos;
5. **Estabelecer as funções de valor** para cada critério considerando os diferentes níveis de desempenho. Uma função de valor possibilita a conversão dos valores das alternativas num dado critério num valor adimensional. Estas funções de valor podem ser calculadas com recurso ao software M-MACBETH;
6. **Definir os pesos** para cada critério. Estes pesos são definidos por comparação binária entre os critérios e calculados por aplicação do algoritmo MACBETH;
7. **Identificar as alternativas.** As alternativas são identificadas com base no processo de decisão em questão e constituem opções de escolha/ ordenação;
8. **Atribuir os valores das alternativas em cada um dos critérios.** Estes valores são calculados com base nas funções de valor previamente estabelecidas para cada critério;
9. **Calcular as pontuações globais das alternativas.** Estas pontuações são obtidas multiplicando o peso dos critérios pelo valor da alternativa nesse critério e adicionando-os;
10. **Escolher ou ordenar as alternativas em função da pontuação global.** Esta ordenação é feita de forma a sustentar a decisão. Caso seja um problema de escolha das n alternativas mais pontuadas selecionam-se as n alternativas com uma pontuação global maior. Caso seja um problema de ordenação, estas alternativas podem ser ordenadas por ordem decrescente ou crescente da pontuação global.

No caso das obras marítimas e portuárias pode-se pensar de duas formas distintas: pensar no valor do estado da estrutura como variando de forma decrescente com a condição ou crescente com a condição (Marujo et al., 2013b). Na presente comunicação preconiza-se a abordagem dos benefícios de intervir para a segurança estrutural em que se assume que quanto mais danificada a estrutura estiver maiores os benefícios de a repor à situação conforme construída ou de reforço estrutural. Assim, o resultado do processo de decisão é a escolha de uma ou mais alternativas com os valores mais elevados de pontuação global.

Um especialista em obras marítimas com experiência na monitorização deste tipo de estruturas e conhecimentos de análise multicritério poderá estabelecer modelos para a inspeção, classificação de danos e priorização de intervenções. No entanto, considerando a necessidade de um consenso quanto à avaliação de danos em quebra-mares de talude e com o objetivo de se estabelecerem modelos simples para a avaliação dos benefícios de intervenções nestas obras, foi realizada uma reunião de especialistas em obras marítimas — sob a forma de conferência de decisão — em que se aplicou a metodologia MACBETH.

Segundo Lawrence Phillips [<http://www.lawrencephillips.net/decision-conferences.html>], “o processo denominado conferência de decisão é composto por uma série de reuniões de trabalho intensivas, chamadas de conferências de decisão, com a participação de elementos de partes interessadas que estão preocupados com alguns problemas complexos que enfrentam na sua organização e que possuem perspectivas diversas. Não há apresentações preparadas ou agenda fixa; as reuniões são realizadas como sessões de trabalho presenciais de um a três dias. Uma característica única é a criação, no local, de um modelo baseado em computador que incorpora dados e os julgamentos dos participantes nos grupos. O modelo é

muitas vezes baseado em técnicas de análise de decisão multicritério (“MCDA – Multi-Criteria Decision Analysis”), que oferecem amplo espaço para representar tanto os diversos objetivos conflitantes expressos pelos participantes quanto a incerteza sobre as consequências futuras. O modelo é uma “ferramenta para pensar”, permitindo que os participantes vejam as consequências lógicas de diferentes pontos de vista e desenvolvam perspectivas de nível superior sobre os problemas. Ao examinar as implicações do modelo, depois mudá-lo e experimentar diferentes pressupostos, os participantes desenvolvem um entendimento compartilhado e alcançam um acordo sobre o caminho a seguir”

Como resultado deste processo de decisão atinge-se consenso e modelos denominados “requisite”, que são os modelos mais simples considerados necessários e suficientes para a resolução do problema em questão.

Considerando o problema de tomada de decisão de intervir em obras marítimas e portuárias, nomeadamente em quebra-mares de talude, com diferentes critérios de avaliação por parte de variados especialistas, decidiu-se proceder a uma conferência de decisão com vista a obter os benefícios estruturais de repor elementos estruturais de quebra-mares à situação conforme construído. Esta conferência de decisão reuniu 5 especialistas – Eng.º António Sanches do Valle (WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas); Prof. Eng.º António Trigo Teixeira (Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa); Eng.º Carlos Costa (DGRM - Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos); Eng.º Ernesto Carneiro (APSS – Administração dos Portos de Setúbal e Sesimbra) e Eng.º Morim de Oliveira (WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas) e 2 facilitadores: o autor da presente comunicação e o Eng.º João Bana e Costa (Bana Consulting).

Este processo teve lugar nos dias 16 e 21 de junho de 2016 tendo-se analisado os seguintes elementos estruturais presentes nos quebra-mares de talude:

- Manto de proteção de enrocamento;
- Manto de proteção de blocos artificiais de betão;
- Muro cortina de betão simples;
- Muro cortina de betão armado.

Os elementos estruturais banquetas de pé de talude e maciço de coroamento são casos particulares do manto de proteção e muro cortina, respetivamente. Deve-se referir que toda a análise foi efetuada tendo em conta que os elementos estruturais do mesmo tipo podem ser analisados de forma análoga. No caso de dois elementos estruturais iguais mas pertencentes a quebra-mares distintos ou diferentes partes do mesmo quebra-mar, na priorização estes modelos podem ter de ser adaptados pela inclusão de um ou mais critérios. Um exemplo desta situação é apresentado na secção 3 para o molhe do porto de pesca da Ericeira e outros quebra-mares teóricos para efeitos ilustrativos da metodologia.

Assim, durante o evento, identificaram-se e discutiram-se os parâmetros de análise – critérios – aplicáveis a cada elemento estrutural, definiu-se a escala – indicadores – em que estes devem ser medidos, obtiveram-se as funções de valor associadas a cada critério através da metodologia MACBETH e, por fim, efetuaram-se comparações binárias entre os critérios para obter os pesos necessários à agregação dos valores obtidos para um dado elemento estrutural nos diferentes critérios. O resultado final é uma pontuação relativa aos benefícios estruturais resultantes da intervenção num dado elemento estrutural.

Os modelos obtidos para mantos de proteção de blocos artificiais de blocos de betão e muro cortina de betão armado são descritos em detalhe uma vez que os modelos para os restantes elementos possuem os mesmos critérios – exceto os não aplicáveis. No caso de elementos de enrocamento deve-se substituir D_n (onde D_n é o diâmetro nominal dos blocos artificiais) por D_{n50} (onde D_{n50} é o diâmetro mediano do enrocamento).

Na **Tabela 1** apresentam-se os critérios, indicadores e níveis de desempenho para o elemento estrutural “Manto de proteção de blocos artificiais de betão”. Nesta tabela apresentam-se a verde os níveis considerados como necessitando intervenção e a azul os neutros – admissíveis na estrutura conforme construída. Os critérios, indicadores e níveis de desempenho apresentados são aqueles que resultaram da conferência de decisão após alterações a uma proposta inicial de trabalho e aceite pelos especialistas como “requisite”.

Uma vez estabelecidos os critérios, indicadores e níveis de desempenho, procedeu-se ao estabelecimento de funções valor para cada um dos critérios. Estas funções de valor são resultado de julgamentos efetuados, respeitando sempre a consistência destes, da seguinte forma:

1. Preenchimento da matriz de julgamentos dos níveis de desempenho, ordenados do com maior benefício para o com menor, da seguinte forma:
 - a. Última coluna a partir do topo para o fundo;
 - b. Primeira linha da esquerda para a direita;
 - c. Diagonal da matriz a partir do topo;
2. Cálculo da escala MACBETH.

Um exemplo deste processo é apresentado na **Figura 1** para o caso do critério “Queda de blocos da camada exterior do manto de proteção”. Seguidamente e após obtenção das funções de valor para todos os critérios, procede-se à obtenção dos pesos para cada critério. Estes são obtidos por preenchimento de uma matriz de julgamentos para pesos de critérios tendo em atenção o seguinte procedimento:

1. Comparar a diferença entre o nível de intervenção e o neutro para cada critério utilizando as classes anteriormente referidas de extremo, muito forte, forte, moderado, fraco, muito fraco e indiferente. Correspondendo este passo ao preenchimento da última coluna da matriz (“Tudo neutro”);
2. Ordenar os critérios por ordem decrescente de preferência;
3. Caso exista empate, comparar os dois critérios entre si;
4. Preencher a diagonal da matriz.

