

Mapeamento de áreas de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo na baía de Vitória, Espírito Santo-Brasil

*Mapping areas of environmental sensitivity to oil spill
in the bay of Vitória, Espírito Santo-Brazil*

Chacaltana Aquije Teresa Susana¹, Dos Santos Rosa Alexandre²,
Chacaltana Aquije Julio Tomas¹ e Coelho Eugenio Fernando²

Recibido: agosto, 2012 / Aceptado: mayo, 2014

Resumo

Neste trabalho é realizado um estudo sobre a sensibilidade ambiental da linha de costa ao derrame de óleo, utilizando as metodologias propostas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e pelo método de análise hierárquica (AHP). Foi usada uma imagem do satélite *IKONOS* para o planejamento das campanhas e delimitação dos diferentes segmentos da linha de costa, gerando a distribuição espacial dos índices de sensibilidade do litoral (ISL). Do comprimento total da linha de costa classificado, 64,69% do litoral recebeu o ISL 10 (manguezais), enquanto que os índices que tiveram menos evidência foram o ISL 2 (costões rochosos de baixa declividade) e o ISL 3 (praias dissipativas) com apenas 0,22% da área representada. Os índices de sensibilidade da linha de costa na metodologia do AHP mostraram-se satisfatórios na identificação de áreas de maior sensibilidade, sendo afetados tanto pelos fatores dos recursos biológicos como os socioeconômicos, elevando assim os resultados da sensibilidade.

Palavras chave: Sensibilidade ambiental; análise hierárquica; derrame de óleo; SIG; Geotecnologia.

Abstract

In this paper, a study on the environmental sensitivity of the coastline to the oil spill is accomplished by using the methodologies proposed by the Ministry of Environment (MMA) and the Analytic Hierarchy Process (AHP). An image of *IKONOS* satellite was used for the planning of campaigns and delimitation of the different segments of the coastline and for the creation of the spatial distribution of the calculated sensitivity of the coast (ISL). The total length of the coastline rated, 64.69% of the coast received the ISL 10 (mangroves), whereas the indexes have had less evidence ISL 2 (low slope rocky shores) and ISL 3 (dissipative beaches), which only represents 0.22% of the area. The calculated sensitivity of the shoreline under the methodology of AHP was satisfactory in identifying areas of greatest sensitivity, being affected by biological factors such as socioeconomic resources, which enlarge the result sensitivity.

Key words: Environmental sensitivity; hierarchical analysis; oil spill; GIS; geotechnology.

1 Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA-UFES), Vitória Espírito Santo-Brasil. Correo electrónico: teresasusana@gmail.com; juliotac@gmail.com

2 Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Rural, Alegre, Espírito Santo-Brasil. Correo electrónico: mundogeomatica@yahoo.com.br; coelho.fernando@yahoo.com.br

1. Introdução

As zonas costeiras estão sujeitas a uma crescente pressão e estão exibindo inaceitáveis mudanças ambientais como consequência do crescimento populacional, urbanização, turismo e conflitos de usos múltiplos dos recursos. O gerenciamento integrado da zona costeira é uma opção para uma resposta compreensiva de política/gerenciamento. Como consequência da Agenda 21 e subsequentes delineamentos sobre o gerenciamento costeiro a partir de organizações intergovernamentais (FAO, IMO, UNEP e Banco Mundial), a política e fundamentos científicos têm mudado radicalmente (Salomons *et al.*, 1999).

A área costeira tem um grande valor ecológico, social e econômico. Dentre os ambientes costeiros, os estuários têm representatividade especial, devido a sua alta produtividade biológica. Além disso, funcionam como polo de atração da atividade humana. Comumente, portos são instalados no interior ou próximo aos estuários, estimulados pelo desenvolvimento industrial ou para facilitar o transporte de algum recurso natural, como o óleo. Essa situação é preocupante, e a gestão desses ambientes depende da compreensão dos processos que condicionam as suas variáveis ambientais.

A descoberta de óleo no litoral do estado do Espírito Santo tem impulsionado o tráfico de navios ao longo do litoral aumentando as operações de carga e descarga nos seus maiores portos (Tubarão e Vitória), acrescentando potencialmente o risco a possíveis derramamentos de óleo.

Daí, a necessidade de procurar metodologias para identificar áreas de risco potencialmente sensíveis ao derramamento de óleo. A modelagem matemática e numérica para simular o derrame de óleo e a elaboração de mapas de sensibilidade são técnicas comumente usadas para a identificação dessas áreas.

A modelagem é uma técnica rotineiramente usada pela comunidade científica, em particular pela da engenharia ambiental, para determinar os impactos ambientais provenientes das atividades humanas, tais como a construção de estruturas, as dragagens de canais, e o eventual derramamento de substâncias poluidoras, como exemplo o óleo, esgoto e sedimentos (Al-Rabeh *et al.*, 1993).

Outra metodologia encontrada na literatura é a análise da sensibilidade ambiental a um potencial derrame de óleo. Usando geotecnologias e imagem de satélites é possível ter uma visão geral da distribuição espacial do Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA) ao derrame de óleo. O mapa dos ambientes costeiros sensíveis ao óleo e as informações dos recursos biológicos têm sido propostos para guiar os gestores na avaliação do provável risco associado ao derrame de óleo e planejar operações efetivas de controle do derrame.

Nos últimos anos, a elaboração de mapas de sensibilidade tem aumentado muito, tanto no Brasil (Lana e Noernberg, 2002) como no mundo. Ainda que as empresas de petróleo tenham melhorado os métodos de transporte e exploração, os acidentes com derrame no mar continuam acontecendo.

O presente trabalho teve como propósito classificar a linha de costa de uma região específica do litoral do estado do Espírito Santo (ES), denominada de baía de Vitória (ES), usando o conceito do Índice de Sensibilidade Ambiental. A escolha da região deve-se principalmente à existência de áreas de mangue, importantes e frágeis ecossistemas e à grande variedade de linhas de costa, destacando-se entre elas, o porto de Vitória principal foco de um eventual derramamento de óleo.

A metodologia desenvolvida nesta região piloto pode ser replicada a outras regiões do litoral do estado do Espírito Santo, podendo ser aprimorada e quantificada, aplicando-se o método de apoio à decisão multicritério.

A elaboração do índice de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo foi baseada na metodologia proposta pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002) e pelo método Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process-AHP*). As técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas foram utilizadas para a obtenção e tratamento dos dados, assim como para a geração do mapa de sensibilidade ao derrame de óleo.

