



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM ATAQUES DE TUBARÃO NO LITORAL DE PERNAMBUCO

Jean Farhat de Araújo da Silva

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

{jean.silva@inpe.br}

Milton Kampel

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

{milton@dsr.inpe.br}

Anderson Reis

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

{anderson.soares@inpe.br}

INTRODUÇÃO

Os tubarões são animais importantes para o controle ecológico do ambiente marinho, uma vez que o papel exercido por este ser vivo na cadeia alimentar a qual pertence, mantém um equilíbrio populacional dos demais níveis tróficos de determinado ecossistema (CAMHI et al., 1998). No entanto, quando há fatores que desequilibram as condições ecológicas e ambientais de seu habitat natural, é possível que estes tubarões recorram a outras localidades que venham a apresentar características ambientais favoráveis à sua adaptação (HAZIN, et. al., 2008).

No caso do Estado de Pernambuco (PE) a presença de tubarões pode estar relacionada a diversos fatores, tanto ambientais quanto antrópicos. A exemplo dos ambientais, compreende-se a temperatura da superfície do mar (TSM) e a concentração de clorofila-*a* na superfície do mar (CSM) tidos favoráveis a adaptação destes animais. Quanto aos antrópicos, destaca-se a construção do porto de Suape, repercutindo na modificação morfológica e estuarina da região. A construção do porto ocasionou uma diminuição na comunidade fitoplanctônica da região, o que pode ter sido um dos agentes desencadeadores para a ocorrência de altos índices de ataques de tubarão nos municípios localizados acima de Suape, principalmente o município de Recife (NEUMANN et. al., 1998).

Segundo o Comitê Estadual de Monitoramento de Incidentes com Tubarões (CEMIT), os municípios com registro de ataques de tubarão em Pernambuco no período de 1992 – 2013 são: Recife; Olinda; Jaboatão dos Guararapes; Cabo do Santo Agostinho, Paulista e Goiania, tendo Recife, com o maior número de acidentes (44,8%) totalizando 26 ataques registrados.

A presença de ataques de tubarão no litoral destes municípios apresenta riscos à saúde da população, uma vez que um ataque pode levar ao óbito. As principais espécies responsáveis pelos ataques de tubarão na região são: *Galeocerdo cuvier* popularmente conhecido como tubarão Tigre e *Carcharhinus leucas* conhecido também como tubarão Cabeça Chata (HAZIN. et.al., 2008).

Estas espécies costumam frequentar águas costeiras com temperaturas elevadas localizadas principalmente em regiões tropicais e subtropicais dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico (BASS et al. 1973; HEITHAUS, 2001). O tubarão Tigre pode ser encontrado em profundidades de até 350 metros, enquanto que Cabeça Chata não costuma viver em profundidades maiores que 30 metros (SZPILMAN, 2004).

Dentre os peixes que frequentam a costa nordeste brasileira e fazem parte dos níveis tróficos destes tubarões destacam-se: *Scomberomorus cavala*, popularmente conhecido como Cavala e *Centropomus undecimalis* popularmente conhecido como Robalo (SZPILMAN, 2004).

OBJETIVO

Analisar a influência das variáveis ambientais CSM e TSM para o habitat de tubarões na ocorrência de ataques nos municípios de Recife; Olinda; Jaboatão dos Guararapes; Cabo do Santo Agostinho e Paulista por meio de técnicas de geoprocessamento e dados de sensoriamento remoto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho corresponde a uma extensão litorânea de aproximadamente 50km no sentido de norte para sul abrangendo certos municípios de PE, são eles: Paulista, Olinda, Recife, Jaboatão dos Guararapes e Cabo Santo Agostinho. A área total compreende ao hemisfério austral com longitude 35°Oeste e latitude 8°Sul.

