

Detecção e Monitoramento de Óleo através da Utilização Integrada de Imagens de Satélite, Verificações de Campo e Modelagem de Deriva de Óleo: Uma Abordagem Operacional

Patrícia Genovez ¹
Felipe Leonardo Barbosa Palmeira ¹
Cristina Maria Bentz ²

¹ PETROBRAS/Exploração & Produção/US-AP – Controle de Contingências
Av. Amaral Peixoto, 11000, Imboassica - 27913-350 - Macaé - RJ, Brasil
{genovez.sampling; felipepalmeira.APPLIED_SCIENCE }@petrobras.com.br

² PETROBRAS/CENPES - Centro de Pesquisas
Cidade Universitária, Q.7, Ilha do Fundão – 21949-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
cris@petrobras.com.br

Abstract. PETROBRAS has been using satellite images acquired by multiple sensors, *in situ* verification on board aircrafts and Oil Spill Modeling for its sea surface monitoring program at the Campos, Santos and Espírito Santo basins, southeastern Brazilian coast. Ocean color (MODIS), thermal infrared (NOAA/AVHRR), scatterometer (QuikSCAT) and Synthetic Aperture Radar (RADARSAT-1, RADARSAT-2 and ASAR/ENVISAT) data were integrated in order to detect and characterize different sorts of marine pollution and meteo-oceanographic phenomena. The near real time processing and delivery of the SAR data integrated with *in situ* verification and Oil Fates and Trajectory Modeling System (OILMAP) are strategic tools for planning response actions during oil spills events. The integrated analysis of these dataset presents an important decision tool for emergencies, as well for the elaboration of contingency plans and evaluation of the oil industry activity impacts.

Palavras-chave: synthetic aperture radar, remote sensing, aerial inspections, oil spill modeling, radar(es) de abertura sintética, sensoriamento remoto, inspeções aéreas, modelagem de deriva de óleo

1 – Introdução:

A PETROBRAS possui um sistema de monitoramento costeiro e oceânico voltado para a detecção de possíveis acidentes envolvendo derramamento de óleo no mar nas Bacias de Campos, Santos e Espírito Santo. A operacionalização deste sistema é responsabilidade da gerência de Controle de Contingência em parceria com o Centro de Pesquisas da PETROBRAS (CENPES), o qual fornece apoio técnico e científico à atividade. Imagens de satélite provenientes de sensores remotos operando em diferentes faixas do espectro eletromagnético, verificações de campo e modelagem de deriva de óleo no mar são utilizados de maneira integrada.

Dentre os recursos orbitais disponíveis, imagens SAR¹ têm sido utilizadas desde 2001 e constituem a principal fonte de dados para detecção de óleo no mar devido à possibilidade de fornecimento em tempo próximo do real, bem como, à capacidade de cobrir extensas áreas adquirindo imagens durante o dia ou à noite sem interferência de nuvens (Genovez *et al.*, 2007; Bentz *et al.*, 2005; Fingas & Brown, 2005; Bentz e Miranda, 2001).

Nas imagens de RADAR em áreas oceânicas, a intensidade do sinal de retorno resulta do retroespalhamento superficial produzido por ondas centimétricas geradas pela ação dos ventos (Genovez *et al.*, 2007; Bentz *et al.*, 2005; Brekke & Solberg, 2005). A presença de óleo ou outros fenômenos que reduzem a rugosidade superficial e atenuam o sinal retroespalhado produzem feições escuras nas imagens de RADAR. Florescimento de algas, óleos biogênicos, plumas de ressurgência, áreas com baixa intensidade de vento, plumas de sedimentos em suspensão, células de chuva, dentre outros, constituem exemplos de feições passíveis de

¹ SAR: Synthetic Aperture RADAR

serem confundidas com óleo, originando falsos alarmes (Bentz *et al.* 2006; Angiuli *et al.*, 2006; Bentz *et. al.*, 2005; Alpers & Espedal, 2004).