2. Material e métodos

O complexo estuarino da Ilha de Vitória está localizado no estado do Espírito Santo entre as coordenadas geográficas 20°15' e 20°20' sul e 40°16' e 40°22' oeste. Este é formado pela baía de Vitória e dois canais que a ligam com a baía

de Espírito Santo. A região de estudo é composta pela baía de Vitória e o canal de acesso ao porto de Vitória, que se encontra na extremidade sul da baía de Vitória, como mostrado na figura 1.

Segundo Barros Filho (2002), a porção mais interna da baía de Vitória é composta de uma base rasa margeada por manguezais na zona entre-marés, a profundidade média do canal principal que circunda as planícies de maré gira entorno de 5m. Na porção nordeste se encontra o delta do rio Santa Maria da Vitória, que é a maior fonte de água doce e sedimentos do sistema. O canal de acesso ao porto de Vitória é o canal de navegação principal de 8 km de extensão que dá acesso aos portos locais.

Quanto a sua geomorfologia, o canal da baía de Vitória ao sul, depois de percorrer no sentido E-W por cerca de oito quilômetros, inflete para nordeste formando um cotovelo. Daí por diante ele torna-se mais largo e, ao mesmo tempo, menos profundo, até se confundir com toda trama de terrenos sedimentares recentes, como o delta do rio Santa Maria e áreas vizinhas (Ferreira, 1989 apud Paiva, 1999).

O canal de acesso aos portos possui uma extensão de 8 km e é orientado no sentido E-W. A extremidade leste, entrada ao canal, tem uma largura de 950 m (próximo à terceira ponte) e sua extremidade oeste 270 m (próximo a cinco pontes), sendo o trecho mais estreito de 170 m (Morro do Penedo). Este canal de acesso é dragado periodicamente para manter sua profundidade média em torno de 12 m. O comprimento da região de estudo

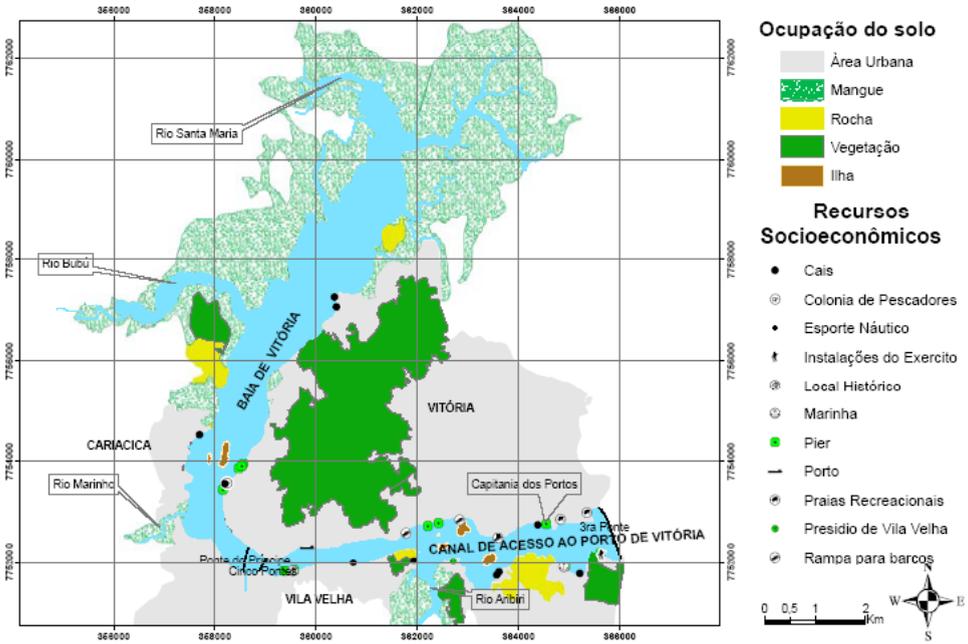


Figura 1. Localização da área de estudo: baía de Vitória e canal de acesso aos portos

é de 19 km medidos desde a extremidade leste do canal até a extremidade superior do delta do rio Santa Maria.

3. Análise da sensibilidade ambiental da linha de costa ao derrame de óleo usando o método do Ministério do Meio Ambiente (MMA)

A análise de sensibilidade ambiental é realizada usando o conceito de Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA) proposto pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, 2002) para classificar a sensibilidade ambiental da linha de costa devido a um potencial derrame de óleo, e que muitos países a tem adaptado para satisfazer suas condições

particulares. No Brasil, a classificação da sensibilidade ambiental da linha de costa é conhecida como Índice de Sensibilidade Ambiental do Litoral (ISL).

Para mostrar a distribuição espacial, os valores do índice de sensibilidade ambiental comumente são apresentados em cartas ou imagens de satélite georreferenciadas. Estas cartas ou mapas de sensibilidade ambiental para o derramamento de óleo são requisitos garantidos pela resolução CONAMA N° 293/2001, que insere as cartas de sensibilidade ambiental como conteúdo mínimo dos planos de emergência individuais para incidentes de poluição por óleos em portos organizados, terminais individuais, dutos e plataformas, bem como em suas instalações de apoio.

A sensibilidade ambiental da linha de costa ao derrame de óleo se fundamenta na análise de três tipos de informação relacionados à linha de costa, aos recursos biológicos e usos humanos dos recursos (atividades socioeconômicas); são elas: sensibilidade da linha de costa; recursos biológicos e recursos socioeconômicos.

A incorporação das imagens satélites e um SIG têm servido para o desenvolvimento no mapeamento da sensibilidade ambiental podendo assim solucionar os três grandes problemas deste estudo. Primeiro, a carência de dados dos mapas planimétricos e da atualização dos mesmos. O segundo, a necessidade do mapeamento da sensibilidade e a dificuldade de acesso e menor infraestrutura de recursos humanos e materiais na área de estudo e as imagens satélites podem fornecer informações detalhadas da linha de costa, uso e ocupação do solo. E o terceiro, é a falta de um banco de dados que informe as áreas mais sensíveis a um derramamento de óleo e das formas de gerenciar uma equipe para que priorize as áreas a serem mais prejudicadas (Lana e Noernberg, 2002).

O planejamento das campanhas de campo para a coleta de dados necessários para a classificação da linha de costa foi por meio do uso de uma imagem de satélite, disponibilizada pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA).

A imagem de satélite foi utilizada para delimitar, em primeira instância, os segmentos de linha de costa que poderiam ser acessados por terra e os que deveriam ser acessados pelo mar. Ao total foram planejadas 4 campanhas, duas por terra

e duas por mar. Em cada uma das campanhas são coletadas amostras de areia, medidas as declividades das praias e registrados os comprimentos de cada segmento de linha de costa.