O resultado deste processo é apresentado na **Figura 2**.

O modelo para o “Muro cortina de betão armado” é apresentado na **Tabela 2** e na **Figura 3** de forma análoga ao do “Manto de proteção de blocos artificiais de betão”.

Tabela 1 – Critérios, indicadores e níveis de desempenho para o elemento estrutural “Manto de proteção de blocos artificiais de betão”. A verde os níveis considerados como necessitando intervenção e a azul os neutros – admissíveis na estrutura conforme construída.

Critérios	Indicadores	Níveis de desempenho
Queda de blocos da camada exterior do manto de proteção	Número de unidades perdidas da camada exterior do manto de proteção numa área de 10 D _n por 10 D _n .	10
		8
	Unidade: Número de unidades perdidas da camada exterior do manto de proteção numa área de 10 D _n por 10 D _n	6
		4
		2
		0
Exposição do submanto	Área através da qual o submanto está exposto e pode ser visível numa área de 10 D _n por 10 D _n , medido em número de blocos equivalentes.	4
		3
		2
		1
	Unidade: Número de blocos equivalentes	0
Perda de material do núcleo e submanto	Grau de severidade da patologia perda de material do núcleo e do submanto	Grau 3 – Perda de material do núcleo
		Grau 2 – Perda de material do submanto com exposição do núcleo
	Unidade: Grau de severidade	Grau 1 – Perda de material do submanto sem exposição do núcleo
		Grau 0 – Sem perda de material do submanto nem do núcleo
Deslizamento	Alteração na cota de coroamento do manto de proteção medida em % da altura do quebra-mar	10
		5
	Unidade: % da altura do quebra-mar	0

CrITÉrios	Indicadores	NÍveis de desempenho
Perda de massa dos blocos	Número de unidades com perda de massa superior a 20% da massa original numa área de 10 D _n por 10 D _n	10
	Unidade: Número de unidades com perda de massa superior a 20% da massa original numa área de 10 D _n por 10 D _n	5
		0

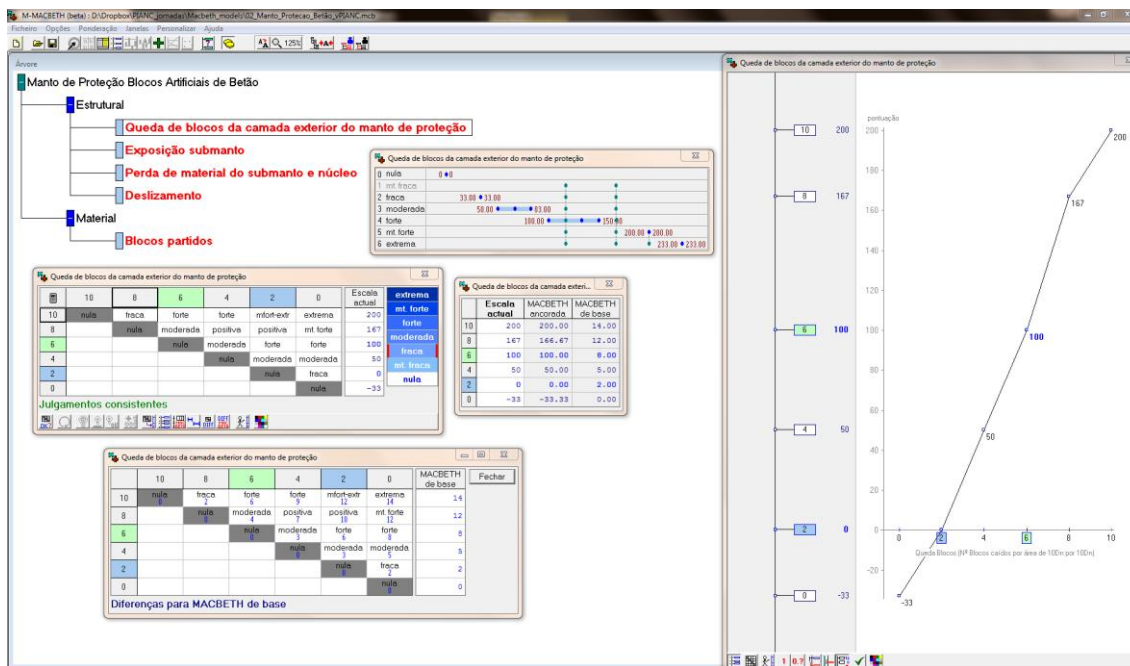


Figura 1 – Exemplo da árvore de valores para o elemento estrutural “Manto de proteção de blocos artificiais de betão” no software M-MACBETH. Apresentados também os julgamentos e respetiva função de valor para o critério: “Queda de blocos da camada exterior do manto de proteção”.

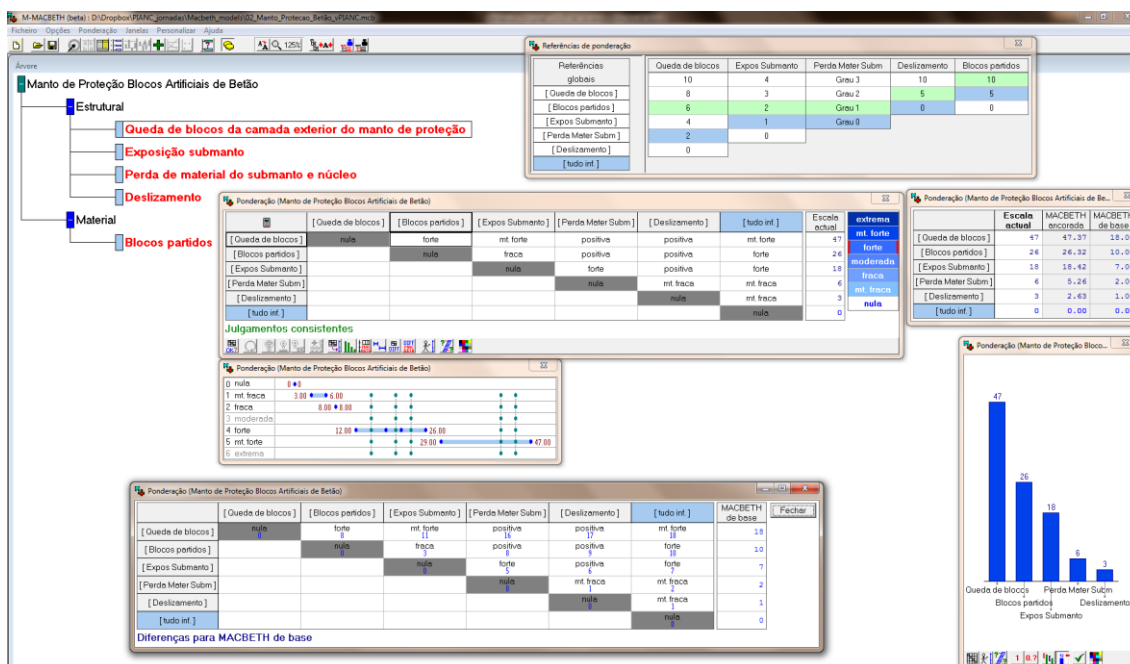


Figura 2 – Exemplo da árvore de valores para o elemento estrutural “Manto de proteção de blocos artificiais de betão” no software M-MACBETH. Apresentados também os julgamentos e respetivos pesos para os diferentes critérios.

Tabela 2 – Critérios, indicadores e níveis de desempenho para o elemento estrutural “Muro cortina de betão armado”. A verde os níveis considerados como necessitando intervenção e a azul os neutros – admissíveis na estrutura conforme construída.