As imagens de RADAR permitem monitorar a área, o deslocamento e a fragmentação de manchas de óleo ao longo do tempo, todavia, não fornecem informações quantitativas sobre a espessura e os tipos de óleo derramados. Para complementar os dados obtidos a partir das imagens, verificações de campo são realizadas rotineiramente. Nestas verificações, a avaliação visual e a realização de amostragem, quando necessário, das manchas suspeitas, permite um melhor planejamento e coordenação das ações de resposta.

No entanto, estas verificações não podem ser executadas à noite ou com situações meteorológicas adversas. Assim, para suprir a ausência de dados *in situ* ou imagens de RADAR, bem como, para a previsão da evolução dos eventos, foi implementada a utilização do *software* OILMAP (ASA, 1999). Além de fornecer a deriva das manchas de óleo em emergências reais e simuladas, estimando a trajetória das manchas e as áreas a serem atingidas pelo óleo, o software tem sido utilizado para orientar as rotas de sobrevôos a partir de suspeitas detectadas nas imagens de RADAR.

O estudo de caso realizado pretende evidenciar como a utilização integrada de imagens de satélite provenientes de diferentes sensores, verificações de campo e modelagem de deriva de óleo no mar contribuem de maneira estratégica o processo de tomada de decisão em emergências ambientais visando o combate a derramamentos de óleo no mar.

2 - Sistema de Monitoramento Costeiro e Oceânico: Fluxo de Dados e Operações

O sistema de monitoramento operante tem como principais etapas: a) detecção de alvos escuros em imagens de RADAR; b) emissão de alerta e verificação de campo, e; c) planejamento e coordenação de ações de resposta, visando o combate a derramamentos de óleo no mar.

Detecção de alvos escuros: Esta etapa consiste na interpretação visual das imagens de RADAR com o objetivo de identificar regiões escuras na imagem passíveis de ser óleo. A presença de feições com resposta semelhante ao óleo nas imagens de RADAR pode induzir interpretações equivocadas (Bentz *et al.*, 2005). Com o objetivo de reduzir a subjetividade e a notificação de falsos alarmes são utilizados dados meteo-oceanográficos tais como: a) Concentração de Clorofila-a (MODIS/Aqua); b) Temperatura na Superfície do Mar (AVHRR/NOAA); c) Intensidade e Direção do Vento (SeaWinds/QuikSCAT), e; d) Precipitação (GOES). Estes dados são interpretados de maneira integrada com as imagens de RADAR, fornecendo informações auxiliares para elucidar a provável natureza das feições identificadas (Bentz *et al.*, 2005). Outras informações como posicionamento de plataformas, embarcações, dutos submarinos, dados de vento e corrente medidos *in situ*, dentre outros são integradas às imagens em um SIG².

Emissão de alerta e verificação de campo: Caso um alvo escuro seja interpretado como uma feição suspeita de óleo ou como uma feição duvidosa, uma verificação de campo a bordo de aeronave será acionada a fim de elucidar a natureza das feições. As verificações de campo permitem estimar visualmente o volume e a área das manchas, bem como, avaliar a criticidade do cenário acidental. A rota destas verificações é traçada em função das coordenadas geográficas identificadas nas imagens de RADAR e, quando possível, estimadas por modelagem de deriva de óleo.

² Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Planejamento e coordenação de ações de resposta: Finalmente, confirmada uma ocorrência de óleo é necessário planejar e executar as operações de combate ao óleo. Nesta etapa, além das verificações de campo e da aquisição máxima de imagens de satélite, a integração de um modelo numérico de deriva de óleo constitui informação estratégica. Modelagens de Deriva de Óleo permitem estimar a trajetória, o tempo de deslocamento e a geometria de dispersão das manchas, indicando as áreas que podem ser atingidas pelas manchas de óleo, possibilitando o planejamento e a execução de ações preventivas nas áreas indicadas como prováveis pontos de alcance para o óleo. A Figura 1 ilustra as etapas do sistema de monitoramento, juntamente com os insumos necessários em cada uma das etapas descritas.