As amostras obtidas no campo foram submetidas aos processos para a análise granulométrica, encontrado em Muehe (1994), que consistem na lavagem, secagem, quarteamento e peneiramento do sedimento.

O processo de lavagem é importante na eliminação dos sais solúveis da amostra, porque estes favorecem a floculação. Após isso, o material foi encaminhado à estufa, a uma temperatura em torno de 1.000 °C, para o processo de secagem. A etapa seguinte, o quarteamento, foi realizada para a obtenção de alíquota menor, porém significativa, da amostra. A seguir foi pesado 50g e colocado no conjunto de peneiras, por 15 minutos no vibrador. O material retido em cada peneira é então coletado e pesado.

Após o término das duas etapas de campanha de campo foram adicionados os dados (linha dos tipos de linha de costa, polígonos dos recursos biológicos e pontos dos recursos socioeconômicos) a um sistema de informação geográfica (SIG), utilizando como base o sistema de coordenadas UTM (Sistema Universal Transversal de Mercator - *South American 1969 UTM Zone 24S*).

Depois de incluídos os dados coletados em campo foi iniciado a digitalização tendo como base uma imagem do satélite *IKONOS*, outorgada pelo órgão do Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA), com resolução espacial de 1m, de cada

fator que foi encontrado com ajuda dos resultados das amostras das praias que serviram para a classificação do ISA dos diferentes tipos de praias que foram encontradas.

Logo se passou á padronização da linha de costa baseado em codificação temática de cores e símbolos padronizados oficialmente para cada índice (MMA, 2002).

O fluxograma do índice de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na baía de Vitória (ES), é mostrado na figura 2.

4. Análise da sensibilidade ambiental da linha de costa ao derrame de óleo, usando o método de Análise Hierárquica (AHP)

No presente trabalho, a proposta de determinação das áreas mais sensíveis ao derramamento de óleo leva em consideração a informação dos diferentes fatores encontrados na linha de costa, os recursos biológicos e os recursos socioeconômicos do índice de sensibilidade.

Uma alternativa para representar a informação acima descrita é por meio do uso das geotecnologias, que permitem a rápida manipulação de informações espaciais. Neste sentido, o método AHP, desenvolvido por Saaty (1970), torna-se um modelo imprescindível para a tomada de decisões na área ambiental, como na análise da sensibilidade da linha de costa ao derrame de óleo.

O método AHP pode ser expresso por meio do seguinte modelo linear aditivo:

$$S(a) = \sum_{i=1}^m w_i s_i(a)$$

em que,
 $S(a)$: valor total da alternativa;
 $S_i(a)$: valor que reflete a performance da alternativa a sobre o critério i ;
 $W_i(a)$: peso que reflete a importância do critério i .

A equação acima citada é usada para quantificar a sensibilidade da linha de costa ao derrame de óleo. Nesse caso, $S(a)$ é o valor total da sensibilidade da

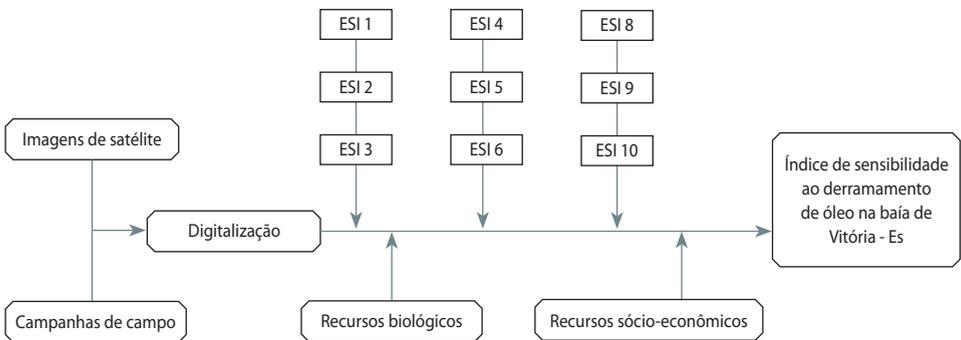


Figura 2. Fluxograma metodológico para elaboração do Índice de Sensibilidade ao derramamento de óleo na baía de Vitória

linha de costa, $S_i(a)$ é o valor que reflete a performance da linha de costa sobre os diferentes tipos de segmentos de costa encontrados e, $W_i(a)$ é o peso que reflete a importância dos diferentes tipos de segmentos. Assim, o problema consiste em quantificar os valores de $S_i(a)$ e $W_i(a)$ para os diferentes tipos de segmentos encontrados na linha de costa.

Para a quantificação de $S_i(a)$ procede-se da seguinte forma: a ideia base é usar a informação espacial de cada um dos segmentos de linha de costa. Cada segmento é convertido para o formato raster. Seguidamente, usa-se o conceito da distância euclidiana para o segmento. Finalmente, o resultado de distância é padronizado.

O método AHP é um método multicritério de apoio à decisão usado neste trabalho para a determinação dos pesos $W_i(a)$, baseado na hierarquização dos fatores em níveis (Figura 3 e Quadro 1) como:

Para a elaboração do mapa de sensibilidade ambiental da linha de costa ao

derrame de óleo, usando o método AHP, a seguintes etapas foram seguidas:

- Multiplicação de cada imagem dos fatores e subfatores já padronizados (Fuzzy) pelo peso individual em cada nível;
- Somatória de cada imagem dos subfatores de terceiro nível já ponderados com seus respectivos pesos;
- Somatória de cada imagem dos fatores de segundo nível objetivando elaborar o mapa sensibilidade ambiental da linha de costa ao derrame de óleo.

