



Sistema Geoespacial de Apoio à Decisão para identificação de locais de acolhimento de petroleiros em dificuldades no mar

Paulo NUNES*¹, Cristina CATITA¹ e Miguel PACHECO²

¹ Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa (Portugal)

² Marinha Portuguesa, CINAV

(paulo.jorge.anunes@gmail.com; cmcatita@fc.ul.pt; bessa.pacheco@marinha.pt)

Palavras-chave: Locais de refúgio, Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão, Sistemas de Informação Geográfica, Navegação, Acidentes Marítimos

Resumo:

Ao largo da costa continental Portuguesa situa-se uma das zonas de maior intensidade mundial de tráfego marítimo. Devido à elevada concentração geográfica de navios, nestas zonas o risco de incidentes e de acidentes é elevado.

O sector marítimo tem vindo a desenvolver medidas para reduzir a probabilidade de ocorrência de acidentes no mar. Ainda assim, os navios podem passar por situações de emergência (p.e. incêndios, intempéries, colisões, etc...) que obrigam ao acolhimento em portos e fundeadouros de refúgio. O abrigo de um navio em dificuldades constitui um risco para o estado costeiro pelas potenciais consequências que daí podem advir.

O registo de diversas recusas de acolhimento por vários estados costeiros levou a Organização Marítima Internacional (IMO) a elaborar um conjunto de linhas de orientação para apoiar o processo de decisão em caso de necessidade de acolhimento de navios em perigo.

Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema geoespacial que incorpora num modelo preditivo a informação espacial relativa aos critérios definidos nas linhas de orientação da IMO, com objetivo de ordenar o conjunto de alternativas e identificar as zonas de maior adequabilidade ao acolhimento de petroleiros em perigo. O projeto realizado incidu na utilização das técnicas e algoritmos dos Sistemas de Informação Geográfica e da Análise Multicritério para materializar uma solução técnica que auxilie o processo de decisão em tempo real e que, para tal, integre os dados dinâmicos da meteorologia e oceanografia. Apresenta-se a utilização dos sistemas espaciais de apoio à decisão para auxiliar os decisores na escolha de locais de abrigo, o trabalho desenvolvido a nível concetual na criação do modelo, adaptação de técnicas e geração de resultados. Ao longo da comunicação ir-se-á apresentar a descrição do problema, a adaptação do modelo genérico à questão, a técnica de geração das preferências dos decisores (AHP), a regra de decisão adotada e os resultados da Análise de Sensibilidade do Modelo. O trabalho desenvolvido permite concluir que os resultados são encorajadores e que a abordagem proposta é uma boa base de trabalho para desenvolvimentos futuros sobre o tema.



1. Introdução

O mar é uma das mais importantes vias de comunicação. Através dele circulam os artigos utilizados no quotidiano das sociedades, produtos alimentares, energia que garante as deslocações do Homem, aquecimento e funcionamento da indústria. O transporte marítimo movimenta 90% dos bens transacionáveis a nível mundial (NATO, 2011), é o meio mais eficiente ao nível da relação custo benefício e um pilar no desenvolvimento do comércio mundial. Todos os dias circulam nas águas de interesse nacional centenas de navios de diversas tonelagens e tipologias. Com o florescimento da navegação transatlântica no século XV o navio transformou o comércio mundial, encurtou distâncias e aumentou os dividendos dos armadores e comerciantes.

A severidade dos acidentes marítimos e o seu impacto nos estados motivou vários casos de recusas de apoio. Em 1978, o navio “Christos Bitas” afundou-se após ver o seu pedido de abrigo recusado pelo Reino Unido. Em 1981, o navio “Eastern Mariner I” com uma carga de fertilizantes a bordo encalhou num recife ao largo das Bermudas. No seguimento do encalhe houve um alagamento a bordo associado aos danos resultantes do acidente. As autoridades ordenaram que prosseguisse viagem, foi rebocado para o largo onde acabou por se afundar. Em 2002, o “Prestige” viu Espanha recusar o seu pedido de abrigo, foi obrigado a continuar viagem e permanecer no mar em condições de mar alteroso, a severidade do mar acabou por afundá-lo e provocar um derrame que afetou a Galiza. (Aldo Chircop *et al.*, 2006)