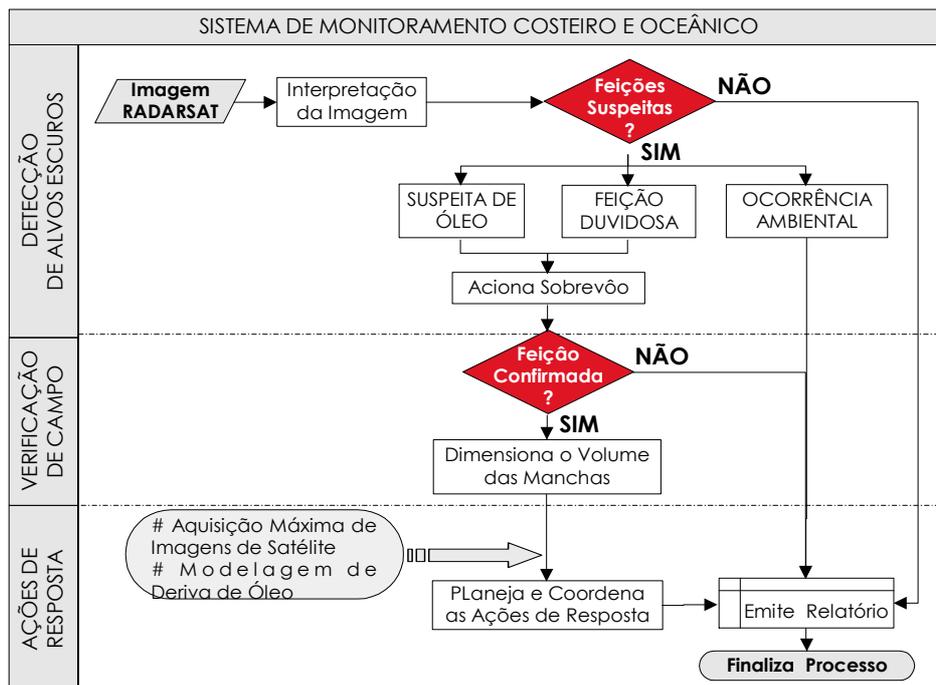


Figura 1 – Fluxograma das etapas envolvidas no processo de monitoramento costeiro e oceânico.

3 – Recursos Utilizados e Metodologia

Os recursos utilizados para elaborar o estudo de caso foram: a) 2 imagens RADARSAT-1 nas datas 04/03/2006 (05:10h) e 06/03/2006 (18:17h), ambas adquiridas no modo *ScanSAR Narrow* com resolução espacial de 50m, largura de faixa de 300km, polarização *HH* entregue em 8 bits; b) verificações de campo a bordo de helicópteros, e; c) modelagens de deriva de óleo realizadas no *software* OILMAP, desenvolvido pela *Applied Science Associates, Inc.* (ASA).

As imagens RADARSAT foram interpretadas em um SIG e as coordenadas geográficas dos alvos escuros detectados, bem como, a área destas feições foi calculada. A disponibilidade de imagens meteo-oceanográficas correspondentes as datas das imagens de RADAR foi verificada, todavia não haviam dados disponíveis nas datas de interesse. A fim de verificar a aplicabilidade operacional da previsão da trajetória de manchas de óleo no mar fornecida por modelagem de deriva de óleo, foram realizadas duas modelagens no *software* OILMAP, utilizando como informações de entrada dados extraídos da interpretação das imagens de RADAR e dos sobrevôos de inspeção ambiental.

O *software* OILMAP utiliza como parâmetros de entrada, além de dados de vento e de corrente, informações específicas sobre o vazamento tais como: a) coordenadas geográficas

da ocorrência; b) data, hora e duração do vazamento; c) tipos de óleo componentes da(s) mancha(s); d) volume da(s) mancha(s), e; e) duração da simulação. Os dados referentes aos itens a e b foram extraídos das imagens de RADAR, sendo a duração do vazamento considerada instantânea por tratar-se de um descarte de navio. Os tipos de óleo componentes da(s) mancha(s) foram identificados em campo através de sobrevôos. Considerando a área das manchas e o percentual dos diferentes tipos de óleos componentes da(s) mancha(s), o volume foi estimado utilizando um ábaco que fornece, para cada coloração dos tipos de óleo componentes da(s) mancha(s), uma espessura e um volume correspondente por área dimensionada (ITOPF, 2001).

