

Monitoramento ambiental em área offshore da bacia Potiguar (RN) através de imagens do sensor MODIS integrado a dados in situ de temperatura da superfície do mar (TSM) e de clorofila-a

Márcia Franco Machado¹; Venerando Eustáquio Amaro^{1,2}; Milton Kampel³; Anderson Targino da Silva Ferreira²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

²Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica/CCET
Campus Universitário. Caixa Postal 1584, Natal /RN.

marciafmachado@yahoo.com.br; amaro@geologia.ufrn.br; andersontargino@hotmail.com

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Caixa Postal 515 – 12201-970 – São José dos Campos – SP, Brasil.

milton@dsr.inpe.br

Abstract: Lately several works objectifying to fulfill information blanks on Brazil's Northeast Continental Shelf have been made. Specifically in Rio Grande do Norte State many studies have characterized its geological and morphological aspects. The study area is inserted in the offshore site on the Potiguar Basin. Physical and chemical references in this study were obtained through systematic in situ collect in order to monitoring the environment offshore area accompanied by MODIS (Moderate Resolution of Imaging Spectroradiometer) images acquisition for May/2004 and May/2007 comparison. These data are based on multitemporal aspects related to the sea surface temperature (SST) and to chlorophyll-a in sea water surface. Investigate stage is related to environmental sensitivity indexes for the area with the purpose of getting long time series patterns in case of oil spill accident.

Key: Chlorophyll-a, Sea surface temperature, MODIS, Clorofila-a, temperatura da superfície do mar.

1-Introdução e Objetivos:

O sensoriamento remoto orbital tem sido utilizado como ferramenta vantajosa na melhoria do conhecimento sobre os aspectos hidrodinâmicos e oceanográficos na porção norte da plataforma continental do Estado do Rio Grande do Norte, região offshore da Bacia Potiguar.

O presente trabalho apresenta os resultados obtidos na interpretação das imagens orbitais de Maio/2004 e Maio/2007 e as possíveis correlações com os dados físicos e biológicos das coletas in situ em Maio/2004. Os subsídios proporcionados pelo uso das imagens permitiram a espacialização dos aspectos hidrológicos e dinâmicos desta porção da Bacia Potiguar, em comparação bidimensional com a variabilidade biológica (pigmentos) e física (termal) na superfície do mar. A análise de dados TSM e CSM simultâneos são convenientes na caracterização de diversos processos físicos que colaboram para o desenvolvimento fitoplanctônico em associação às anomalias de temperaturas, delineando áreas de ressurgência, frentes, correntes, meandros e vórtices. (Denman & Abbott 1994, Kampel 2003, Mano et al. 2003, Kampel & Souza 2005).

2- Contexto Geológico:

A área de trabalho encontra-se inserida no contexto geológico da Bacia Potiguar, na porção setentrional do Estado do Rio Grande do Norte. Trata-se da zona costeira situada entre o Alto de Fortaleza a nordeste, com a Bacia do Ceará e o Alto de Touros a leste, Pernambuco-Paraíba.

A Bacia Potiguar se enquadra no grupo das bacias meso-cenozóicas que formam a Província Costeira de Margem Continental Brasileira. Situa-se no extremo nordeste do Brasil, nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará. Sua área total é de aproximadamente 60.000 km², sendo cerca de 21.500 km² na área emersa e a parte restante na plataforma e talude continentais, até a isobata de 2.000m.

A geração de óleo na Bacia esta relacionada à evolução tectono-sedimentar que iniciou-se com a deposição de sedimentos continentais fluviais e lacustres da fase *Rift* (Fm.Pendências), prosseguiu com a sedimentação fluvial deltaica e lacustre, com influência marinha da fase Transicional (Fm.Alagamar) e terminou com duas sequências sedimentares, transgressiva e regressiva, depositadas em ambiente de deriva continental e sob regime de mar aberto, relacionadas a fase *Drift*.

A migração do óleo ocorre através de planos de falhas ou contato direto gerador-reservatórios, alojando-se em trapas estratigráficas, estruturais ou mistas.