5. Resultados e discussão

5.1 Análise da sensibilidade ambiental da linha de costa ao derrame de óleo, usando o método do MMA

Os resultados do índice de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo são apresentados seguindo normas internacionais do código de cores para representar a linha de costa e de simbologia

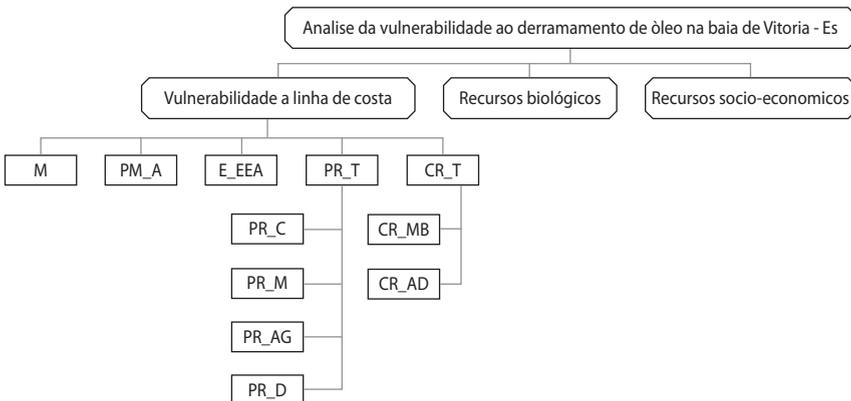


Figura 3. Hierarquia dos fatores

Quadro 1. Fatores e subfatores da área de estudo

Fatores de linha de costa	Siglas
Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas	CR_AD
Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos	CR_MB
Praias dissipativas de areia média a fina, expostas	P_D
Praias de areia grossa Praias intermediárias de areia fina a média, expostas Praias de areia fina a média, abrigadas	P_AG
Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais	P_M
Praias de cascalho (seixos e calhaus) Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente, quebra-mar) expostos Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)	P_C
Planície de maré arenosa exposta	PM_E
Encosta de rocha lisa, abrigada Encosta de rocha não lisa, abrigada Enrocamentos ('rip-rap' e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados	E_EEA
Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas	PM_A
Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)	M

adequada para representar os recursos biológicos e socioeconômicos (MMA 2002).

5.1.1 Índice de Sensibilidade Ambiental

Os resultados da análise granulométrica das 16 amostras de areia coletadas na linha de costa da região de estudo são mostrados no quadro 2. Essa tabela exhibe os valores dos diâmetros dos substratos (Phi), segundo a classificação proposta por Wentworth, assim como o tipo de areia e a localização da amostra.

O segmento e a porcentagem de cobertura para cada índice de sensibilidade ambiental do litoral (ISL) da área de estudo são mostrados no quadro 3, obtidos por meio da análise de imagem de satélite e das campanhas de campo. Como

observado, a linha de costa mais predominante é o ISL 10, com uma extensão de 62.316 m e abrangência de cobertura do segmento de 49.57 %. Já o índice de menor incidência foi o ISL 2 (costão rochoso de média a baixa declividade), com uma extensão de 219 m e abrangência de 0.17%. O ISL 7 (planície de maré lamosa abrigada) não foi identificado sobre a área de estudo.

A seguir é realizada a descrição dos resultados do índice de sensibilidade ambiental do litoral (ISL) ao derreamento de óleo para a área de estudo (Quadro 2 e 3):

- ISL 1: foi encontrado na área de estudo numa extensão de 7.986 m e com 8,29% de linha de costa. Cabe ressaltar que no costão rochoso foi encontrado um habitat de garças marinhas,

Quadro 2. Descrição das amostras coletadas na linha de costa da região de estudo

Amostras	Descrição			
	Phi (mm)	Tipo de areia	X	Y
1	2.34	Areia fina	365465,78	7753006,41
2	1.07	Areia media	364780,53	7752734,34
3	2.07	Areia fina	363976,97	7752668,19
4	2.21	Areia fina	363815,16	7752527,49
5	2.25	Areia fina	358091,37	7753930,92
6	0.79	Areia grossa	357707,15	7754531,25
7	1.17	Areia média	362558,10	7752063,95
8	-0.45	Areia muito grossa	362865,08	7751940,42
9	0.11	Areia grossa	363820,81	7751922,18
10	1.63	Areia média	364390,83	7752136,11
11	0.24	Areia grossa	364549,17	7752117,81
12	0.65	Areia grossa	364784,22	7752008,03
13	0.52	Areia grossa	365544,09	7752171,17
14	0.93	Areia grossa	365606,32	7752183,23
15	0.61	Areia grossa	365845,96	7752063,41
16	1.16	Areia média	365998,45	7752067,04

Quadro 3. Representação do ISL encontrados na área de estudo

ISL	Segmento (M)	Cobertura do segmento (%)
1	7986	8,29
2	219	0,23
3	221	0,23
4	1432	1,49
5	388	0,40
6	227	0,24
8	22390	23,24
9	1156	1,20
10	62316	62,69
Total	96335	100

o que eleva o valor de índice de sensibilidade.

- ISL 2: foi encontrado na área de estudo numa extensão de 219 m e com 0,23% de linha de costa. Encontrou-

se nesse local um exemplo do único costão rochoso com declividades de média a baixa que foi encontrada na área de estudo, localizado perto do canal da passagem.

- ISL 3: foi encontrado na área de estudo numa extensão de 221 m e com 0,23% de linha de costa. Encontrou-se um exemplo de uma praia dissipativa que apresenta alto uso recreacional localizada logo no início da área de estudo. Essas praias têm um substrato de areia fina sendo que os grãos são mais compactados, recebendo menos impacto ao derrame de óleo, pois a filtração do óleo nas camadas de areia pode ser bem menor. No entanto os impactos biológicos podem ser mais elevados, sendo que a remoção pode ocorrer no período de um ano, depen-

dendo da extensão e persistência do óleo.

- ISL 4: foi encontrado na área de estudo em uma extensão de 1.432 m. e com 1,49% de linha de costa. Encontrou-se um exemplo de praia de areia grossa. Nestas praias, o espaçamento que existe entre os grãos facilita a infiltração do óleo na areia entre 15 e 25 cm, como descrito por GUNDLACH *et al.* (1978) no derramamento do Urquiola, o petróleo se infiltrou nas camadas de areia entre 15 e 25 cm após alguns dias do derrame de óleo. Nas praias de areia grossa, a limpeza do derrame é mais difícil quando o óleo se infiltra, pois a maquinaria pesada pode ficar estancada.
- ISL 5: foi encontrado na área de estudo em uma extensão de 388 m e com 0,40% de linha de costa. Encontrou-se uma praia mista composta de areia e de conchas. A percolação do óleo pode ser até cerca de 50 cm de profundidade, a mobilidade dos sedimentos torna-se muito elevada em ciclos de tempestades, por isso são praias com elevado potencial de erosão por ocasião das tempestades. Quanto maior for a penetração do óleo no substrato mais sofisticadas serão as técnicas de limpeza.
- ISL 6: foi encontrado na área de estudo em uma extensão de 227 m e com 0,24% de linha de costa. Encontrou-se uma praia de cascalho e seixos. Ambientes como estes possuem alta declividade (>30°) e como são formados por rochas de diferentes ta-

manhos e formatos, permitem uma grande percolação do óleo no caso de acidente, aumentando assim o tempo de permanência do resíduo no meio. Este segmento possui fácil acesso por terra e mar, mas a trafegabilidade é limitada para pessoas e equipamentos leves, em função da alta irregularidade do substrato.