Os campos de ventos foram gerados pela CLIMATEMPO e baseiam-se no modelo numérico denominado MM5 (*Mesoscale Modeling System*). Os campos de correntes foram gerados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e baseiam-se no modelo numérico denominado POM (*Princeton Ocean Model*) desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987).

A primeira modelagem considerou o intervalo do dia 04/03 (05:10h) – data/hora da primeira imagem - ao dia 06/03 (18:17h) – data/hora da segunda imagem, totalizando um período de 61h e 7min. O volume calculado pelo método descrito foi estimado em 49m³, sendo o tipo de óleo considerado o “*light crude oil*”. A segunda modelagem considerou o intervalo do dia 06/03 - data/hora da segunda imagem - ao dia 09/03/2006 (18:17h) – data das últimas notificações de manchas de óleo atingindo a costa, totalizando um período de 72h e 7min. O volume foi recalculado com base nos dados fornecidos pelo OILMAP, sendo estimado em 5m³.

Os dados obtidos através de verificações de campo, fornecendo a localização e as datas das manchas de óleo detectadas em alto mar e das praias atingidas por óleo, foram comparados com as manchas identificadas nas imagens de RADAR e com as trajetórias estimadas para as manchas de óleo fornecidas pelo OILMAP. A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada no estudo de caso realizado.

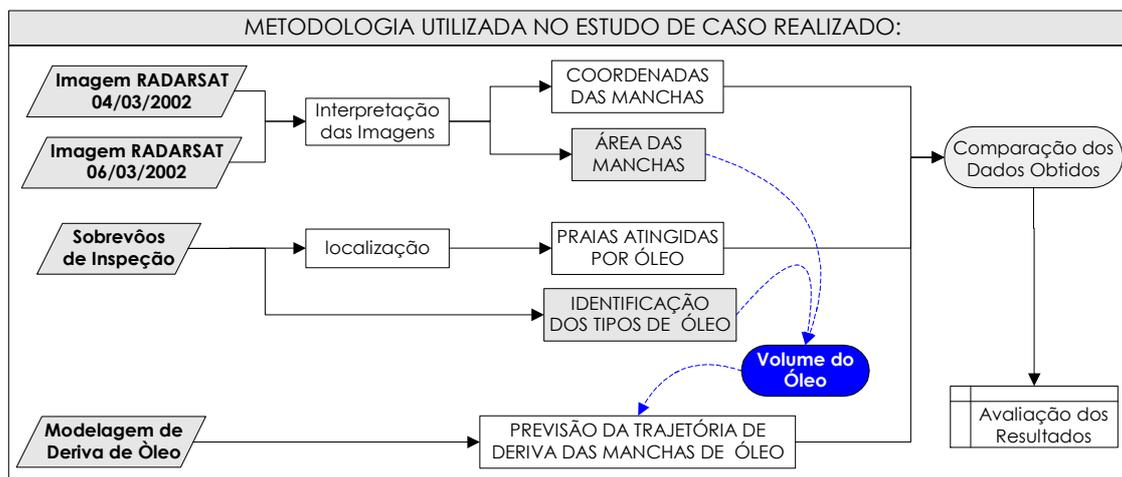


Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada no estudo de caso realizado.