A Organização Marítima Internacional (IMO) é o organismo das Nações Unidas (UN) responsável pela regulação do complexo sector do transporte marítimo tendo como mandado: “safe, secure and efficient shipping on clean oceans”. Ao abrigo deste princípio é responsável pela elaboração de regulamentos e normas aceites pelos governos e pela indústria do transporte marítimo. As várias recusas aos pedidos de refúgio levaram a IMO a elaborar um documento com um conjunto de linhas de orientação destinadas a auxiliar o processo de decisão em caso de pedido de aproximação temporária de navios em dificuldades (International Maritime Organization, 2003). O documento apresenta um conjunto de critérios que ajudam os estados costeiros a quantificar o risco associado ao estabelecimento de um local de abrigo.

A importância do tema dos locais de refúgio levou à rápida integração da resolução da IMO nos ordenamentos jurídicos europeu e nacional. Na zona europeia através da Diretiva 2002/59/CE, do Parlamento e do Conselho de 27 de Junho de 2002 (União Europeia, 2002), transposta para a legislação interna pelo Decreto-lei n.º 180/2004, de 27 de Fevereiro (Governo Português, 2004), emendado pelos Decretos-Lei n.º 236/2004, n.º 51/2005, n.º 263/2009, n.º 52/2012 e n.º 121/2012 (Ministério Público - Procuradoria-Geral Distrital de Lisboa, 2012) que regulam a elaboração de planos de acolhimento de navios em dificuldade.

Este artigo pretende apresentar um modelo baseado nos princípios dos Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão para desenvolver um processo automático que visa auxiliar os decisores responsáveis pelos pedidos de zonas de refúgio a navios acidentados no mar. O sistema irá ajudar a clarificar a situação e a identificar alternativas para zonas de refúgio de acordo com as preferências dos peritos (extraíndo pesos pelo método AHP) e integrando critérios dinâmicos relacionados com a meteorologia e oceanografia.

2. Metodologia e implementação do SEAD

2.1 Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão (SEAD)

Os SEAD são sistemas que utilizam a combinação das técnicas da disciplina de Sistemas de Informação Geográfica com a Investigação Operacional por forma a fornecer um processo automático destinado a auxiliar os decisores, clarificando a situação e as soluções de acordo com as alterações de preferências e critérios. Estes sistemas não pretendem substituir os Humanos no processo de decisão, mas sim agilizar e auxiliar no processo. Os SEAD que visam a integração de múltiplos critérios através de Análise Multicritério apresentam um fluxo genérico de processo esquematizado na Figura 1 a).