Critérios	Indicadores	Níveis de desempenho
Rotação em torno do seu eixo longitudinal	Grau de rotação em torno do seu eixo longitudinal	Grau 3 – Elemento ruiu
		Grau 2 – Observável superior ao limite admitido como aceitável
	Unidade: Grau de rotação em torno do seu eixo longitudinal	Grau 1 – Observável até ao limite admitido como aceitável
		Grau 0 – Não observável
Assentamento geral	Valor do assentamento em % de altura do núcleo	7
		5
	Unidade: % de altura do núcleo	3
		1
Translação horizontal	Valor da translação horizontal	20
		15
	Unidade: cm	10
		5
		0
Fraturas	Observabilidade	Observável
	Unidade: –	Não observável
Desagregação do betão	Observabilidade	Observável
	Unidade: –	Não observável
Fendilhação superficial	Observabilidade	Observável
	Unidade: –	Não observável
Corrosão	Grau de corrosão	Grau 4 – Evidência de perda de continuidade de armaduras
		Grau 3 – Delaminação com exposição de armaduras sem redução de secção
		Grau 2 – Fendilhação por corrosão de armaduras
		Grau 1 – Escorrências/ Manchas de corrosão
		Grau 0 – Não observável qualquer evidência de corrosão das armaduras

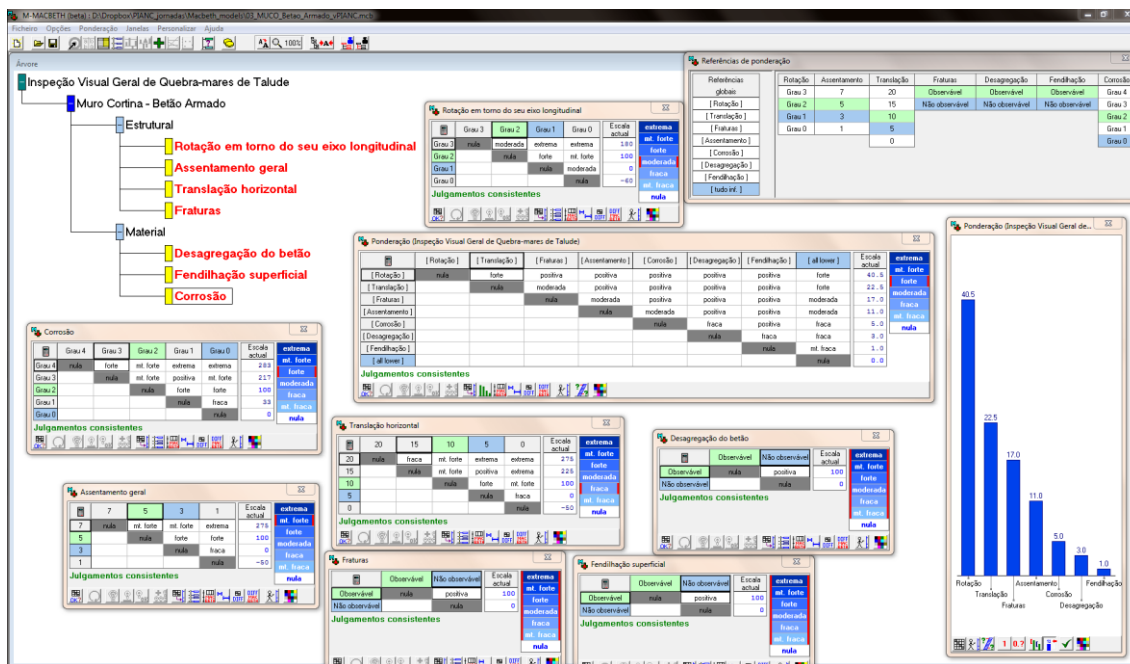


Figura 3 – Exemplo da árvore de valores para o elemento estrutural “Muro cortina de betão armado” no software M-MACBETH. Apresentados também os julgamentos e respetivos pesos para os diferentes critérios.

2.2 Adaptação do modelo aos levantamentos

O modelo desenvolvido na conferência de decisão para inspeção visual pode ser adaptado para levantamentos topo-batimétricos. Esta adaptação foi feita pelo autor da presente comunicação e consiste em manter os critérios “Queda de blocos da camada exterior do manto de proteção” e “Exposição do submanto” e acrescentar um novo critério “Assentamentos”, com indicador “Percentagem da área do elemento estrutural com variação altimétrica superior a 0.5 D_{n50}” e unidade: “Percentagem da área do elemento estrutural com variação altimétrica superior a 0.5 D_{n50}”. O modelo obtido encontra-se descrito por Marujo-Silva (2016) e é referido na presente comunicação para efeitos de completitude uma vez que a priorização vai ser feita com base nos dados de inspeção visual e modelos desenvolvidos durante a conferência de decisão.

2.3 Métodos de priorização

Após a aplicação de um modelo multicritério que possibilite a atribuição de pontuações a diferentes alternativas torna-se necessário escolher ou priorizar estas. Existem para esta finalidade diferentes técnicas: adição cumulativa por ordem decrescente dos benefícios, adição cumulativa por ordem decrescente do rácio benefício custo e por otimização – maximização da função objetivo soma de benefícios (sujeita a restrições, nomeadamente do orçamento). Qualquer uma destas técnicas possibilita a escolha de alternativas consideradas como sendo necessárias realizar, resumindo-se o problema à inclusão das outras alternativas face aos constrangimentos existentes. Detalhando os métodos:

- **Adição de alternativas por ordem decrescente de benefícios** – este método considera as alternativas ordenadas por ordem decrescente de benefícios e incorpora-las por esta ordem no portfólio até esgotar os recursos disponíveis, nomeadamente o orçamento. Este método é o mais simples e direto mas não possibilita maximizar o valor do dinheiro nem assegurar que a soma dos benefícios para um dado orçamento seja a máxima possível;

- **Adição de alternativas por ordem decrescente do rácio benefício/ custo** – este método implica o cálculo do rácio benefício/ custo para cada alternativa dividindo o benefício de cada uma delas pelo seu custo. De seguida, ordenam-se as alternativas por este rácio e incorporam-se no portfólio por esta ordem até esgotar o orçamento disponível. Os portfólios obtidos desta forma denominam-se eficientes e convexas. Isto é, eficientes porque os portfólios assim criados não são dominados por um com maior rácio benefício custo e convexo porque graficamente estes portfólios formam uma envolvente convexa dos restantes portfólios. Esta técnica possibilita maximizar o valor do dinheiro gasto no portfólio mas não garante a maximização dos benefícios para o orçamento disponível;
- **Otimização por maximização da função objetivo: soma de benefícios sujeita a restrições** – este método de priorização implica resolver um problema de otimização que consiste na maximização dos benefícios de um conjunto de alternativas com a restrição do orçamento disponível. Este método implica considerar as 2^n (em que n é o número de alternativas) combinações possíveis de portfólios para garantir que é escolhido aquele que maximiza os benefícios para um dado orçamento. Este método permite não só obter os portfólios eficientes mas também os não convexas. Isto é, aqueles portfólios que não respeitam os pressupostos do método de ordenação pelo rácio benefício/ custo mas que no entanto conduzem à maximização dos benefícios para um dado orçamento. No caso de problemas com mais de 5 alternativas ($2^5=32$ portfólios possíveis) é recomendada na literatura a utilização de software especializado – PROBE (Lourenço et al., 2012) ou M-MACBETH. Este método de criação de portfólios e priorização de alternativas é especialmente relevante no caso de existirem discrepâncias muito elevadas nos custos das alternativas com rácios benefícios custos próximos.

Os benefícios obtidos e os custos associados às diferentes intervenções são depois utilizados para priorizar as intervenções nas obras. Na priorização consideram-se duas técnicas: adição de intervenções por ordem decrescente do benefício e adição de intervenções por ordem decrescente do rácio benefício/ custo. Para a criação de conjuntos de intervenções — portfólios — com um orçamento limitado, considerou-se adicionalmente a otimização através da análise das combinações possíveis de intervenções que conduzem ao valor máximo do benefício cumulativo respeitando o orçamento disponível.