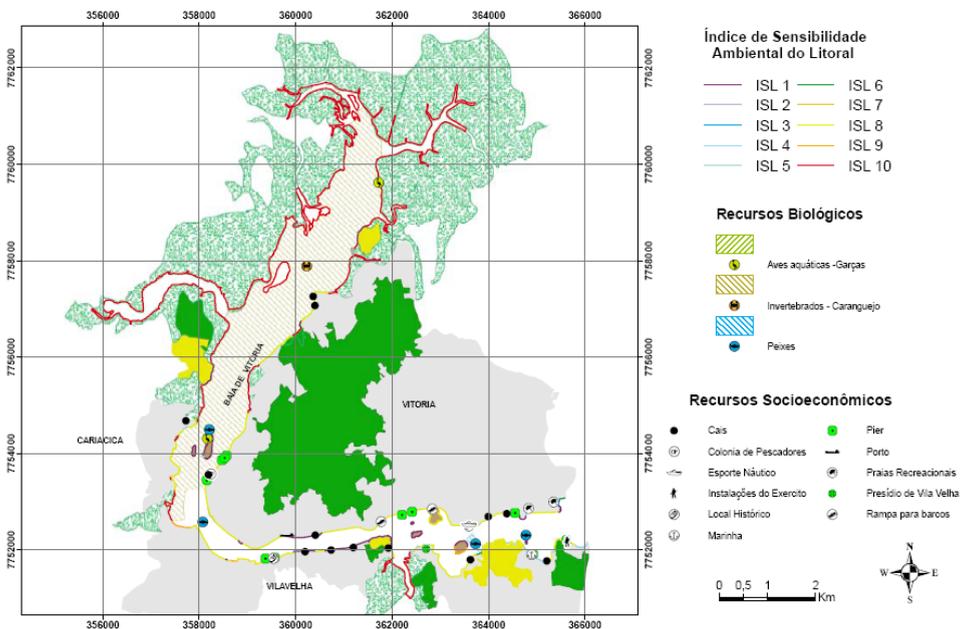
- ISL 8: foi encontrado na área de estudo em uma extensão de 22.390 m e com 23,24% de linha de costa. Encontrou-se enrocamentos abrigados. Abrigado à ação de ondas, a declividade geralmente íngreme (maior que 15 graus). Possui fácil acesso por terra e mar. São necessárias medidas de contenção e resposta para retirada do resíduo em caso de acidente, pois o ambiente não possui capacidade de remover o óleo naturalmente, podendo este permanecer por longos períodos e causar sérios danos à biota.
- ISL 9: foi encontrado na área de estudo em uma extensão de 1.156 m e com 1,20% de linha de costa. Abrigado à ação de ondas; a declividade geralmente é menor que 3 graus. Sedimento saturado com água, com baixa permeabilidade a não ser pela presença de orifícios feitos por animais. A penetração do óleo é limitada pelos sedimentos saturados de água; o óleo é geralmente transportado até a linha de maré alta, podendo ocorrer penetração junto à linha de preamar; o impacto na biota pode ser alto devido à exposição tóxica (óleos leves) ou asfixia (óleos pesados).

- ISL 10: foi encontrado na área de estudo em uma extensão de 62.316 m e com 64,69% de linha de costa. Encontrou-se ambientes de mangues que são os locais de maior sensibilidade da linha de costa, necessitando cuidados especiais para que não sofram impactos em caso de acidentes. A penetração do óleo é dificultada pela saturação do sedimento. O tempo de permanência e o impacto sobre as comunidades são sempre muito altos. A grande quantidade de galhos e raízes das árvores e o substrato mole dificultam o acesso ao interior do mangue. Estas áreas podem ser protegidas, distribuindo-se barreiras e absorventes ao longo de toda a franja do mangue. Possuem difícil acesso por terra,

e o acesso por vias aquáticas não se faz recomendado em função de que se pode prejudicar ainda mais as comunidades das regiões atingidas em caso de acidente.

A figura 4 mostra o índice de sensibilidade ambiental do litoral ao derramamento de óleo na baía de Vitória, espacializado com suas devidas coordenadas.

Cabe mencionar que não foi encontrado na área de estudo o índice de sensibilidade ambiental ISL 7, que se refere à planície de maré arenosa exposta e terraço de baixa mar. Na área de estudo somente são duas as praias que são consideradas praias aptas a recreação e que se encontram logo no começo da área de estudo do lado de Vitória.



5.2 Análise da sensibilidade ambiental da linha de costa ao derrame de óleo, usando o método AHP

A seguir mostra-se o resultado dos pesos aplicando a metodologia do AHP de cada fator em seu respectivo nível.

- Segundo nível: Os pesos dos fatores que são os recursos biológicos (REC_BIOL), recursos socioeconômicos (REC_SOCIO) e linha de costa (LINHA_COST), (Figura 5).

Pode-se observar que os recursos biológicos têm um peso de 0,7189 seguido dos recursos socioeconômicos com 0,1684 e da linha de costa com 0,1127. Os recursos biológicos apresentam maior importância pelo fato de apresentarem diferentes classes de aves, invertebrados e peixes. Em seguida encontramos os recursos socioeconômicos no qual encontramos os diferentes usos destes, em cais, portos, rampas e o sustento que seria derivado dos recursos biológicos, como o mangue.

Finalmente, a linha de costa o que terá importância de acordo com as características de cada fator.

- Terceiro nível: Os pesos dos fatores mangue (M), planície de maré abrigada (PM_A), encosta de rocha ISL, enrocamentos, estruturas artificiais não lisos (E_EEA), praias total (PR_T) e por último os costões rochosos total (CR_T), (Figura 6).

Observa-se que todos os subfatores têm importância, segundo as informações coletadas chegando-se à conclusão que quando maior for o tipo do grão ele se comportará de modo a infiltrar maiores quantidades de óleo nas camadas do substrato.

- Terceiro nível: Os pesos dos subfatores são: costão rochoso de declividade média a baixa (CR_MB), costão rochosos de alta declividade (CR_AD) (Figura 7).