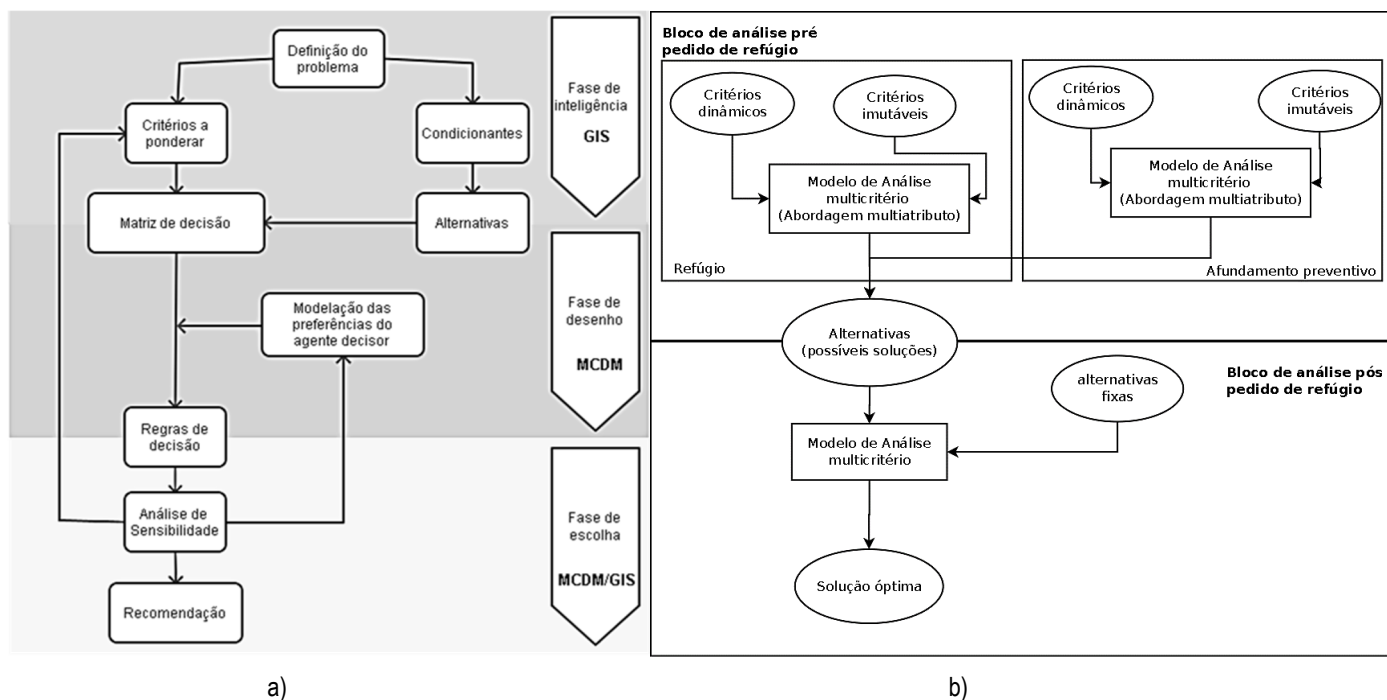


Figura 1 – a) Diagrama de fluxo do processo genérico de decisão nos SEAD. Adaptado de Malczewski (1999); b) SEAD para o processo de decisão de locais de refúgio

No SEAD para o processo de decisão e escolha de locais de refúgio para navios acidentados será desenvolvido um modelo dividido em duas fases: na primeira pretende-se desenvolver uma metodologia que calcula diariamente as soluções de acordo com as condições meteorológicas e oceanográficas, esta fase ocorre sem que exista um pedido e estabelece um conjunto de alternativas a solução para um período de 5 dias. As alternativas determinadas nesta fase são utilizadas para a segunda fase que se desenvolve após um pedido oficial de refúgio. Na segunda fase são aplicadas técnicas que visam o cálculo do risco associado a cada uma das alternativas determinadas na fase anterior. Esta apresentação expõe o modelo de tratamento da fase 1.

2.2 Sistemas de Informação Geográfica e Análise Multicritério para identificação de alternativas

O modelo de análise pré-pedido de refúgio parte de duas premissas:

1. Todos os locais da área marítima de jurisdição nacional devem ser avaliados segundo os mesmos critérios para analisar o seu grau de adequabilidade à situação de abrigo de um navio do tipo petroleiro;
2. O modelo considera variáveis dinâmicas: meteorologia (vento) e oceanografia (ondulação e correntes); e variáveis fixas: batimetria, distância a costa, densidade populacional, etc... (ver Figura 3) para ordenar as alternativas;

No fluxo de processos associados decisão está integrado um modelo de análise multicritério, com a sua vertente de abordagem multiatributo (Figura 2).