3 Aplicação ao caso do molhe do porto de pesca da Ericeira e outros quebra-mares teóricos

3.1 Introdução ao molhe do porto de pesca da Ericeira

O molhe do porto de pesca da Ericeira localiza-se a cerca de 35 km a noroeste de Lisboa. Este molhe foi construído na década de 70, tendo sofrido danos ao longo dos anos até se dar a sua reconstrução e reforço estrutural entre junho de 2008 e dezembro de 2010. O molhe reabilitado é caracterizado por dois tipos de secção transversal: talude e mista horizontal, possui superestrutura e tem um comprimento de 431 m. Este molhe possui um manto de proteção a toda a extensão do extradorso sendo constituído por enrocamento 90-120 kN, tetrápodos 300 kN e cubos Antifer de 400 kN na cabeça da obra. Na **Figura 4** apresenta-se uma vista aérea do molhe em 2012 e a sua localização. Para efeitos de monitorização e posterior priorização de intervenções dividiu-se o molhe em sete tramos estrutural e funcionalmente homogéneos. Esta divisão é apresentada na **Figura 5**. Este molhe foi atingido por diversas tempestades severas desde a sua reabilitação. Assim, na **Figura 6**, apresenta-se a série temporal das tempestades que atingiram a costa oeste portuguesa. Pode-se observar, nesta série, os eventos extremos nos invernos de 2012/2013 e 2013/2014 os quais provocaram danos no molhe do porto de pesca da Ericeira.

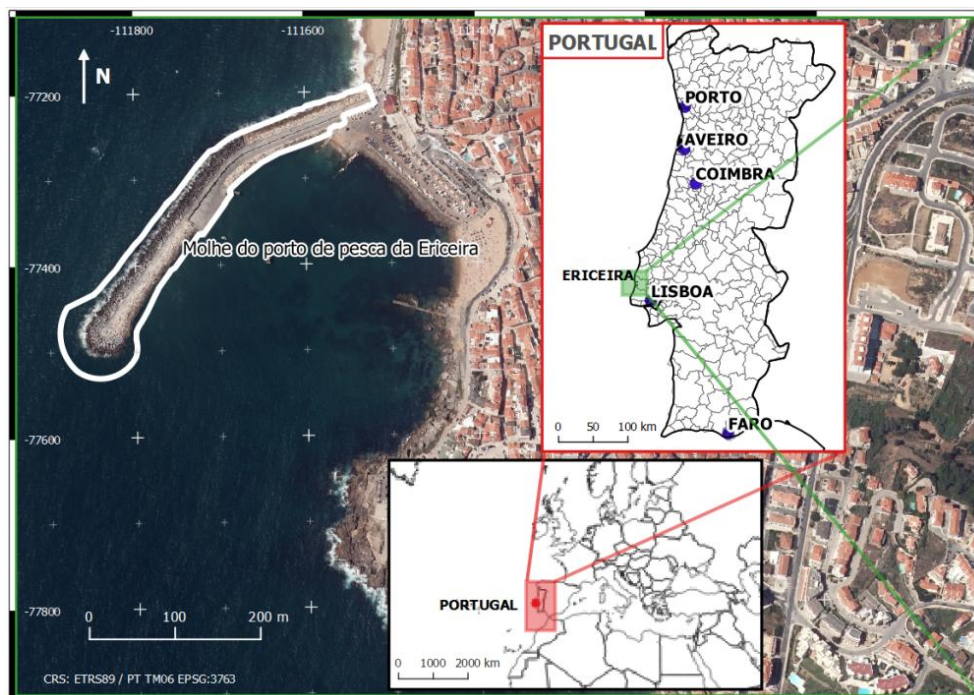


Figura 4 – Molhe do porto de pesca da Ericeira. Vista aérea e localização.

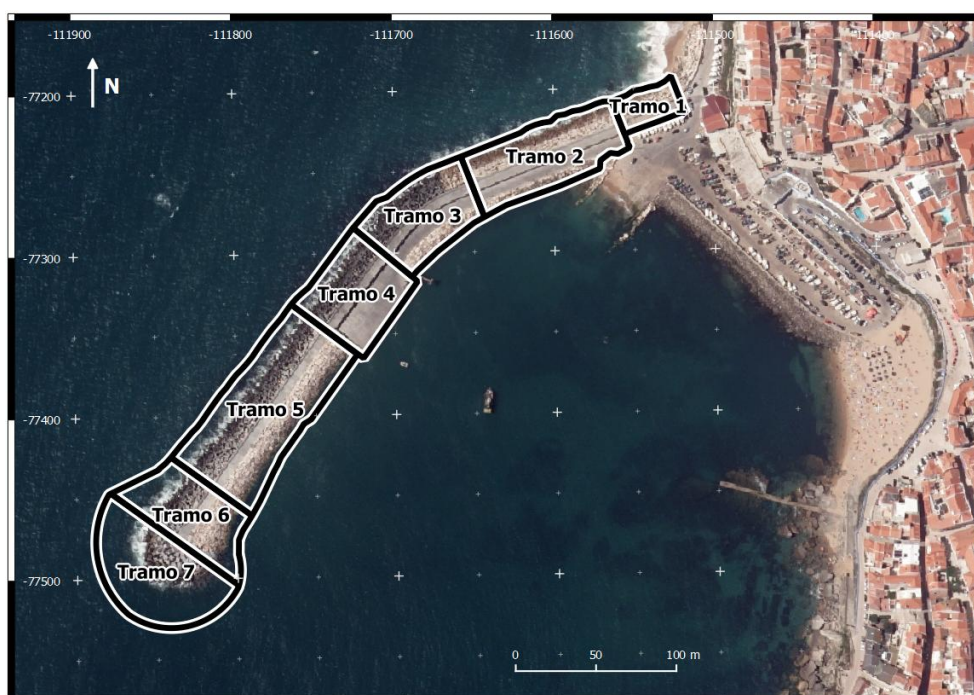


Figura 5 – Molhe do porto de pesca da Ericeira. Divisão em tramos.

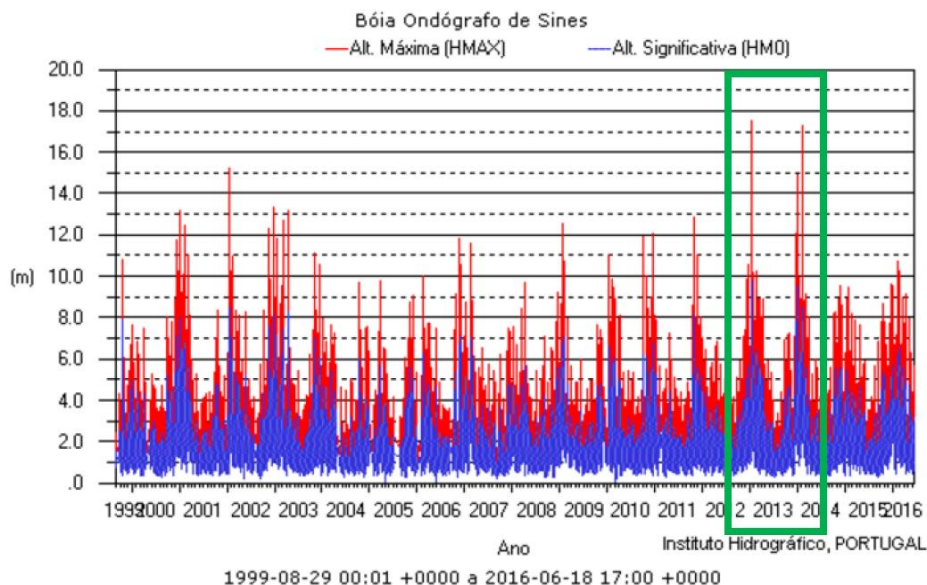


Figura 6 – Série temporal com as tempestades que atingiram a costa oeste portuguesa entre 1999 e 2016. Fonte: [<http://www.hidrografico.pt/boias-ondografo.php>]

3.2 Inspeções visuais

O molhe do porto de pesca da Ericeira foi inspecionado em 2014 por inspeção visual terrestre ordinária e por imagem aérea com recurso a drone. Esta inspeção revelou que o molhe se encontra conforme construído na superestrutura e possui danos localizados no manto de proteção do extradorso, no manto de proteção da cabeça e no manto de proteção do intradorso. Estes danos podem ser descritos conforme se segue para cada um dos tramos e zonas (intradorso, extradorso e cabeça):