Pode-se observar que todos os subfatores têm importância, segundo as informações coletadas, chegando-se à conclusão de que em substratos não consolidados não há penetração do

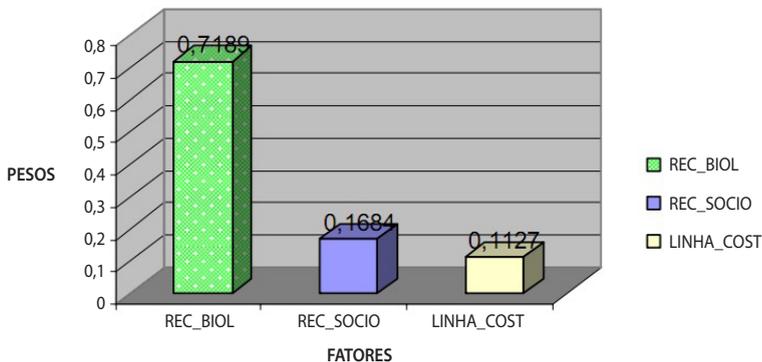


Figura 5. Pesos dos fatores do segundo nível: (REC_BIOL), (REC_SOCIO) e (LINHA_COST)

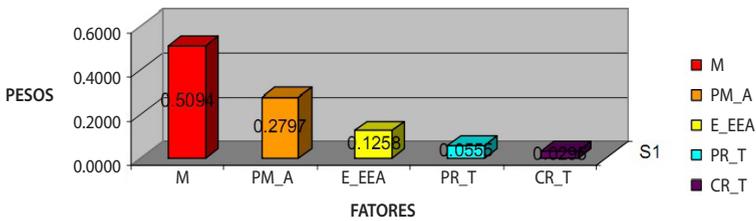


Figura 6. Pesos dos fatores do terceiro nível: (M), (PM_A), (E_EEA) e ,(PR_T)

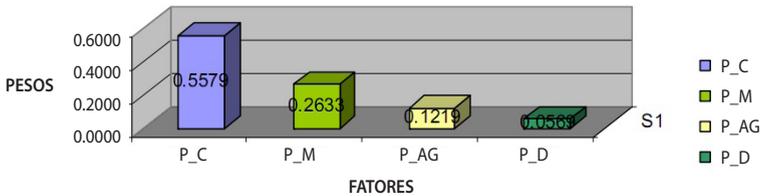


Figura 7. Pesos dos fatores de terceiro nível: (CR_MB) e (CR_AD)

óleo. Por outro lado, o fator de baixa declividade apresenta uma maior sensibilidade do que o fator de alta declividade.

Finalmente, com o processamento das imagens, é possível identificar os fatores mais sensíveis ao derrame de óleo. O mapa de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo utilizando o método AHP é mostrado na figura 8.

Para uma interpretação do que acontece na área de estudo se opto por criar uma escala de sensibilidade, podendo ser observado que as áreas com alta sensibilidade ao derramamento de óleo se encontram com um valor de 10 (cor vermelha), e com baixa sensibilidade com um valor de 1 (cor azul). Essa escala mostra as áreas que apresentam maior prioridade de proteção, caso ocorra um derramamento de óleo, e leva em consideração todos os fatores, recursos biológicos, so-

cioeconômicos e informação da linha de costa.

De maneira geral, pode-se notar na figura 8, que a sensibilidade vai aumentando da extremidade leste do canal de acesso em direção ao manguezal, localizado ao nordeste da baía de Vitória, onde se encontra a maior área ocupada pelos recursos biológicos.

Para facilitar a apresentação dos resultados, na figura 9 são delimitadas três regiões retangulares representadas pelas letras A, B e C.

- *Região A (baía de Vitória)* A ampliação da região A é mostrada na figura 10. A escala de cores usada mostra para essa região uma distribuição alta da sensibilidade, com valores de 8, 9 e 10. Os altos valores encontrados nessa região se devem à presença marcante dos recursos biológicos e ao máximo valor que a linha de cos-