4 – Estudo de Caso: Resultados e Discussões

Como resultado da interpretação da imagem RADARSAT-1 adquirida no dia 04/03/2006 as 05h e 10min foi identificado um alvo escuro próximo à Ilha de Santana em Macaé-RJ com geometria típica de um descarte de navio. Um sobrevôo de inspeção ambiental foi acionado, confirmando no mesmo dia a ocorrência do descarte de navio proveniente de navio estrangeiro na costa brasileira. Após um intervalo de 61h e 7min foi possível observar a deriva, a fragmentação e a dispersão desta mancha na imagem RADARSAT-1 adquirida no

dia 06/03/2006 às 18h e 17min. Esta imagem evidenciou o deslocamento das manchas na direção Sudoeste aproximando-se da costa de Búzios e seguindo em direção a Arraial do Cabo. A Figura 3 apresenta: a) um recorte das cenas RADARSAT-1 com os alvos escuros observados; b) a sobreposição das feições observadas nas duas imagens, e; c) fotografias adquiridas durante sobrevôo realizado no dia 04/03, evidenciando o descarte de navio.

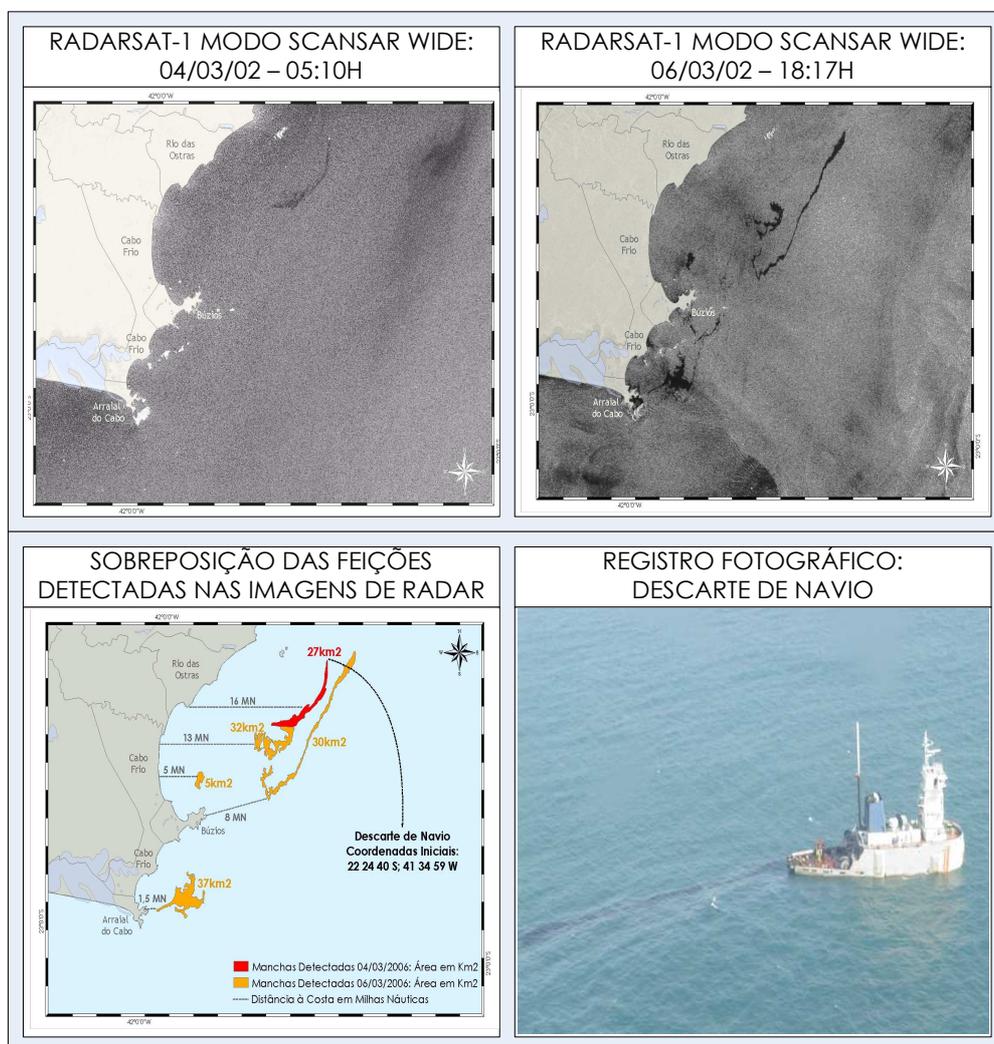


Figura 3 - Recorte das imagens RADARSAT-1 adquiridas, mapa com a sobreposição das feições observadas e fotografia do descarte de navio adquirida durante inspeção de campo.