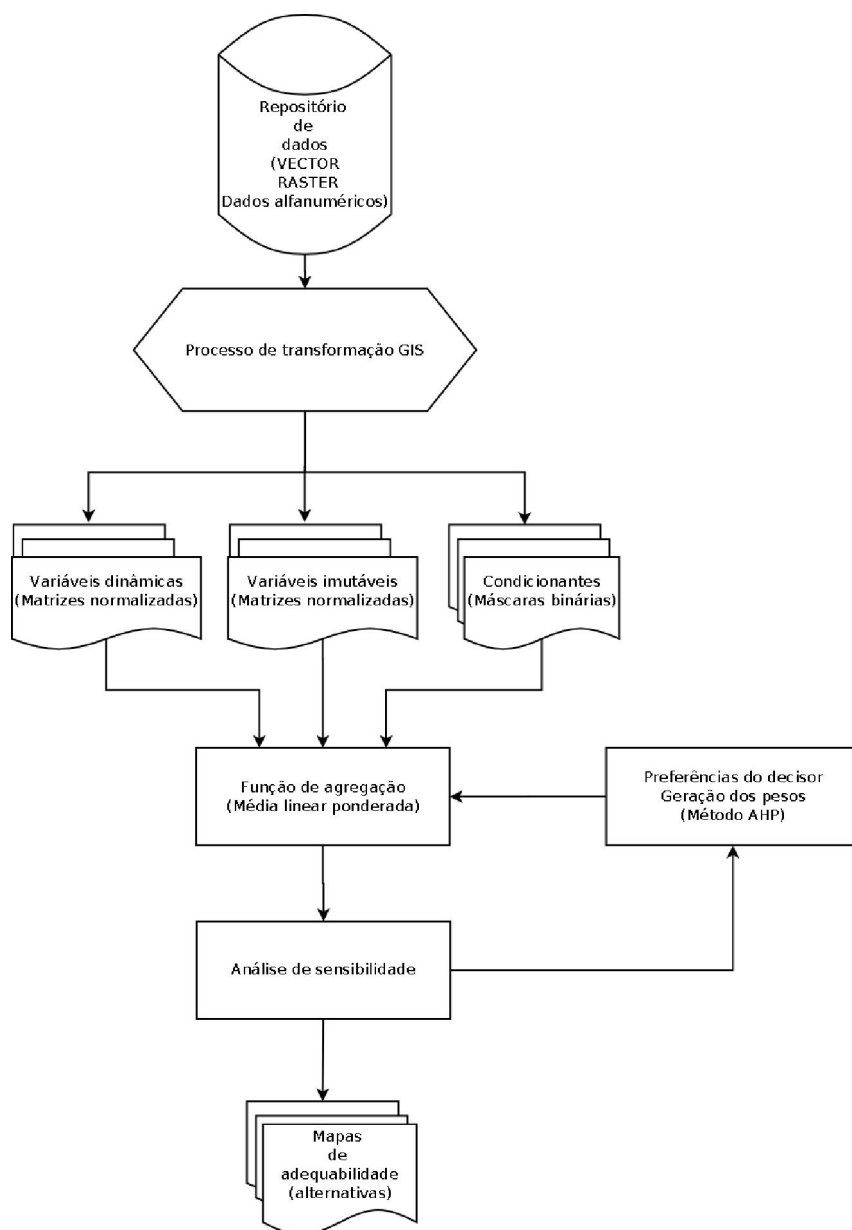


Figura 2 - Fluxo do processo de geração das alternativas na fase de análise pré-pedido

2.1.1 – Método Analytic Hierarchical Process (AHP) para determinação de preferências

Para extrair os pesos utilizados na ponderação utilizando uma média linear ponderada utilizou-se o método AHP proposto por Saaty (Saaty, 1987, Saaty, 1990, Saaty, 2005, Saaty, 2008, Saaty e Vargas, 2001). O método prevê que o problema em análise seja estruturado numa hierarquia onde em cada ramo sejam agrupados os critérios que se pretendem ponderar e analisar. Para o problema dos locais de refúgio foi utilizado a resolução da IMO A.949(23) que expõe os critérios (Tabela I) que devem participar no processo de decisão dos *Places of Refuge* (International Maritime Organization, 2003). Os critérios agrupam-se em fatores ambientais e sociais, condições naturais, planos de contingência e consequências políticas e administrativas.