- **Tramo 1 extradorso enrocamento.** Sem nada a assinalar;
- **Tramo 2 extradorso enrocamento.** Sem nada a assinalar;
- **Tramo 3 extradorso enrocamento.** Sem nada a assinalar;
- **Tramo 3 extradorso tetrápodos.** Desvio em relação ao nível de projeto de cerca de 0.70 m e um bloco partido;
- **Tramo 4 extradorso tetrápodos.** Desvio em relação ao nível de projeto de cerca de 0.60 m e dois blocos partidos;
- **Tramo 5 extradorso tetrápodos.** Desvio em relação ao nível de projeto de cerca de 0.50 m, quatro blocos partidos e quatro blocos perdidos;
- **Tramo 6 extradorso tetrápodos.** Desvio em relação ao nível de projeto de cerca de 1.00 m, cinco blocos partidos e um bloco perdido;
- **Tramo 6 extradorso cubos Antifer.** Sem nada a assinalar;
- **Tramo 7 cabeça cubos Antifer.** Desvio em relação ao nível de projeto de aproximadamente um bloco – 1.85 m, cinco blocos arredondados com perda de massa superior a 20% e vinte blocos perdidos – ver **Figura 7**;
- **Tramo 6 intradorso cubos Antifer.** Sem nada a assinalar
- **Tramo 6 intradorso enrocamento.** Sem nada a assinalar;
- **Tramo 5 intradorso enrocamento.** Sem nada a assinalar;
- **Tramo 3 intradorso enrocamento.** Sem nada a assinalar;
- **Tramo 2 intradorso enrocamento.** 3 blocos perdidos;



Figura 7 – Dano na cabeça do molhe do porto de pesca da Ericeira devido a perda de blocos e deslizamento. Vista aérea por drone.

3.3 Aplicação dos modelos resultantes da conferência de decisão

Os modelos resultantes da conferência de decisão foram aplicados diretamente a dados de inspeções visuais efetuadas de forma tradicional por via terrestre e com recurso a drone do Molhe Norte da Ericeira. Estes dados foram convertidos para a estrutura exigida pelos modelos desenvolvidos na conferência de decisão e são apresentados nas **Tabela 3** e **Tabela 4**. Os resultados obtidos com base na inspeção visual evidenciam a existência de danos na zona da cabeça da obra e possíveis assentamentos no manto de proteção do extradorso constituído por tetrápodos. Considerando esta situação de dano aplicou-se o modelo “Manto de proteção de blocos artificiais de betão” para o cálculo de pontuações para as diferentes alternativas de intervenção associadas a uma situação de dano no manto de proteção constituído por blocos artificiais de betão do extradorso do molhe do porto de pesca da Ericeira.

Os benefícios obtidos e os custos associados à intervenção foram depois utilizados para priorizar as intervenções na obra. Na priorização consideraram-se duas técnicas distintas: adição de intervenções por ordem decrescente do benefício e adição de intervenções por ordem decrescente do rácio benefício/ custo.

Na **Figura 8** apresentam-se os resultados da aplicação do modelo “Manto de proteção de blocos artificiais de betão” ao molhe do porto de pesca da Ericeira. Analisando os resultados pode-se concluir que o Tramo 7 (T7 – cabeça da obra), constituído por cubos Antifer, é o que apresenta maiores benefícios em intervir. Na mesma figura apresenta-se a ordenação por benefícios e respetiva priorização por ordem decrescente dos benefícios: T7 Antifer extradorso cabeça, T6 tetrápodos, T5 tetrápodos, T4 tetrápodos, T3 tetrápodos e T6 Antifer extradorso e T6 Antifer intradorso.

Tabela 3 – Dados de inspeção visual sob a forma de tabela para os elementos estruturais passíveis de intervenção. Todos são localizados no extradorso da obra.

Alternativas	Nº total de queda de blocos da camada exterior	Exposição do submanto	Deslizamento absoluto [m]	Nº total de blocos com perda de massa superior a 20%
T3_Tetrapodos	0	0	0.70	1
T4_Tetrapodos	0	0	0.60	2
T5_Tetrapodos	4	0	0.50	4
T6_Tetrapodos	1	0	1.00	5
T7_Extrad_Antifer	20	1	1.85	5

Tabela 4 – Dados de inspeção visual sob a forma de tabela para os elementos estruturais passíveis de intervenção convertidos para a forma canónica do modelo “Manto de proteção de blocos artificiais de betão”. Todos são localizados no extradorso da obra.

Alternativas	Área do elemento [m ²]	Altura da estrutura [m]	D _n [m]	Área do elemento em unidades de 100 D _n ²	Deslizamento (% altura da estrutura)	Queda de blocos numa área de 100 D _n ²	Nº de blocos com perda de massa superior a 20% numa área de 100 D _n ²
T3_Tetrapodos	1175	13.70	2.35	2.13	5.1	0.0	0.5
T4_Tetrapodos	1083	14.70	2.35	1.96	4.1	0.0	1.0
T5_Tetrapodos	2119	18.20	2.35	3.84	2.7	1.1	1.1
T6_Tetrapodos	646	18.20	2.35	1.17	5.5	0.8	4.2
T7_Extrad_Antifer	1277	19.85	2.59	1.90	9.3	10.5	2.6

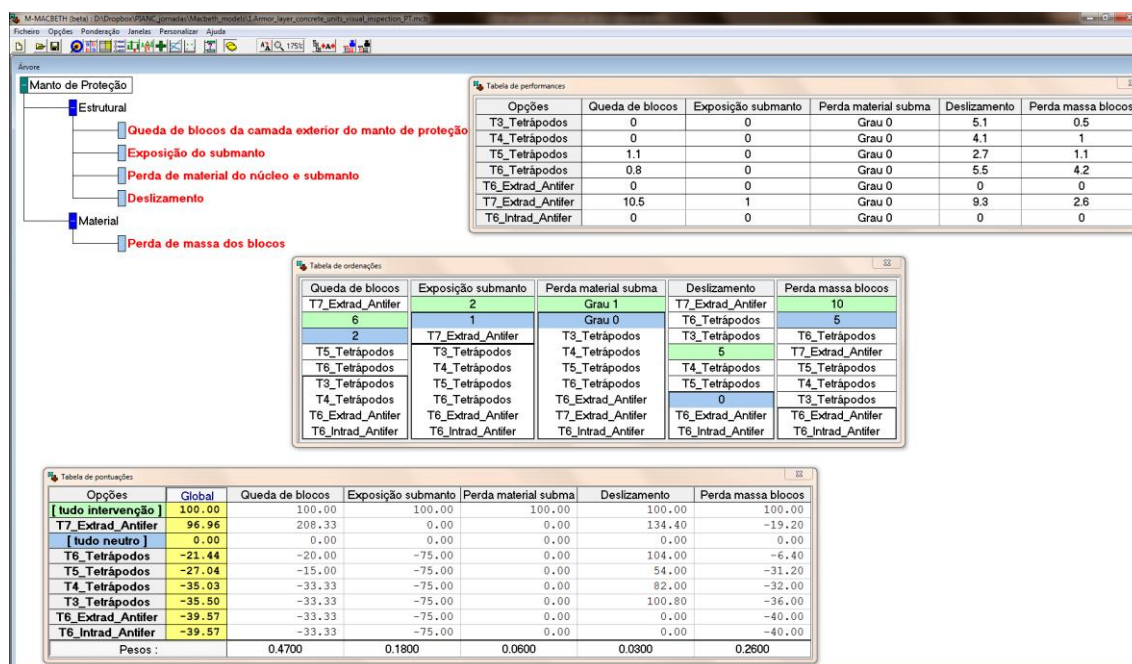


Figura 8 – Resultado da aplicação do modelo “Manto de proteção de blocos artificiais de betão” com base nos dados de inspeção visual ao molhe do porto de pesca da Ericeira visto no software M-MACBETH.