As primeiras notificações de que manchas de óleo haviam atingido a costa foram obtidas no dia 07/03, a partir desta data diversas praias localizadas em Búzios, Arraial do Cabo e Cabo Frio foram atingidas, confirmando o deslocamento das manchas indicado pelas imagens de RADAR. O Controle de Contingência atuou fornecendo equipe técnica treinada para realizar operações de limpeza em ambientes costeiros atingidos por óleo. Durante todo o período de operação inspeções aéreas foram realizadas nas áreas de atuação com o objetivo de monitorar as manchas, auxiliando no planejamento e no acompanhamento das ações de resposta em terra e em mar.

As previsões para a trajetória de deslocamento das manchas de óleo realizadas no OILMAP apresentaram comportamento semelhante ao observado nas imagens de RADAR, indicando que as manchas poderiam atingir o litoral de Búzios (primeira modelagem), Cabo Frio e Arraial do Cabo (segunda modelagem). Estas estimativas foram confirmadas pelas verificações de campo que identificaram óleo nas praias indicadas pelo modelo como

suscetíveis a serem atingidas pelo óleo. A Figura 4 contém os resultados obtidos pelas duas modelagens realizadas no *software* OILMAP e o mapa resultante da integração das informações extraídas das imagens de satélite, das verificações de campo e das modelagens de deriva de óleo.