A construção da estrutura hierárquica (Figura 3) seguiu as recomendações da IMO. Tentou manter-se o modelo tão simples quanto possível de forma a não condicionar a sensibilidade do mesmo. O modelo hierárquico não prevê conceitos de ordem subjetiva e política como a questão de “opinião pública”, a ser avaliada caso a caso pelo decisor. As questões relacionadas com o risco, como por exemplo: o risco para a saúde pública, segurança da guarnição e risco de poluição devem ser avaliados na segunda fase do processo, após conhecer a situação a avaliar e o cenário em questão.

Tabela I - Resumo dos critérios da resolução A.949(23)

Crítérios	SubCrítérios	Crítérios	SubCrítérios
Fatores ambientais e sociais	Segurança de guarnição e passageiros Risco para a saúde pública Poluição Zonas de proteção ambiental Habitats sensíveis Pesca Zonas industriais / valor económico Turismo Facilidades e serviços portuários	Condições naturais	Climatologia Previsões meteorológicas Previsões oceanográficas Marés Correntes Batimetria Condições de navegação Condições de operação
Planos de contingência	Estrutura hierárquica dos órgãos de decisão Relações e acordos de cooperação Internacional Planos de resposta a incidentes	Consequências diversas (Políticas / Governativas)	Opinião pública

Além dos critérios sujeitos a ponderação o modelo prevê a introdução de condicionantes ao conjunto de soluções. Estas são aplicadas no modelo na forma de máscaras binárias em formato *raster* que apresentam o valor 1 (um) nas células suscetíveis de ser utilizadas como soluções para o problema, e o valor 0 (zero) para as inadequadas. As condicionantes consideradas no problema são:

- Zonas ambientais protegidas (além das áreas classificadas foi estabelecida uma zona de proteção de 5 km em torno das áreas classificadas);
- Corredores de acesso aos principais portos Comerciais;
- Zonas identificadas no Plano de Ordenamento do espaço marítimo;
- Áreas de administração dos portos;
- Áreas de proteção dos cabos submarinos;
- Áreas de proteção dos emissários submarinos;

O método de Saaty (Saaty, 1987, Saaty, 1990, Saaty, 2005, Saaty, 2008, Saaty e Vargas, 2001) para determinação dos pesos baseia-se no conceito de vetores característicos” associados aos sistemas de equações lineares. Estes vetores apresentam propriedades que os tornam muito importantes nos estudos na área da física, engenharia e matemática. Os valores característicos são o conjunto de escalares associados ao vetores característicos. Saaty, no método AHP (Saaty, 1990), apresenta as considerações teóricas que justificam a utilização dos vetores e valores característicos para a extração dos pesos (vetores de prioridades) a partir de uma matriz de comparação de critérios par a par. As matrizes são construídas através da licitação de ordens relativas de importância entre os critérios em cada nível e ramo da estrutura hierárquica.