Para a elaboração deste trabalho, foi elaborado um banco de dados composto pelas seguintes fontes: CEMIT; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e *National Aeronautics and Space Administration* - NASA. Os dados provenientes do IBGE foram exclusivamente a base georreferenciada dos estados e municípios da federação. Os dados referentes aos ataques de tubarão no estado de Pernambuco foram produzidos e disponibilizados pelo CEMIT, tendo parte deste esforço sendo utilizado neste trabalho. Os produtos de TSM e CSM utilizados, foram imagens mensais com resolução espacial de 4km obtidas pelo sensor MODIS/Aqua do programa *Ocean Color*. Além dos dados descritos, utilizou-se também uma imagem orbital obtida em 03/2014

pelo sensor *Operational Land Imager* (OLI) do programa espacial *Landsat 8*, para representar a localização da área de estudo.

O fluxograma apresentado abaixo pela Figura 1 indica de maneira simplificada as etapas percorridas neste trabalho, partindo da obtenção dos dados disponíveis de ataques de tubarão, limites territoriais e imagens de CSM e TSM até a aplicação da lógica *fuzzy* sobre estas variáveis e espacialização das ocorrências de ataques, objetivando a obtenção de mapas de suscetibilidade a aparição de tubarões no litoral dos municípios estudados.

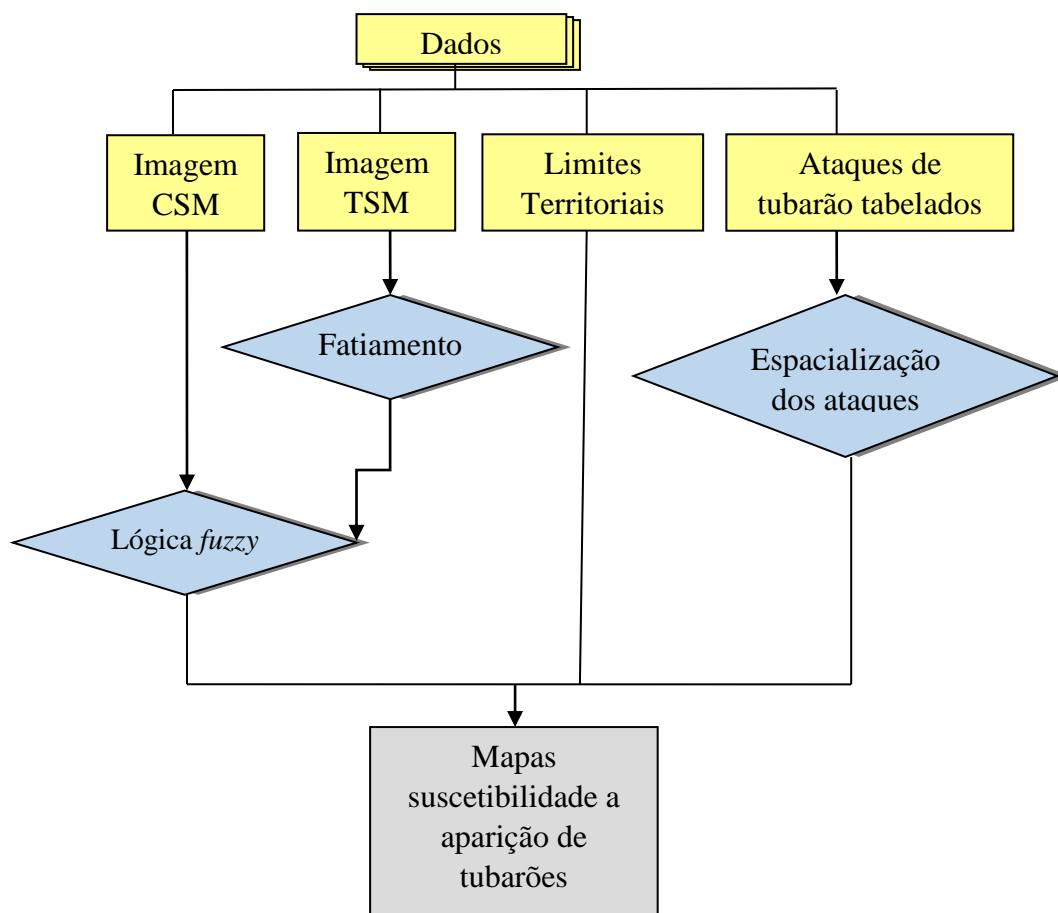


Figura 1 – Fluxograma da metodologia do trabalho.