Ora, esta priorização com base apenas na ordenação decrescente dos benefícios é insuficiente pois não considera os custos nem as alternativas com performance acima do patamar de intervenção num ou mais critérios. Neste caso, no critério “Queda de blocos da camada exterior do manto de proteção” apenas a alternativa “T7_Extrad_Antifer” se encontra acima do patamar de intervenção, no entanto, no critério “Deslizamento”, as alternativas “T7_Extrad_Antifer”, “T6_Tetrápodos” e “T3_Tetrápodos” encontram-se acima do nível de intervenção e as alternativas “T5_Tetrápodos” e “T4_Tetrápodos” encontram-se entre os níveis de intervenção e neutro. Assim, recomenda-se as alternativas “T7_Extrad_Antifer”, “T6_Tetrápodos”, “T5_Tetrápodos”, “T4_Tetrápodos” e “T3_Tetrápodos” como candidatas a intervenção e alvo de uma estimativa de custos hipotéticos para repor à situação conforme projeto apresentados na **Tabela 5**. Nesta estimativa, não são considerados os custos de estaleiro sendo apenas considerados os custos de colocação, remoção e pré-fabricação de blocos artificiais de betão. Os benefícios da intervenção ajustados são obtidos por soma do valor absoluto correspondente ao mínimo benefício possível de obter com o modelo. Na **Tabela 5** apresenta-se um resumo com os benefícios das intervenções, benefícios das intervenções ajustados a uma escala positiva, custo da intervenção, rácio benefício/ custo, ordenação por benefícios e ordenação por rácio benefício/ custo.

Tabela 5 – Priorização de intervenções para o molhe do porto de pesca da Ericeira. Tabela resumo.

Alternativas	Benefícios da intervenção	Benefícios da intervenção ajustados	Custo da intervenção (m€)	Rácio benefício/custo	Ordenação por benefícios	Ordenação por rácio benefício/custo
T3_Tetrápodos	-35.50	4.07	50	0.081	5	4
T4_Tetrápodos	-35.03	4.54	100	0.045	4	5
T5_Tetrápodos	-27.04	12.53	150	0.084	3	3
T6_Tetrápodos	-21.44	18.13	200	0.091	2	2
T7_Extrad_Antifer	96.96	136.53	800	0.171	1	1
Total	-	175.80	1300	-	-	-

3.4 Aplicação do modelo adaptado a quebra-mares de diferentes portos

O procedimento anterior apresenta apenas uma das sequências de passos que o dono de obra (decisor) pode seguir para priorizar intervenções num manto de proteção de um quebra-mar. Ora, frequentemente, o decisor tem de priorizar intervenções em diferentes obras. Com esta finalidade, desenvolveu-se um outro modelo baseado no método MACBETH para priorizar intervenções em quebra-mares de talude distintos e pertencentes a diferentes portos. Este modelo é apresentado na **Figura 9**. Nesta figura apresenta-se, assim, a árvore de valor, julgamentos para cada nível de desempenho e escala atual para cada um dos cinco critérios do modelo de priorização de intervenções em quebra-mares de talude distintos e pertencentes a diferentes portos.

Este problema é ilustrado seguidamente aplicando o dano real no molhe do porto de pesca da Ericeira e outros danos em quebra-mares de talude de diferentes portos considerados como hipóteses de trabalho. Estas obras hipotéticas são descritas na **Tabela 6**.

Na **Figura 10** apresentam-se a árvore de valor, as referências dos níveis de desempenho, a tabela de performances, os pesos e a tabela de pontuações para o modelo de priorização de intervenções em quebra-mares de talude distintos e pertencentes a diferentes portos considerados na **Tabela 6**. Considerando os custos de intervenção, apresenta-se na **Figura 11** uma tabela e gráfico que ilustram o processo de criação de portfólio de obras segundo o método do rácio benefício-custo obtido com recurso ao software M-MACBETH para um investimento máximo de 7000 m€. Para este orçamento fazem parte do portfólio as intervenções nos quebra-mares C, D, E e F identificadas com sombreado a amarelo.

Na **Figura 12** apresenta-se um exemplo de criação de portfólio de obras segundo o método do rácio benefício-custo obtido com recurso ao software M-MACBETH. As alternativas obtidas segundo o rácio benefício-custo para um investimento máximo de 4000 m€ são apresentadas com sombreado a amarelo. Caso se considere o método de otimização obtém-se o ponto azul

designado por “Seleção” que maximiza os benefícios sujeito à restrição de orçamento. Obtendo-se, desta forma, um benefício acumulado de 268.49 para um custo de 3900 m€, o que implica um valor de benefício por m€ de aproximadamente 0.069 ao invés de 199.90 para um custo de 2600 m€ o que implica um valor de benefício por m€ de aproximadamente 0.077 (cerca de 10% superior). Deve-se referir que, neste caso, não ocorre troca de alternativas do portfólio obtido pelo método do rácio benefício custo – apenas se acrescenta uma alternativa – Ericeira. O decisor pode, desta forma, optar pela maximização dos benefícios para o orçamento disponível, pela maximização do benefício por unidade monetária investida, optar pela ordenação dos benefícios por ordem decrescente, e pode, ainda, decidir com base no seu julgamento pelas alternativas que considere cruciais.

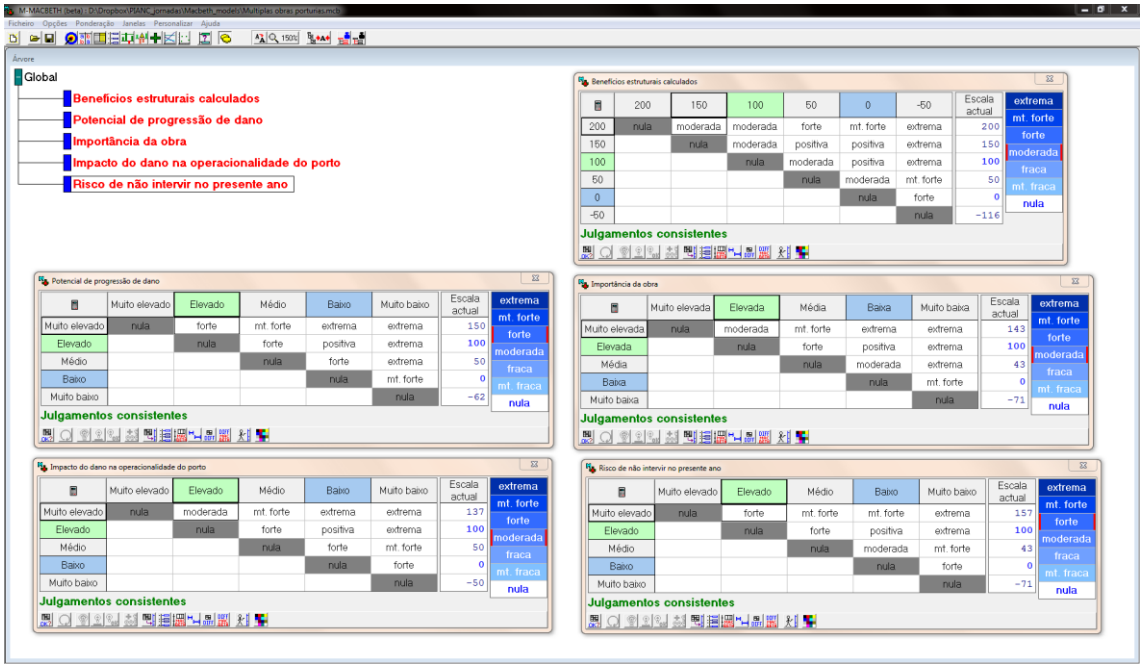


Figura 9 – Árvore de valor, julgamentos para cada nível de desempenho e função valor atual para cada um dos cinco critérios do modelo de priorização de intervenções em quebra-mares de talude distintos e pertencentes a diferentes portos.