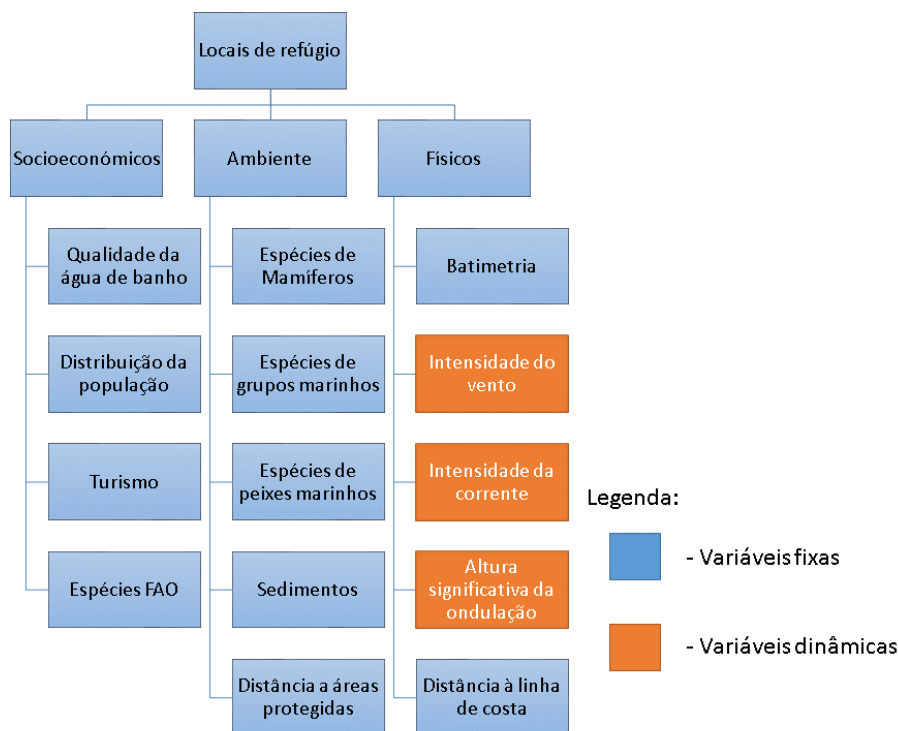


Figura 3 - Estrutura hierárquica utilizada no SEAD para o problema dos locais de refúgio

2.1.2 – Regras de Agregação de Decisão

O modelo de decisão agrega todos os critérios e condicionantes para obter a hierarquia das alternativas (Equação 3) proposta por Eastman (Malczewski, 2000). No problema, cada célula dos mapas em formatos *raster* é uma alternativa que é analisada no processo. Este consiste na utilização de álgebra matricial para combinar os critérios através de uma média ponderada pelas preferências dos decisores (*Weighted Linear Combination method*). Matematicamente o método é descrito por Malczewski (2000) nas equações 1 e 2:

Formulário WLC	Formulário da Normalização
$V(x_i) = \sum_j w_j v_j(x_i) = \sum_j w_j r_{ij} \quad (1)$	$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \text{ [Benefício]} \quad (4)$
$\sum w_j = 1 \text{ [Pesos normalizados]} \quad (2)$	$x'_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \text{ [Custo]} \quad (5)$
$V(x_i) = (\sum_j w_j r_{ij}) (\prod_j r_{ij}^*) \quad (3)$	

As células dos mapas *raster* apresentam atributos determinados com diferentes escalas em diferentes unidades de referência. Para poder-se combiná-las no mesmo modelo matemático é necessário conduzir um processo de normalização transformando os valores originais para valores numa escala de intervalo [0,1]. O processo de normalização adotado designa-se Linear Scale Transformation (Max-Min) exposto nas Equações 4 e 5 conforme Malczewski (1999) e utiliza duas formas de normalização de acordo com a situação em análise.

2.1.2 – Transformação dos dados

Cada uma das condicionantes, critérios e subcritérios apresentados atrás foram sujeitos ao processo de transformação utilizando as funções de geoprocessamento disponíveis nas aplicações dos sistemas de informação geográfica, depois de transformados e criados os mapas de atributos em formato *raster* procedeu-se à normalização de forma a criar todas as camadas de informação prevista pelo modelo. Os dados dinâmicos foram obtidos através de modelos de previsão meteorológica e oceanográfica, combinados com dados de natureza estática para gerar um conjunto de alternativas que podem ser soluções para o problema de seleção de um local de refúgio. Os critérios que são utilizados para criar os mapas são a agitação marítima através da altura significativa, correntes superficiais e intensidade do vento. Os dados estáticos foram recolhidos em diversos organismos nacionais: Instituto Hidrográfico (IH, s.d.), Direção-Geral da Política do Mar (DGPM, s.d.), Direção-Geral do Território (DGT, s.d.), Agência Portuguesa do Ambiente (APA, s.d.), Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF, s.d.), etc... e fontes abertas internacionais: *Food and Agriculture Organization* (FAO, s.d.), *International Union for Conservation of Nature* (IUCN, s.d.), etc...