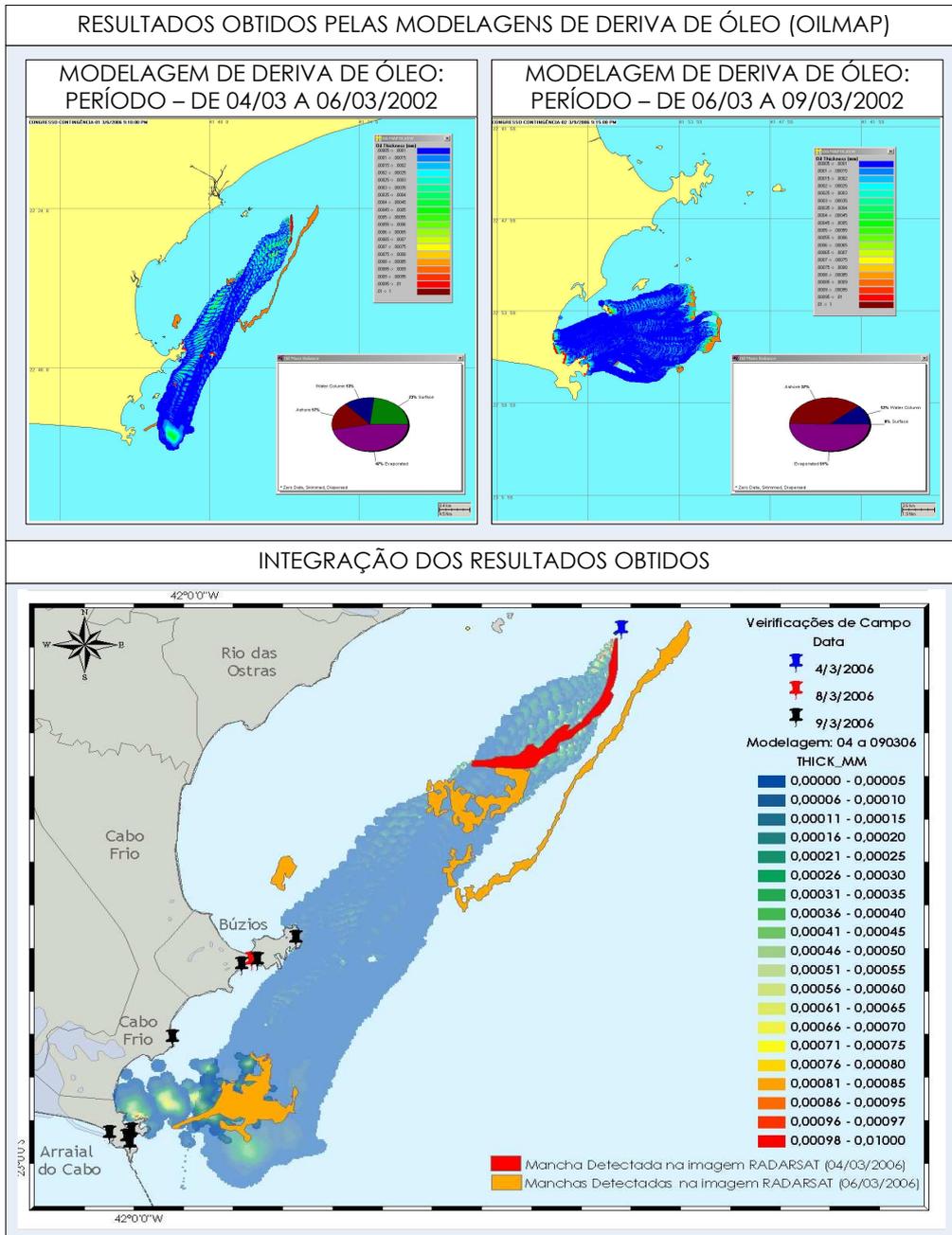


Figura 4- Resultados obtidos pelas duas modelagens realizadas no *software* OILMAP e integração das imagens de satélite, verificações de campo e modelagens de deriva de óleo.

Os resultados mostram que a deriva estimada para a mancha do dia 04/03 segue o mesmo comportamento da deriva observada na imagem de RADAR do dia 06/03. O último posicionamento da mancha fornecido pela primeira modelagem coincide com o posicionamento da mancha identificada no RADAR no dia 06/03 próxima a Arraial do Cabo. Os dados de campo sintetizados no mapa por data mostram que grande parte da linha da costa indicada como suscetível a ser atingida pelo óleo pelas modelagens foi de fato atingida. A Figura 5 disponibiliza registro fotográfico das verificações de campo realizadas nas operações de monitoramento e combate ao óleo nas praias atingidas.



Figura 5 – Fotografias adquiridas durante verificações de campo realizadas nas operações de monitoramento e combate ao óleo nas praias atingidas.

Os resultados evidenciaram o potencial estratégico que a utilização integrada de modelagens de deriva de óleo, imagens de satélite e dados de campo pode oferecer durante as operações de resposta. O mapeamento das áreas com maior risco de serem atingidas pelo óleo possibilita o planejamento prévio das estratégias de proteção e de limpeza, visando minimizar os impactos ambientais podendo, em alguns casos, impedir que o óleo atinja estas áreas. Especialmente em áreas críticas, de difícil acesso e/ou com altos índices de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo, a possibilidade de planejar com antecedência os recursos e as estratégias de prevenção assume maior importância.

5 – Conclusões e Perspectivas Futuras

A utilização de imagens de RADAR tem demonstrado eficiência para o monitoramento sistemático de grandes extensões costeiras e oceânicas. RADARs orbitais possibilitam a aquisição de imagens noturnas, período em que não é possível realizar sobrevôos de inspeção e operações de combate nas áreas monitoradas, fornecendo uma visão sinótica de diferentes fenômenos como vazamentos de óleo e/ou eventos meteo-oceanográficos diversos.

As verificações de campo são essenciais, fornecendo possibilidade diária de verificação das áreas de interesse durante o dia, maleabilidade para sobrevoar a ocorrência em diferentes altitudes e, fundamentalmente, capacidade para identificar os diferentes tipos de óleo componentes das manchas possibilitando o cálculo do volume de óleo.