3-Metodologia:

Na caracterização ambiental da Bacia Potiguar no período de 18 a 29/05/2004 foram distribuídas 69 estações de amostragem em duas malhas amostrais, sendo 43 na malha regional e 26 na malha de monitoramento ambiental dos emissários submarinos do Pólo Industrial de Guamaré.

No período de 18/05/2004 a 03/06/2004 foram obtidas as imagens do sensor AQUA-MODIS em apoio às atividades de coleta in situ, assim como, imagens adquiridas de 18/05/2007 a 01/06/2007 do mesmo sensor para uma comparação qualitativa.

A partir dos dados, in situ e das interpretações das imagens obtidas, foram realizadas correlações para a validação das respectivas imagens e comparações qualitativas.

3.1- Dados de Sensoriamento Remoto

As imagens do sensor AQUA-MODIS que assinalam a cor do oceano, TSM e Clorofila-a foram adquiridas e processadas aproximadamente no mesmo período de coleta de dados in situ. Os dados MODIS são adquiridos diariamente em 36 bandas espectrais (Tabela 3.1) com resolução radiométrica de 12 bits. Do conjunto de bandas disponíveis, 2 bandas possuem resolução espacial de 250 m no nadir, 5 bandas apresentam resolução de 500 m e as demais 29 bandas possuem resolução espacial de 1 km, sendo que, somente as bandas 8 a 16 são utilizadas para as observações oceânicas.

As imagens foram submetidas a algoritmos de correção atmosférica antes do cálculo das concentrações de clorofila-a e TSM. Os valores de CSM foram calculados com base utilização do algoritmo padrão da NASA *chlor_a2* (OC3M):

$$C_{insitu} = 10.0^{(0.2830 - 2.753R_{3M} + 1.457R_{3M}^2 + 0.659R_{3M}^3 - 1.403R_{3M}^4)}$$

Onde $R_{3M} = \log_{10}(R_{550}^{443} > R_{550}^{490})$ ou seja, o logaritmo máximo entre os valores.

O cálculo de TSM foi obtido por meio do algoritmo padrão MODIS 11µm *Non Linear Sea Surface Temperature*, com os coeficientes derivados pela Universidade de Miami, e tendo como estimativa inicial o produto de interpolação ótima de Reynolds (OISST):

$$TSM_{dia} = C_1 + C_2T_{31} + C_3(T_{31} - T_{32})T_b + C_4^1(T_{31} - T_{32})(\text{Sec } \theta - 1)$$

3.2-Dados de Oceanografia Física

Na coleta de dados de oceanografia física, sob responsabilidade da equipe de oceanografia física, os trabalhos de campo envolveram o registro contínuo de temperatura e salinidade da superfície e realização de perfilagem vertical de CTD SeaBird ElectronicsSBE 19 SeaCat Profiler, sendo pós-processados em laboratório.

A abrangência da camada fótica foi calculada com o uso do disco de Secchi, baseado na tabela de extinção do percentual da luz solar até 1% de incidência de luz.

3.3-Dados de Biomassa Fitoplanctônica (Clorofila-a)

As amostras de biomassa fitoplanctônica foram coletadas com garrafas de Niskin (10 L) nas profundidades estabelecidas para a coleta de densidade fitoplactônica. No estudo

qualitativo do microfitoplâncton foi realizado arrasto vertical em cada estação com rede de 20 µm, próxima ao fundo e à superfície.

A extração de clorofila-a foi realizada pelo método espectrofotométrico descrito pela UNESCO (1966). O teor de clorofila-a foi determinado após extração em acetona a 90 % por 24 horas. As leituras foram feitas no espectrofotômetro Micronal B-280 nos comprimentos de ondas de 630, 645, 665 e 750 (nm), cujo os resultados foram expressos em mg.m .

A análise do material particulado em suspensão (MPS) foi realizada por gravimetria e medido pela diferença de massa após a secagem a 50°C.

Tabela 3.1: Especificações das bandas espectrais do sensor AQUA-MODIS.