Tabela 6 – Descrição das obras consideradas no problema de priorização de intervenções ao nível do portfólio de obras marítimo-portuárias de um dono de obra (decisor)

Obra	Tipo de porto	Dimensão	Zona danificada	Benefícios calculados	Potencial de progressão de dano	Importância da estrutura para o dono de obra	Impacto do dano na operacionalidade do porto	Risco de não intervir no presente ano
Ericeira	Pesca	Pequena	Cabeça	136.5	Elevado	Baixa	Médio	Médio
Quebra-mar A	Pesca	Média	Cabeça	160.0	Elevado	Média	Baixo	Elevado
Quebra-mar B	Pesca	Grande	Tronco	110.0	Médio	Média	Elevado	Médio
Quebra-mar C	Comercial	Média	Cabeça	50.0	Elevado	Elevada	Médio	Elevado
Quebra-mar D	Comercial	Grande	Tronco	200.0	Baixo	Elevada	Elevado	Muito Elevado
Quebra-mar E	Petrolífero	Média	Cabeça	170.0	Médio	Elevada	Muito Elevado	Elevado
Quebra-mar F	Petrolífero	Grande	Cabeça	120.0	Elevado	Muito elevada	Elevado	Muito Elevado

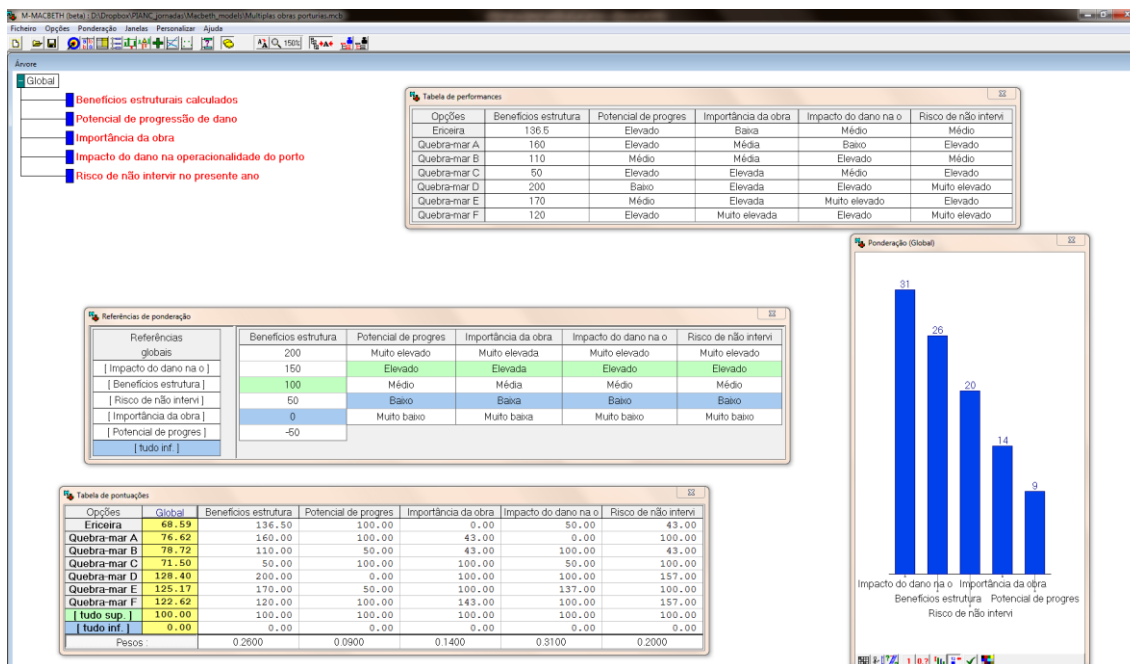


Figura 10 – Árvore de valor, referências dos níveis de desempenho, tabela de performances, pesos e tabela de pontuações para o modelo de priorização de intervenções em quebra-mares de talude distintos e pertencentes a diferentes portos.

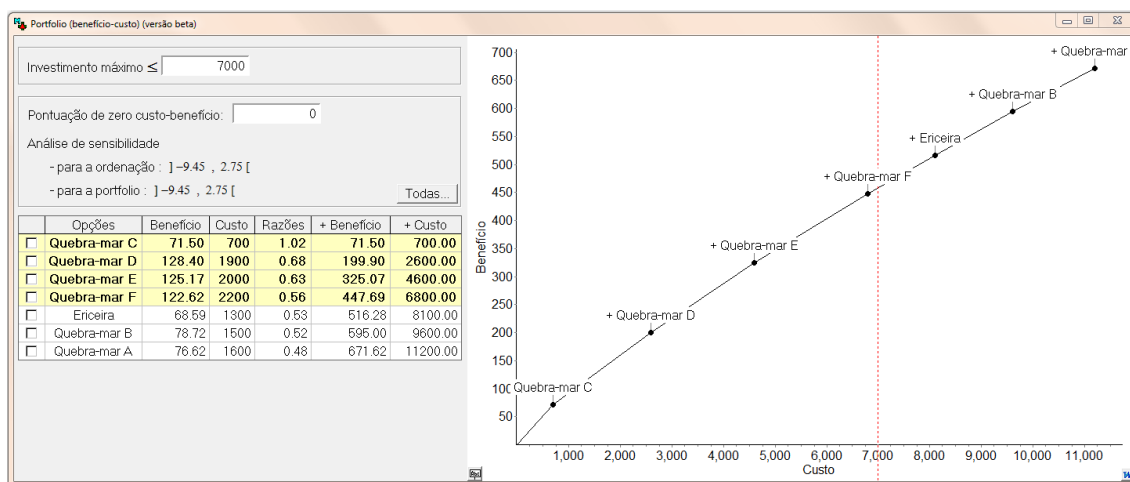


Figura 11 – Criação de portfólio de alternativas de intervenção em quebra-mares de talude segundo o método do rácio benefício-custo obtido com recurso ao software M-MACBETH. Ilustração para um investimento máximo de 7000 m€ e alternativas de intervenções no portfólio com sombreado a amarelo.

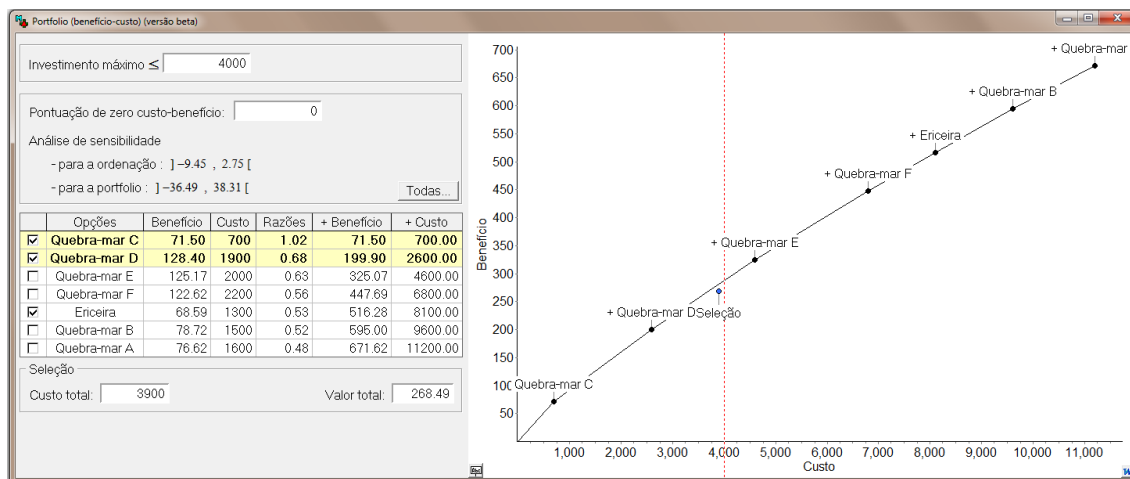


Figura 12 – Criação de portfólio de obras segundo o método do rácio benefício-custo obtido com recurso ao software M-MACBETH. Ilustração para um investimento máximo de 4000 m€ alternativas de intervenções no portfólio criado pelo método do rácio benefício/ custo com sombreado a amarelo. Caso se considere o método de otimização obtém-se o ponto azul designado por “Seleção” que maximiza os benefícios sujeito à restrição de orçamento.

4 Conclusões

Na presente comunicação intitulada “Análise multicritério na priorização de intervenções em quebra-mares de talude” apresentou-se uma metodologia multicritério para auxiliar o decisor (dono de obra) na priorização das intervenções nas obras sobre a sua responsabilidade.

Com esta finalidade, procedeu-se à realização de uma conferência de decisão com a participação de especialistas na área onde se desenvolveram quatro modelos multicritério com recurso ao software e método M-MACBETH e MACBETH, respetivamente.