Foram utilizados neste trabalho os ataques ocorridos no período entre 1997 a 2013, totalizando 37 ataques. Desse modo, para realizar a espacialização dos ataques de tubarão, foi levado em consideração as seguintes informações: Número do ataque; Atividade que a vítima realizava (banhista ou surfista); Praia/Município de ocorrência; Local de referência em terra e a data de ocorrência do ataque. Devido à ausência de

coordenadas geográficas associadas aos ataques de tubarão, realizou-se uma espacialização destes no *Google Earth* por meio de um endereçamento impreciso, considerando os locais de referência em terra, para a atribuição de coordenadas aos ataques de tubarão com base nas distâncias de ocorrência de ataques produzidas por Hazin, et al., (2008).

Para o endereçamento impreciso deste trabalho foram estimadas 3 distâncias para cada ataque (mínima, média e máxima) de acordo com o tipo de atividade das vítimas (banhista/surfista). Aos banhistas, foram atribuídas as distâncias de 30, 50 e 100 metros; e aos surfistas 100, 200 e 300 metros, inferindo que o surfista se infiltra mais a dentro do mar em relação ao banhista.

Na sequência, estes ataques foram importados ao *Software ArcGis 10.2* por meio da ferramenta *conversion tools KML to layer*, sendo representados pela feição vetorial de pontos. Feito isso, foi construída uma grade retangular e regular sob os pontos endereçados, partindo 500m de distância da costa em direção ao mar, contendo 25m² de área cada célula. O intuito da elaboração desta grade foi buscar inferir que o mesmo ataque poderia ter acontecido em mais de uma célula no espaço determinado, aumentando assim, a confiança sobre o endereçamento impreciso.

Após a elaboração da grade regular, foi aplicada uma álgebra de mapas com o operador de topologia de geo-objetos, verificando a intersecção entre os pontos dos ataques com as células da grade regular por meio da ferramenta *spatial join*, selecionando assim, as células com presença de ao menos 1 ponto que as intersectavam, mostrando que o ataque poderia ter ocorrido em mais de uma célula. Todo o procedimento pode ser visto na Figura 2 a seguir.

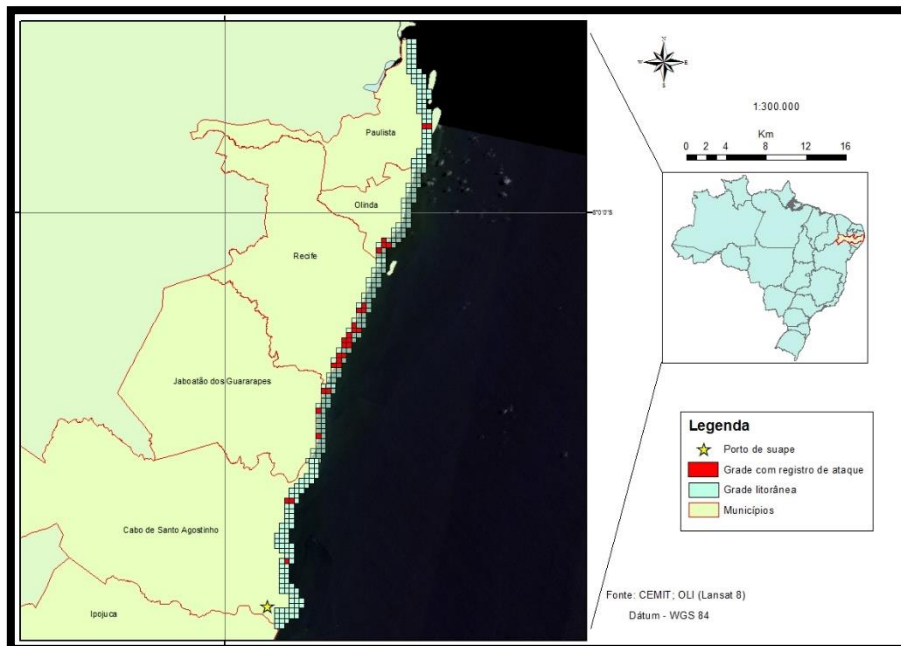


Figura 2 – Espacialização dos municípios selecionados; células com presença de ataques de tubarão em vermelho e a grade regular litorânea em azul. Fonte: CEMIT e OLI.