3. Resultados

Na Figura 5 a) e b) são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia descrita com as previsões meteorológicas e oceanográficas para o dia 15 de abril de 2015:

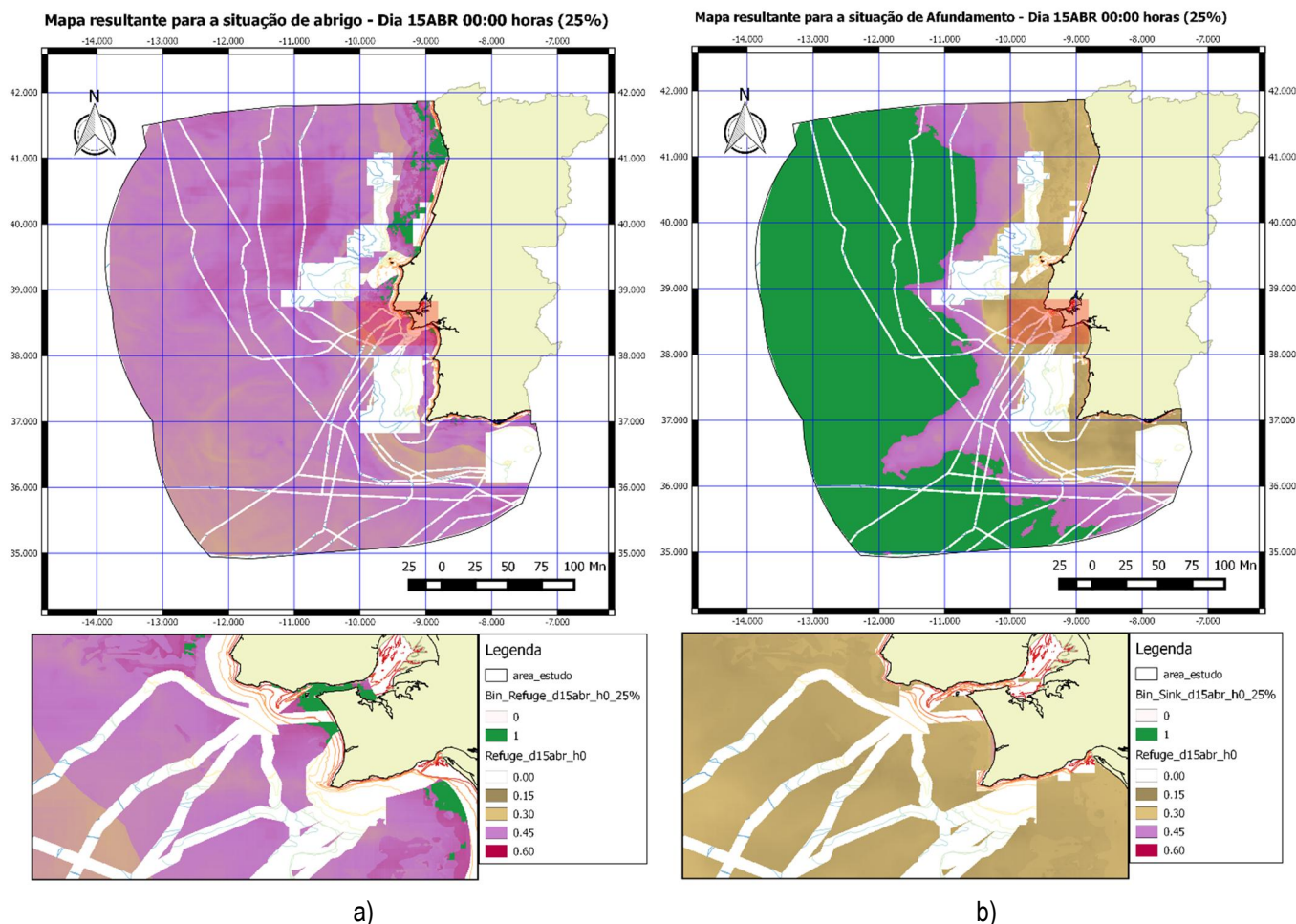


Figura 4 – a) Resultados da aplicação do método para a situação de refúgio; b) Resultados da aplicação do método para a situação de afundamento preventivo (Células a verde são as adequadas à situação em estudo)