Estes modelos foram utilizados para o molhe do porto de pesca da Ericeira, sendo particularmente crucial o modelo denominado “Manto de proteção de blocos artificiais de betão”. Com base neste modelo, ilustrou-se a metodologia e apresentaram-se resultados. Estes resultados revelam algum dano na generalidade do manto de proteção constituído por tetrápodos e dano moderado no manto de proteção da cabeça do molhe constituído por cubos Antifer. Considerando esta situação, apresentou-se uma estratégia para a priorização de intervenções com base em estimativas de custos e benefícios de intervir. Concluiu-se que a cabeça da obra possui os maiores benefícios em reabilitar repondo a situação inicial ou em reforçar.

Apresentou-se também um modelo para priorizar intervenções em quebra-mares de talude entre diferentes portos e consequentemente importâncias distintas. Partindo deste modelo apresentou-se o método de criação de portfólios por otimização e as suas diferenças em relação aos outros métodos de criação de portfólios.

Com base no apresentado por Marujo-Silva (2016) e Marujo et al. (2014b, 2013b) e após a presente comunicação pode-se concluir que o SIMOM pode ser utilizado sinergicamente com o MACBETH na gestão e priorização de intervenções em quebra-mares ao longo do seu ciclo de vida ao possibilitar a inclusão de um método mais completo no cálculo dos benefícios de intervir.

Entre os desenvolvimentos futuros encontram-se os seguintes: aplicação desta metodologia a casos de decisão reais; instalação do SIMOM ou SIMOM + M-MACBETH em organizações responsáveis pela gestão de quebra-mares para validar a utilidade da presente metodologia; incorporar análise formal de risco como método complementar; aplicar a outras obras marítimo-portuárias; e, extrapolar o problema de orçamento limitado ao problema de recursos limitados.

Agradecimentos

O autor gostaria de agradecer ao Prof. António Trigo Teixeira, Eng.º António Sanches do Valle e Prof. Carlos Bana e Costa a orientação do trabalho de doutoramento que originou a presente comunicação.

O autor gostaria ainda de agradecer à DGRM – Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos o fornecimento de dados e autorização para os utilizar relativos ao molhe do porto de pesca da Ericeira.

Aos participantes na conferência de decisão: Prof. Trigo Teixeira, Eng.º Sanches do Valle, Eng.º Morim de Oliveira, Eng.º Carlos Costa, Eng.º Ernesto Carneiro e Eng.º João Bana e Costa expresso os meus agradecimentos pelos contributos valiosos durante esta reunião de especialistas.

O autor gostaria ainda de referir os contributos do Jorge Caldeira, Dr.ª Amélia Araújo e Advantis Solutions na conceção, desenvolvimento e implementação do SIMOM.

Agradece-se ainda a bolsa de doutoramento em empresa SFRH/BDE/93035/2013 financiada pela FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia e WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., durante o período de doutoramento do autor.

Referências

- Bana e Costa, C.A., Carnero, M.C., Oliveira, M.D., 2012. A multi-criteria model for auditing a Predictive Maintenance Programme. *Eur. J. Oper. Res.* 217, 381–393.
- Bana e Costa, C.A., Chagas, M.P., 2004. A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments. *Eur. J. Oper. Res.* 153, 323–331.
- Bana e Costa, C.A., Corte, J. De, Vansnick, J., 2004. MACBETH. LSEOR Work. Pap. 03.56.
- Bana e Costa, C.A., Vansnick, J., 1999. The MACBETH approach: Basic ideas software and application. *Adv. Decis. Anal.* 131–157.
- Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., 2008. A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *Eur. J. Oper. Res.* 187, 1422–1428.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A., Aghdasi, M., 2010. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *Eur. J. Oper. Res.* 200, 198–215.
- Chelst, K., Canbolat, Y.B., 2012. *Value-Added Decision Making for Managers*. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA.
- Kulakowski, K., 2015. Notes on order preservation and consistency in AHP. *Eur. J. Oper. Res.* 245, 333–337.
- Lee, I.-J., Huang, S.-Y., Tsou, M.-Y., Chan, K.-H., Chang, K.-Y., 2010. Decision analysis for a data collection system of patient-controlled analgesia with a multi-attribute utility model. *J. Chin. Med. Assoc.* 73, 533–539.
- Lourenço, J.C., Morton, A., Bana e Costa, C.A., 2012. PROBE - A multicriteria decision support system for portfolio robustness evaluation. *Decis. Support Syst.* 54, 534–550.
- Marujo-Silva, N.R.C., 2016. *Development of a System for Life-Cycle Management of Maritime Works — SIMOM . The Case of Rubble-Mound Breakwaters*.
- Marujo, N.R.C.S., Sanches-Valle, A., Caldeira, J., Trigo-Teixeira, A., Araújo, M.A., Nunes, C., Sena, R., 2014a. SIMOM – Sistema de Informação para a Monitorização de Obras Marítimas, in: Matos, J.S., Oliveira, R.P. de, Monteiro, A.J. (Eds.), 12.º Congresso Da Água, 16.º Encontro de Engenharia Sanitária E Ambiental, XVI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária E Ambiental. Lisboa; Portugal.
- Marujo, N.R.C.S., Trigo-Teixeira, A., Sanches-Valle, A., Araújo, M.A.V.C., Caldeira, J., 2013a.

- 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.
- Marujo, N.R.C.S., Trigo-Teixeira, A., Sanches-Valle, A., Araújo, M.A.V.C., Caldeira, J., 2013b. Gestão, Monitorização e Inspeção de Obras Marítimas, in: 8^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira E Portuária. Lisboa; Portugal.
- Marujo, N.R.C.S., Trigo-Teixeira, A., Sanches-Valle, A., Araújo, M.A.V.C., Caldeira, J., 2014b. A New Methodology for Breakwater Damage Assessment and its Implementation on a WebGIS, in: 34th International Conference on Coastal Engineering. pp. 1–12.
- Melby, J.A., 2009. Time Dependent Life-Cycle Analysis Of Breakwaters, in: 4th International Short Conference/ Course on Applied Coastal Research. Spain, pp. 44–61.
- Melby, J.A., Kobayashi, N., 1998. Progression and Variability of Damage on Rubble Mound Breakwaters. *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*
- Ogle, R., Dee, S., Cox, B., 2015. Resolving inherently safer design conflicts with decision analysis and multi-attribute utility theory. *Process Saf. Environ. Prot.* 1–9.
- 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.
- 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.
- Poseiro, P., Santos, J.A., Fortes, C.J., Reis, M.T., Craveiro, J., 2013. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) à Análise das Consequências de Ocorrência de Galgamentos. O Caso da Baía da Praia da Vitória, in: 8^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira E Portuária. pp. 1–22.
- Rebai, S., Azaiez, M.N., Saidane, D., 2012. Sustainable Performance Evaluation of Banks using a Multi-Attribute Utility Model: An Application to French Banks. *Procedia Econ. Financ.* 2, 363–372.
- Saaty, R.W., 1987. The Analytic Hierarchy Process - What And How It Is Used. *Math. Model.* 9, 161–176.
- Saaty, T.L., 2005. Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks. RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* 1, 83–98.
- Sanchez-lopez, R., Bana e Costa, C.A., 2009. The MACBETH Approach for Multicriteria Evaluation of Rural Development Projects in face of Cross-Cutting Issues. *LSEOR Work. Pap.* 09.107.
- Seung, C., Zhang, C.I., 2011. Developing socioeconomic indicators for fisheries off Alaska: A multi-attribute utility function approach. *Fish. Res.* 112, 117–126.
- Suh, K.-D., Kim, M., Kim, S.-W., 2013. Comparison of Calculation Methods of Cumulative Damage of Breakwater Armor Layer. *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*
- Taillandier, P., Stinckwich, S., 2011. Using the PROMETHEE multi-criteria decision making method to define new exploration strategies for rescue robots, in: 9th IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics, SSRR 2011. Kyoto, Japan, pp. 321–326.
- Tomić, V., Marinković, Z., Janošević, D., 2011. PROMETHEE method implementation with multi-criteria decisions. *FACTA Univ. - Mech. Eng.* 9, 193–202.
- Vargas, R.V., 2010. Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process - AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. *PMI Glob. Congr. 2010 - North Am.* 1–22.