O estudo de caso realizado evidenciou a importância da utilização integrada dos produtos de sensoriamento remoto, verificações de campo e modelagem de deriva de óleo para o planejamento das ações de resposta e para o combate a derramamentos de óleo no mar. As imagens de RADAR evidenciaram a localização e o deslocamento das manchas de óleo, direcionando as verificações de campo, as quais confirmaram as suspeitas detectadas nas imagens. Por sua vez, as verificações de campo forneceram os dados necessários para a realização das modelagens de deriva de óleo. As modelagens realizadas apresentaram resultados válidos, seguindo a mesma tendência de deslocamento das manchas identificadas nas imagens de RADAR, bem como, indicando áreas de toque na costa confirmadas pelas verificações de campo. O planejamento e a implementação prévia de estratégias de proteção em áreas que apresentam risco de serem atingidas pelo óleo constitui uma importante contribuição da modelagem de deriva de óleo, evidenciada pelo estudo de caso 2.

Desta forma, apesar das limitações inerentes a cada uma das tecnologias utilizadas, o trabalho evidenciou os ganhos da utilização integrada destas ferramentas nas 3 etapas que compõe o sistema de monitoramento operante no Controle de Contingência.

Dentre as perspectivas futuras vislumbradas no âmbito do sensoriamento remoto, podemos citar: a) o aumento da aquisição de imagens de RADAR através da instalação de uma antena para recepção de imagens do satélite ENVISAT/ASAR no INPE de Cachoeira Paulista – SP; b) a utilização de RADARs instalados em aeronaves; c) a verificação da eficiência de RADARs instalados em embarcações nas operações de recolhimento de óleo no mar; d) a utilização de sensores hiperespectrais para a detecção de óleo no mar; e) o desenvolvimento e a utilização um sistema de detecção automático de óleo em imagens de RADAR, dentre outros.

Referências Bibliográficas:

- Applied Science Associates, Inc. (ASA). OILMAP Technical and User's Manuals, Narragansett, RI, 55pp, 1999.
- Alpers W. Espedal H. A. Oils and Surfactants. Chapter 11 in Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual, Organized by Jackson C. R. & Apel J. R., National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, 2004.
- Angiuli E., Frate F., Salvatori L. Neural Networks for oil spill detection using ERS and ENVISAT imagery, 2006 (online) <http://earth.esa.int/workshops/seasar2006/proceedings/papers/s5_4_ang.pdf>, acesso novembro 2006.
- Bentz, C.M.; Politano, A.T.; Genovez, P.C; A.T. Miranda, R.S.P. "Offshore Oil Spill Detection and Monitoring in E&P Areas – An Operational Multi-Sensors Approach". *Anais*, Eighth International Conference On Health, Safety and Environment, Abu Dhabi - UAE, Abril de 2006.
- Bentz, C., Politano, A., Spindola, R., Genovez, P, A *Multi-Sensor Approach for Oil Spill and Sea Surface Monitoring in Southeastern Brazil*, Halifax, Nova Scotia Canada. Proceedings of the 8th International Conference on Remote Sensing for Marine Environments, 2005.
- Bentz, C.M. and Miranda, F.P., Application of Remote Sensing Data for Oil Spill Monitoring in The Guanabara Bay, Rio De Janeiro, Brazil. Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'2001), Sydney, IEEE, Piscataway, USA, 2001.
- Brekke C., Solberg A. H. S. oil spill detection by satellite remote sensing – Review. *Remote Sensing of Environment* (95), pp 1-13, 2005.
- Blumberg, A.F. & Mellor, G.L., 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: Heaps (ed.), *Coastal and Estuarine Sciences 4: Three-dimensional Coastal Ocean Models*. American Geophysical Union, pp. 1-16.
- Fingas M.F., Brown C.E. Review Of Oil Spill Remote Sensing Presented at the Eighth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Halifax, Nova Scotia, May 2005.
- Genovez P. C., Politano A. T., Bentz C. M. Utilização de Imagens ENVISAT para a Detecção e Monitoramento de Acidentes Ambientais: Uma Abordagem Operacional. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Abril de 2007.
- Solberg A. Automatic Detection and Estimating Confidence For Oil Spill Detection in SAR Images. 2005.