4. Conclusões

Os sistemas espaciais de apoio à decisão são ferramentas que permitem integrar informação geoespacial nos processos de decisão, clarificando os decisores sobre a natureza do problema e a relação dos resultados com os critérios utilizados e ordem de preferências. No presente os sistemas procuram integrar a componente temporal nos modelos, procuram descrever as alterações dos critérios na vertente espaço temporal. No processo descrito o modelo integra critérios com variabilidade temporal e espacial com intuito de obter um conjunto de soluções adequadas como locais de refúgio para navios acidentados. Os resultados obtidos permitem concluir que modelo é adequado à combinação de diferentes critérios num mesmo processo de decisão. É possível desenvolver um método automático de apoio à decisão para o caso em estudo. O sistema não substitui o ser humano no processo de decisão, mas presta um importante auxílio na clarificação do problema e na exploração da melhor solução. O modelo concetual apresentado procura resolver um problema prático associado aos locais de refúgio, com critérios condicionados por variações temporais. Considera-se que esse é o principal contributo que se espera vir a incentivar outros trabalhos e desenvolvimentos com aplicabilidade em inúmeras áreas: gestão do espaço, sistemas de emergência, cidades inteligentes, etc..

Referências Bibliográficas

- Aldo Chircop, Olof Linden, Nielsen, D. 2006. Characterising the Problem of Places of Refuge for ships. In: Aldo Chircop, et al. (eds.) *Places of Refuge for Ships. Emerging Environmental Concerns of a Maritime Custom*. Leiden: Martinus Nijhoff.
- APA. s.d. *Agência Portuguesa do Ambiente* [Online]. Disponível: <http://www.apambiente.pt/> [Acedido em junho de 2015].
- DGPM. s.d. *Direção-Geral de Política do Mar* [Online]. Disponível: <http://www.dgpm.mam.gov.pt/Pages/default.aspx> [Acedido em junho de 2015].
- DGT. s.d. *Direção-Feral do Território* [Online]. Disponível: <http://www.dgterritorio.pt/> [Acedido em junho de 2015].
- FAO. s.d. *Food and Agricultura Organization of the United Nations* [Online]. Disponível: <http://www.fao.org/home/en/> [Acedido em junho de 2015].
- Governo Português 2004. Transposição para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2002/59/CE. Diário da República - I Série -A.
- ICNF. s.d. *Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas* [Online]. Disponível: <http://www.icnf.pt/portal> [Acedido em junho de 2015].
- IH. s.d. *Instituto Hidrográfico* [Online]. Disponível: <http://www.hidrografico.pt/> [Acedido em junho de 2015].
- International Maritime Organization 2003. Guidelines on Places of Refuge for Ships in need of assistance. IMO.
- IUCN. s.d. *International Union for Conservation of Nature* [Online]. Disponível: <http://www.iucn.org/> [Acedido em junho de 2015].
- Malczewski, J. 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, New York, USA, John Wiley & Sons, Inc.
- Malczewski, J. 2000. On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS: Common and Best Practice Approaches. *Transactions in GIS*, 4, 5-22.
- Ministério Público - Procuradoria-Geral Distrital de Lisboa. 2012. *Legislação relacionada com o DL n.º 180/2004* [Online]. Lisboa. Disponível: http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1695&tabela=leis [Acedido em junho de 2015].
- NATO. 2011. *Alliance Maritime Strategy* [Online]. Disponível: http://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_75615.htm [Acedido em junho de 2015].
- Saaty, R. W. 1987. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. *Math Modelling*, 9, 161-176.
- Saaty, T. L. 1990. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T. L. 2005. The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. In: Figueira, J., et al. (eds.) *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer.
- Saaty, T. L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1, 83-98.
- Saaty, T. L., Vargas, L. G. 2001. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, New York, Springer.
- União Europeia. 2002. *EUR-Lex : Directiva 2002/59/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Junho de 2002* [Online]. Disponível: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32002L0059> [Acedido em junho de 2015].