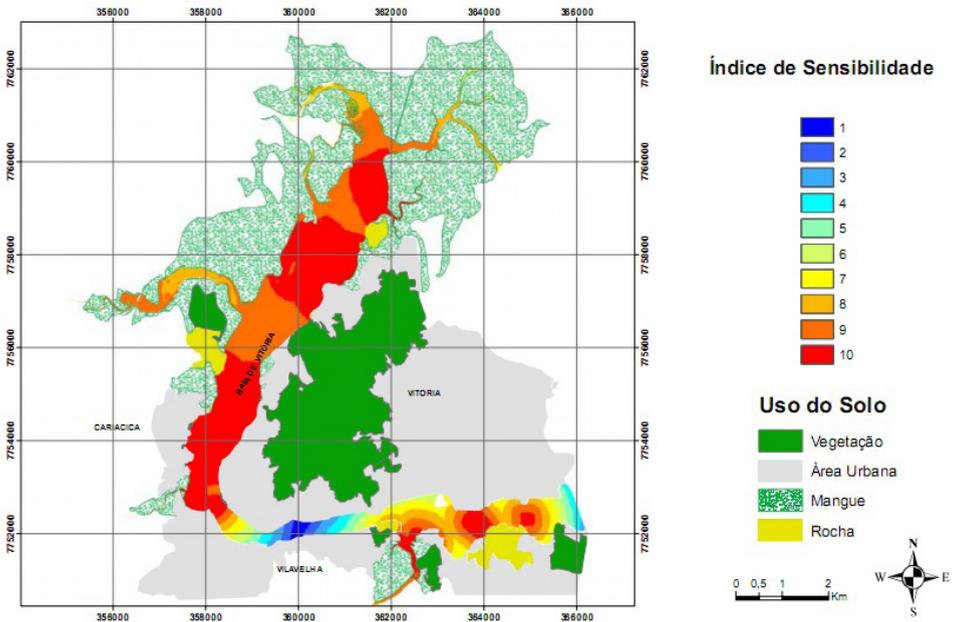


Figura 8. Mapa de sensibilidade ao derramamento de óleo

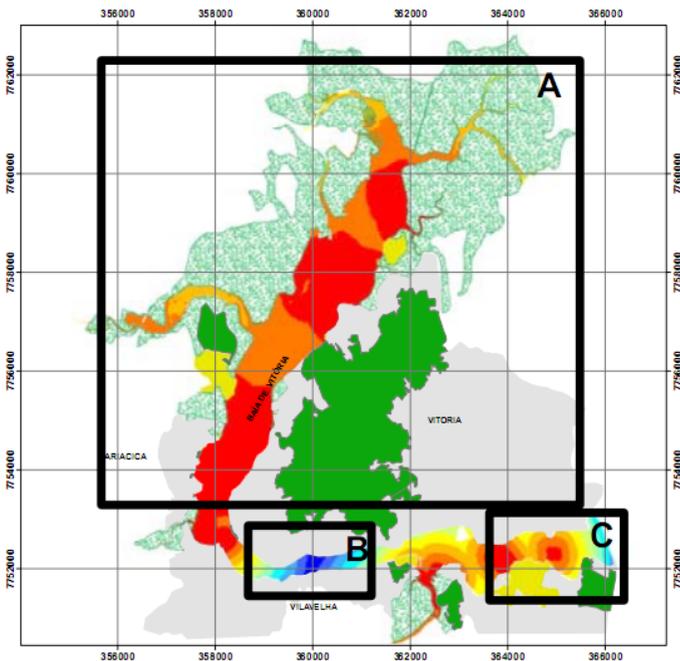


Figura 9. Ampliação das regiões representadas pelas letras A, B e C

ta mangue tem na classificação dada pelo MMA. Esses são os fatores que contribuem para elevar a sensibilidade do derrame de óleo.

- *Região B (canal de acesso ao porto de Vitória)* A ampliação da região B, mostrada na figura 11, retrata que a área do canal de acesso ao porto de Vitória apresenta uma sensibilidade que vai aumentando do centro a região para ambas as extremidades. Na escala de cores, a menor sensibilidade de cor azul se encontra nas vizinhanças do porto de Vitória. Essa baixa sensibilidade, valor 1, deve-se ao fato de essa região de cor azul conter estruturas artificiais lisas e o recurso socioeconômico como o porto. Não é registrada a presença de recursos bio-

lógicos. Do centro da região B e em direção as extremidades, se observa um aumento da sensibilidade até o valor de 7, cor amarela. O principal fator que pode ocasionar esse aumento são os recursos biológicos que se encontram (ver figura 11) em ambas as extremidades da região B e em menor grau a composição da linha de costa.

- *Região C (entrada da baía de vitória)* A ampliação da região C é mostrada na figura 12. Nessa região pode ser visualizada na escala de cores uma distribuição sensibilidade com valores que variam de 3 até 10. Os valores de 3 e 6 se encontram na entrada do canal de acesso ao porto de vitória onde são encontrados praias de areia fina e grossa. Os maiores valores, de 7 até