Os dados obtidos por sensoriamento remoto foram 4 imagens médias mensais (climatológicas) de CSM e TSM, compreendidas pelos meses de Julho e Fevereiro por serem os meses de maior e menor quantidade de ataques de tubarão registrados no Estado de Pernambuco respectivamente. As imagens de TSM foram referentes ao período de 2002 até 2015, de modo que as imagens de CSM compreenderam o período de 2003 até 2015.

Para que fosse possível observar os dados ambientais de forma integrada, as imagens de TSM para o mês de Fevereiro foram fatiadas em 3 isolinhas (28°C, 28,5°C e 29°C), enquanto que o mês de Julho estabeleceu-se 5 isolinhas (26°C; 26,5°C; 26,75°C; 27°C e 27,5°C).

A lógica *fuzzy* foi aplicada neste trabalho com o intuito de elaborar mapas de suscetibilidade a presença de tubarão para as imagens médias de CSM e TSM, para os meses de Fevereiro e Julho na área de estudo. Para esta análise, adotou-se o grau de pertinência linear com o operador AND, devido ao interesse em adquirir um produto mais restritivo, uma vez que este operador realiza a saída controlada pelo menor valor de pertinência. A equação 3.1 ilustra este procedimento.

$$U_{A \cap B} = \min(U_A, U_B) \quad (3.1)$$

Onde: A função da associação de interseção entre dois conjuntos difusos A e B é definida como o mínimo de duas funções de adesão individual.

Para o início de deste procedimento, foi necessário realizar uma normalização das imagens de TSM e CSM, estabelecendo os valores próximos de 26°C e 4 mg/m³ como favoráveis a aparição de um tubarão no litoral pernambucano, e 29°C e 0,03 mg/m³ como desfavoráveis a aparição do animal. Atribuindo o número 1 aos valores favoráveis e 0 para os desfavoráveis, por meio do uso da ferramenta *fuzzy membership*.

Na sequência, utilizou-se a ferramenta *fuzzy overlay* para sobrepor os valores de CSM com os de TSM, atribuindo assim o menor valor de pertinência dessas variáveis para o mapa de saída. A partir disso, realizou-se um fatiamento desses novos produtos, com o objetivo de classificar os pixels em áreas maior e menor suscetibilidade a aparição de tubarões, como pode ser visto na Tabela 1 abaixo.

Valores dos Pixels	Níveis de Suscetibilidade
0 – 0,2	Muito Baixo
0,2 – 0,4	Baixo
0,4 – 0,6	Moderado
0,6 – 0,8	Alto
0,8 – 1	Muito Alto

Tabela 1 – Níveis de suscetibilidade potencial a presença de tubarões segundo os dados ambientais utilizados.

4. RESULTADOS

Como resultado deste trabalho obtiveram-se 2 mapas referentes a sobreposição das imagens médias de CSM e TSM referentes aos meses de Fevereiro e Julho, somadas aos pontos de ataques de tubarões espacializados, como pode ser observado na Figura 3 e Figura 4. Assim como, a observação de áreas com maiores e menores níveis de suscetibilidade a presença de tubarões, o que pode repercutir na ocorrência destes ataques, como pode ser visto na Figura 5 e Figura 6.

Com base na Figura 3, observa-se que durante o mês de Fevereiro, houve um predomínio de temperaturas entre 29°C a 28,5°C, assim como, uma pequena

concentração de CSM com valores próximos a 4 mg/m^{-3} na região costeira onde ocorreram os ataques, apresentando possivelmente, uma menor oferta de alimentos em decorrência da elevada temperatura da superfície da água oceânica.

Analisando a Figura 4, observa-se que houve uma maior variação da TSM com predomínio de $26,75^\circ\text{C}$ e $26,5^\circ\text{C}$ próximo a costa, aumentando por sua vez, a quantidade de pixels de CSM com valores próximos a 4 mg/m^{-3} nesta área, indicando possivelmente, que durante essa época do ano a presença de tubarões possa ter sido maior em relação ao mês de Fevereiro, por ter uma maior oferta de alimentos em decorrência da queda da TSM.