Banda N°	Longitude de onda (nm)	Radiância Espectral (W/m ² -nm-sr)	Usos Principais
8	405 - 420	44.9	Biogeoquímica Cor do Oceano, <u>Fitoplancton</u>
9	438 - 448	41.9	
10	483 - 493	32.1	
11	526 - 536	27.9	
12	546 - 556	21.0	
13	662 - 672	9.5	
14	673 - 683	8.7	
15	743 - 753	10.2	
16	862 - 877	6.2	

4- Resultados e Considerações Finais:

Do conjunto total de imagens do sensor AQUA-MODIS disponíveis, do período de 18/05/2004 a 03/06/2004 e 18/05/2007 a 01/06/2007, o melhor conjunto de imagens foram aqueles imagiados nos dias 22 e 29/05/2004 (Figura 4.1) e 22 e 29/05/2007 (Figura 4.2).

O emprego de imagens orbitais do sensor AQUA-MODIS como subsidio ao programa de caracterização e monitoramento ambiental da Bacia Potiguar permitiu a comparação bidimensional simultânea da variabilidade física (Temperatura) e da biomassa fitoplanctônica na superfície do mar (Clorofila-a). Esta análise de valores espacializados de TSM e Clorofila-a, simultaneamente, é uma avaliação excelente das condições ambientais, uma vez que os processos físicos marcados pela variação de temperatura colaboram para o desenvolvimento fitoplanctônico e alterações desses parâmetros podem ser corretamente avaliadas.

A interpretação visual de um conjunto de imagens do AQUA-MODIS favoreceu a identificação de manchas superficiais referentes à TSM, Clorofila-a na plataforma continental e áreas oceânicas do litoral setentrional do RN no contexto offshore da Bacia Potiguar. As feições superficiais interpretadas foram integradas aos dados in situ coletados em levantamentos oceanográficos realizados no período de 18 a 29/05/2004, onde as equipes coletaram dados de CTD (Temperatura, Salinidade, Densidade), qualidade da água (MPS) e fitoplancton (Clorofila-a). A diferença média total entre as medidas de TSM in situ e aquelas obtidas por satélite foi de 0,5 °C aproximadamente.

Quanto às medidas de Clorofila-a, no âmbito geral da caracterização dos valores por área, faixas com largura média com 15km a partir da linha de costa apresentaram valores relativamente mais elevados com decréscimo para as áreas oceânicas mais profundas. Os maiores valores de Clorofila-a ($>0,3\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) ocorrem sobre a plataforma continental. Contudo foi descrita uma pluma semi-circular de ressurgência na quebra da plataforma, com diâmetro em torno de 40km.

Com relação às imagens de 2007, as comparações qualitativas que podem ser feitas dizem respeito principalmente a grande diferença na TSM, visto que o ano de 2004 foi um ano atípico, com grandes variações de temperatura e alta pluviosidade devido a eventos de amplitude global. As imagens obtidas em 22 e 29/05/2007, comparativamente as de 2004 apresentam uma diferença de aproximadamente 2°C ; e os dados de clorofila-a, que são diretamente afetados pela mudança da temperatura, apresentaram um decréscimo de área, onde os maiores valores de concentração de clorofila-a em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ encontram-se mais próximos a costa.

Um fator fundamental na área estudada da plataforma continental do RN foi que as imagens de Clorofila-a, em análise combinada com os sedimentos em suspensão, dados de transparência da água e informações auxiliares (por exemplo, cartas batimétricas) possibilitaram a definição de algumas das principais formas de fundo, tais como: a forma dos cânions submersos do Rio Açu e Apodi, alguns alinhamentos de beachrocks e recifes, e a delimitação da quebra da plataforma na região abrangida pela imagem. Corrobora-se a isso a característica do litoral setentrional do RN possuir águas transparentes sobre plataforma continental rasa e de baixa declividade.

Um fator limitante ao acesso a um conjunto de imagens AQUA-MODIS foi à constante cobertura de nuvens, comuns na região costeira do nordeste do Brasil.

Os resultados apresentados demonstraram a potencialidade do uso de imagens AQUA-MODIS no monitoramento ambiental de áreas offshore quanto aos dados de temperatura e concentração de Clorofila-a na superfície do mar. Além disso, a interpretação criteriosa das imagens, combinadas a algumas das auxiliares, pode prover subsídios para as avaliações quanto à caracterização e dispersão do sedimento em suspensão e descrição das formas de fundo, fator importante na exploração de hidrocarbonetos, desde que respeitadas às limitações da resolução espacial das imagens.