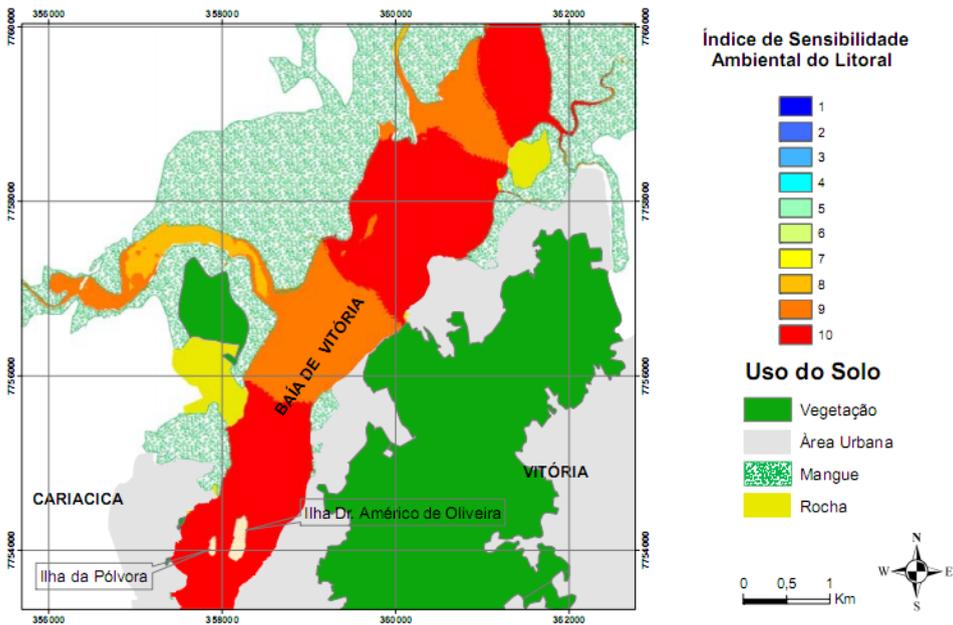


Figura 10. Região A - Baía de Vitória

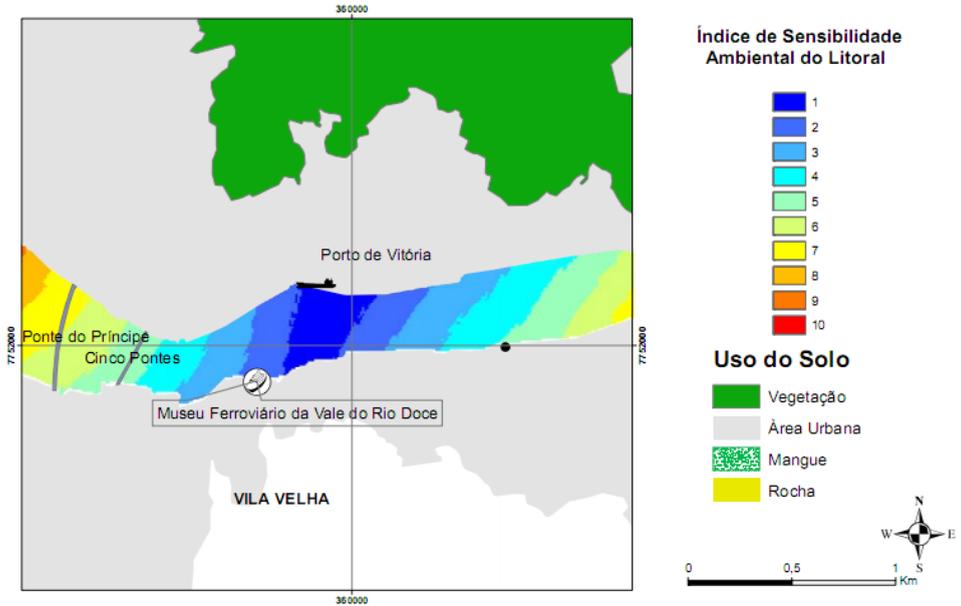


Figura 11. Região B. Canal de acesso ao porto de Vitória

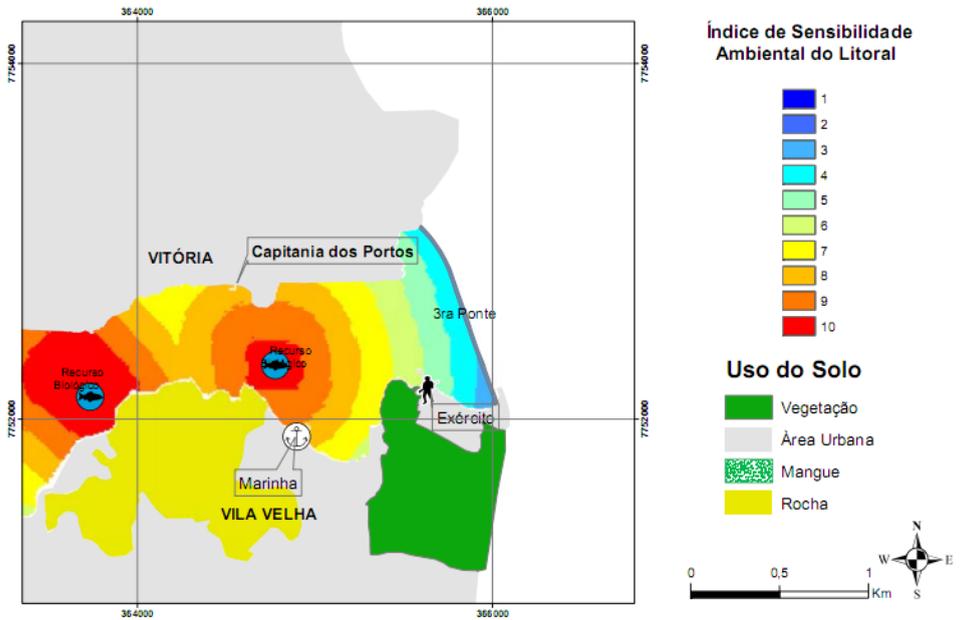


Figura 12. Região C. Entrada da Baía de Vitória

Quadro 4. Comparação das metodologias

Metodologia do MMA	Metodologia do AHP
REGIÃO A	
Alto índice de sensibilidade do fator da linha de costa (mangue) com um índice de sensibilidade ISL 10. Presença do fator recursos biológicos ocupando a maior parte da região	Alta sensibilidade na escala de cores, com valores variando de 8 a 10
REGIÃO B	
Índice de sensibilidade da linha de costa caracterizados pela presença de estruturas artificiais lisas, ISL 1, e enrocamentos artificiais, ISL 8. Não se encontra a presença de nenhum tipo de recurso biológico. Presença do recurso socioeconômico porto e cais	Sensibilidade na escala de cores variando de 1 até 7. O menor valor (cor azul) é encontrado no centro da região e vai aumentando em direção de ambas as extremidades (cor amarela)
REGIÃO C	
Índice de sensibilidade da linha de costa caracterizados pela presença de ISL 3, ISL 4 e ISL 5. Presença dos recursos biológicos a partir do centro até a extremidade oeste. Presença de recursos socioeconômicos como praias recreativas, cais	Sensibilidade na escala de cores que varia de 3 até 10. Distribuição gradual da sensibilidade que vai aumentando da extremidade leste para o oeste

10, estão relacionados a presença dos recursos biológicos.

Uma comparação entre os resultados encontrados pelas duas metodologias é apresentada no quadro 4.

6. Conclusões

Com o término do presente trabalho, pode concluir que:

- A metodologia do MMA melhor representou a distribuição espacial dos fatores e os subfatores que se encontram na área de estudo.
- A metodologia estabelecida pelo MMA identifica os diversos valores do ISL e permite associar ao ISL a informação da localização dos diversos recursos biológicos e socioeconômicos na região de estudo.
- O método que é fundamentado no modelo aditivo linear. Fuzzy e o método AHP; pode auxiliar a tomada de decisão caso aconteça um derrame de óleo.
- O método AHP mostrou ser uma ferramenta de fácil manipulação para obtenção dos pesos, entretanto, outros métodos devem ser investigados.
- O fator de mangue mostrou ter um valor de igual importância. Utilizando a metodologia do MMA obtém-se um índice de sensibilidade ISL 10. A metodologia do AHP mostrou o fator de mangue de alta sensibilidade ante um possível derramamento de óleo.
- Os resultados da metodologia do MMA mostram a sensibilidade da linha de costa e as áreas onde se en-

contram os recursos biológicos e socioeconômicos os quais elevam a sensibilidade da linha de costa, mas cabe ao gestor tomar providências de que fatores (linha de costa) terão prioridade de proteção.

- A metodologia do AHP mostrou-se satisfatória na identificação das áreas de maior sensibilidade.

7. Referências citadas

- AL-RABEH, A.; LARDNER, R.; GUNAY, N.; KHAN, R.; HOSSAIN, M.; REYNOLDS, R. M. & W. J. LEHR. 1993. *On mathematical and empirical models for surface oil spill transport in the Gulf*. **Marine Pollution Bulletin**, (27): 71-77.
- BARROS FILHO, G. C. 2002. *Identificação dos processos físicos na hidrodinâmica das águas do entorno da Ilha de Vitória-ES*. Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado. 134 p.
- GUNDLACH, E. R.; C. H. RUBY; HAYES, M. O. & A. E. BLOUNT. 1978. *The Urquiola oil spill, La Coruña, Spain: impact and reaction on beaches and rocky coasts*. **Environmental Geology**, 2(3): 131-143.
- LANA, C. P. e M. A. NOERNBERG. 2002. *A sensibilidade de manguezais e marismas a impactos por óleo? Uma ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo*. **Geografres**, Vitória, (3): 109-122.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2002. *Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo*. Brasília-Brasil.
- MUEHE, D. 1994. Geomorfologia Costeira. In: **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 253-308. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro-Brasil.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2002. *Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 3*. NOAA Technical Memorandum Nos OR and R11. Hazardous Materials Response Division, National Ocean Service, Seattle, WA-USA.
- PAIVA, D. S. 1999, *Estudo sedimentológico do material de fundo do canal da passagem e trecho da baía de Vitória (ES)*. Curso de Especialização “Lato Sensu” em Ecologia e Recursos Naturais Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória-Brasil. Monografia de Especialização em Ecologia e Recursos Naturais.
- SAATY, T. L. 1970. *A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures*. **Journal of Mathematical Psychology**, 15(3): 234-281.
- SALOMONS, W.; TURNER, R. K.; de LACERDA, L. D. & S. RAMACHANDRAN. 1999. **Prespectives on Integrated Coastal Zone Management**. Springer-Verlag.