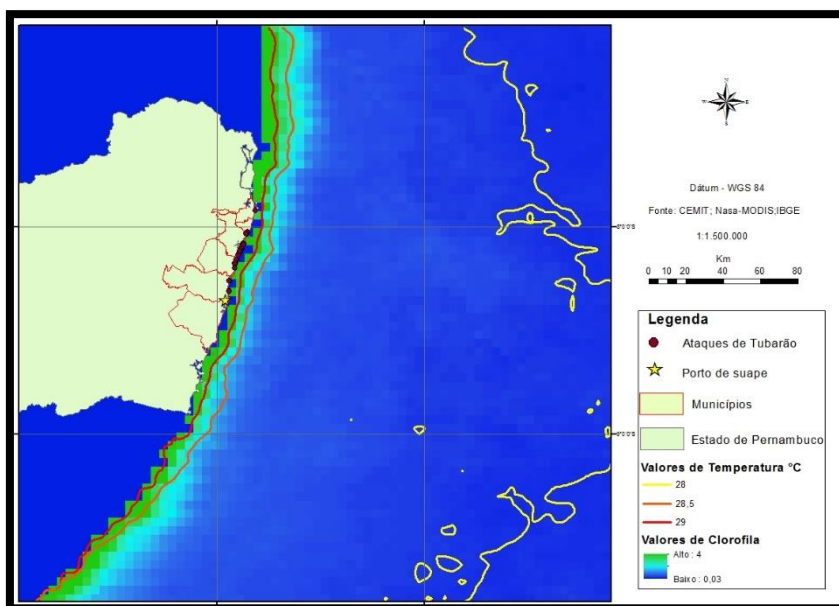


Figura 3 – Dados CSM e TSM sobrepostos, no mês de Fevereiro com isolinhas de TSM variando entre 28°C , $28,5^\circ\text{C}$ e 29°C e valores de CSM variando de $0,003$ a 4 mg/m^3 .

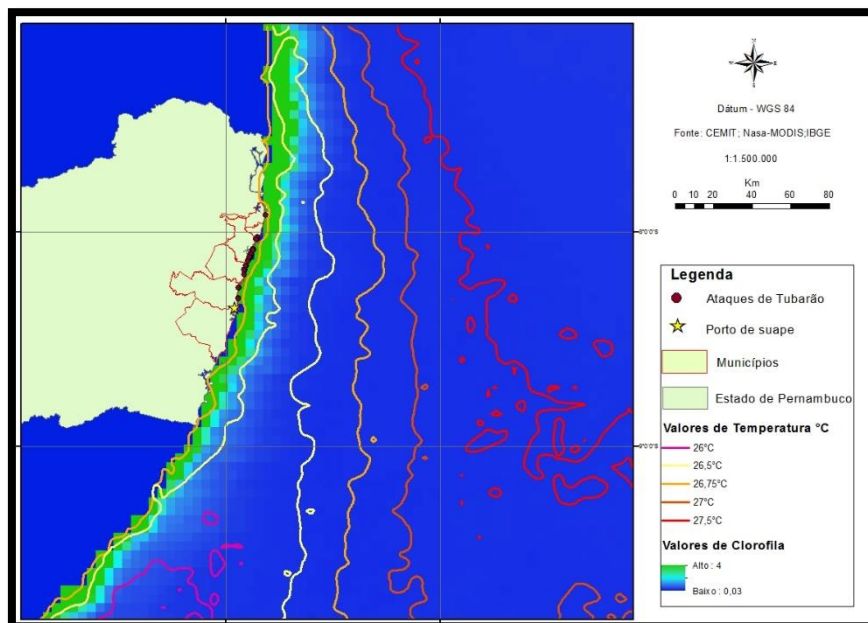


Figura 4 – Dados de CSM e TSM sobrepostos, no mês de Julho, com isolinhas de TSM variando entre 26°C; 26,5°C; 26,75°C; 27°C e 27,5°C e valores de CSM variando de 0,003 a 4 mg/m³.

Ao observar a Figura 5, conclui-se que o mês de Fevereiro apresentou predomínio de valores muito baixos de áreas com potencial a presença de tubarão no litoral pernambucano, possivelmente pelo fato da alta temperatura e baixa concentração de CSM, apresentando valores distantes aos estabelecidos na normalização como ideais (26°C e 4 mg/m³) pela lógica *fuzzy*, com apenas 1 pixel apresentando condições de baixa suscetibilidade localizado no litoral de Recife próximo ao rio Capibaribe.

Analisando a Figura 6, observa-se que Julho apresentou maior variabilidade de áreas com potencial a presença de um tubarão em relação a Fevereiro, principalmente em localidade próximas a Olinda, Cabo Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes e Recife apresentando pixels com alta e moderada suscetibilidade, onde provavelmente os valores de CSM e TSM foram favoráveis a presença de tubarões segundo os critérios adotados como ideais na normalização da lógica *fuzzy*.

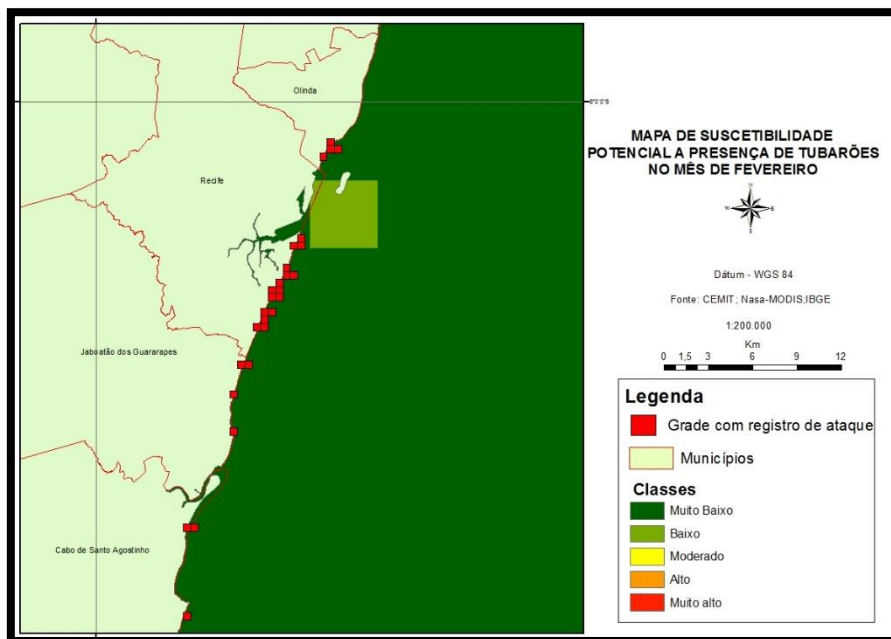


Figura 5 – Aplicação da lógica *fuzzy* sobre as imagens de CSM e TSM no mês de Fevereiro, com a grade dos ataques de tubarões espacializada.

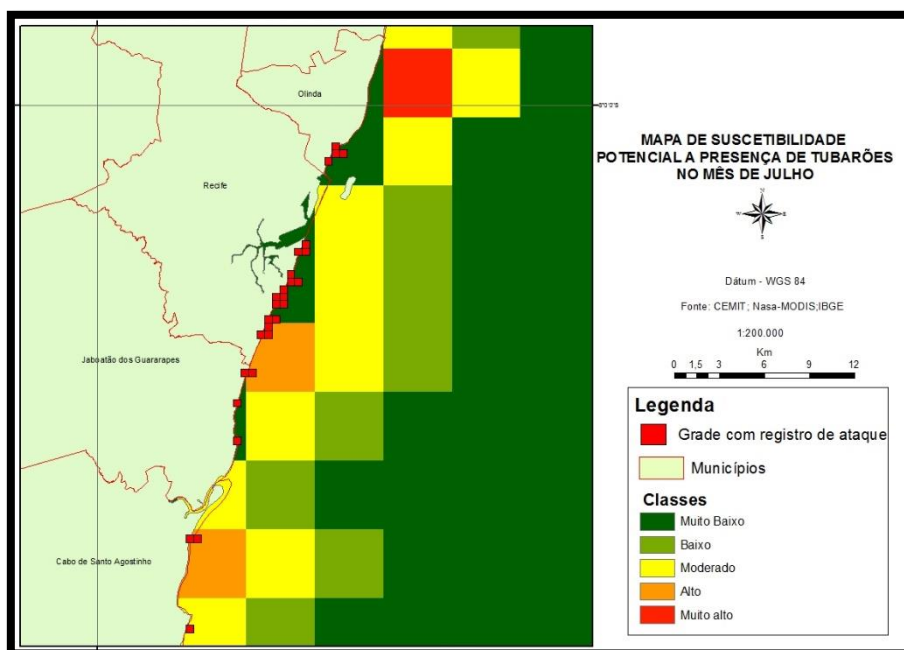


Figura 6- Aplicação da lógica *fuzzy* sobre as imagens de CSM e TSM no mês de Julho, com a grade dos ataques de tubarões espacializada.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que, o litoral dos municípios do Estado de Pernambuco estudados, apresenta condições ambientais favoráveis à habitação das espécies de tubarões analisadas em determinadas épocas do ano, sendo os municípios de Recife, Jaboatão dos Guararapes, Cabo do Santo Agostinho e Olinda dotados de maiores registros de ocorrência de ataques. Tendo o mês de Julho com maior suscetibilidade a presença de tubarões próximos à costa, em relação ao mês de Fevereiro. Para uma análise mais exploratória deste tema, seria interessante realizar um recorte maior da área de estudo partindo da costa pernambucana ao mar, verificando como se dão tais condições ambientais em regiões oceânicas, atribuindo inclusive, uma análise referente a outros aspectos ambientais como batimetria, campos de vento e turbidez da água.

Observou-se neste trabalho que dados de sensoriamento remoto, integrados as diversas técnicas de geoprocessamento podem ser aplicados como ferramentas úteis para o monitoramento da presença de tubarões, servindo como subsídio a prevenção de áreas de risco aos turistas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALDRIDGE. H. **Shark Attack: A Program of Data Reduction and Analysis.** Flórida, 1974. p.99.
- BASS, A. J., D'AUBREY, I. D. and N. KISTNASAMY 1973- **Sharks of the east coast of southern Africa. 1. The genus Carcharhinus (Carcharhinidae).** Investl Rep. oceanogr. Res. Inst. S. Afr: 33: p.168.
- CAMHI, M., FOWLER, S., MUSICK, J., BRÄUTIGAN, FORDHAN, S. **Sharks and their relatives. Ecology and Conservation. Occas. Paper of the IUCN Species Survival Commission**, v. 20, 1998. p.39.
- HAZIN. F, Burgues. G, Carvalho. Felipe. **A Shark Attack Outbreak off Recife ,Pernambuco , Brazil: 1992–2006. BULLETIN OF MARINE SCIENCE**, 82(2): 199–212, 2008.
- HEITHAUS, M. R. **The biology of tiger sharks, Galeocerdo cuvier, in Shark Bay, Western Australia: Sex ratio, size distribution, diet, and seasonal changes in catch rates. Environm. Biol. Fishes**, v. 61, 2001. p. 25-36.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).** Website oficial, 2015. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/>> Acesso em: 14 Mai. 2015
- NEUMANN, V. H., C. Medeiros, L. Parente, S. Neumann-Leitao, and M. L. Koenig. 1998. **Hydrodinamism, sedimentology, geomorphology and plankton changes at Suape**



área (Pernambuco-Brasil) after portcomplex implantation. **An. Acad. Bras. Ci.** 70: 313–326.

MC PHERSON, G. Shark control operations, Mogadishu, Somalia. Overseas trip report UNOSOM (United Nations Operation Somalia). **Northern Fisheries Centre**. Cairns, Australia, 1994. p.16.

SZPILMAN. M. **Tubarões do Brasil**, MAUAD Editora, Rio de Janeiro, 2004, p.160.