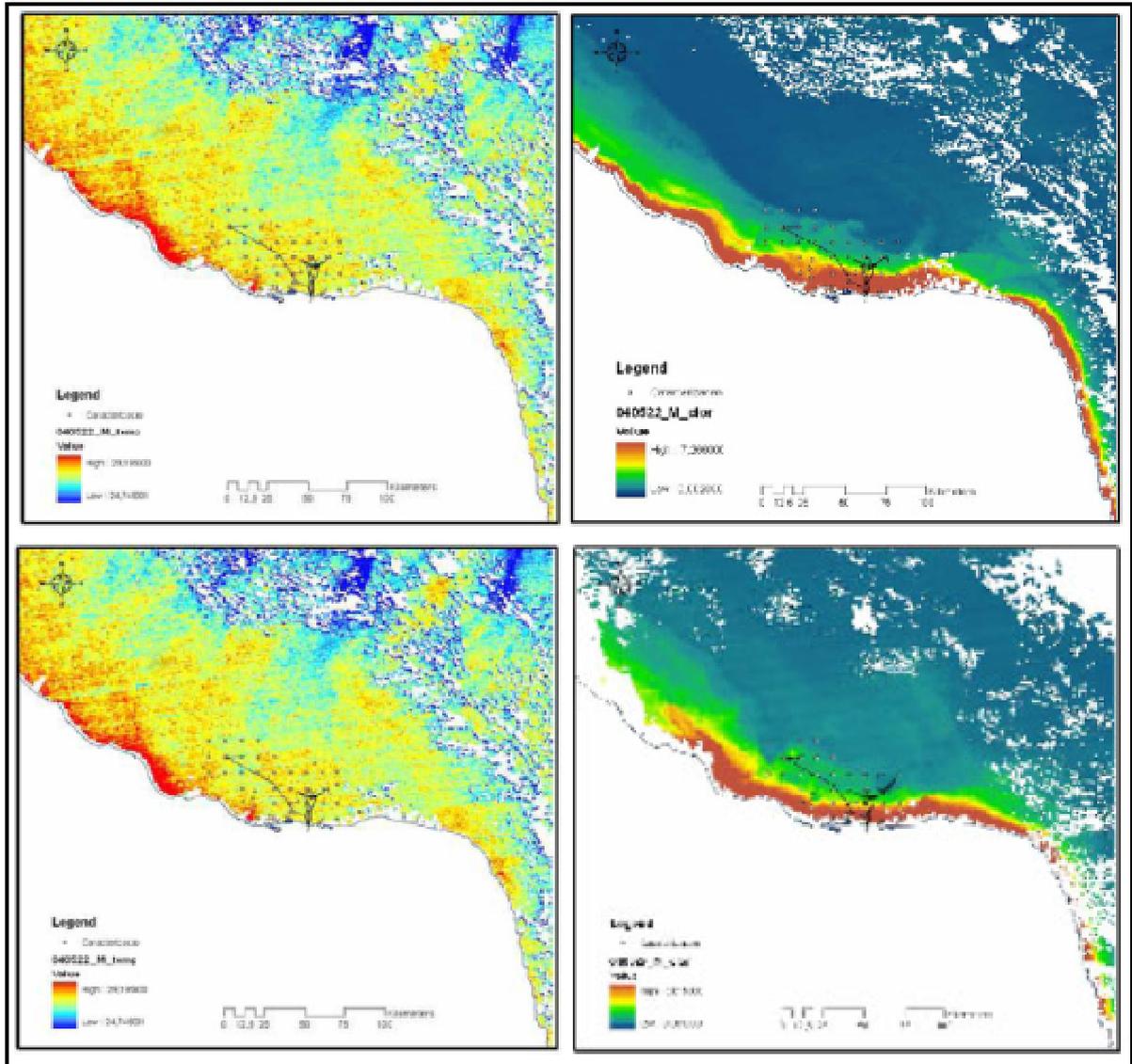


Figura 4.1: Imagem da Temperatura da Superfície do Mar (à esquerda) e Concentração de Clorofila-a (à direita) do sensor AQUA-MODIS referente aos dias 22/05/2004 (a cima) e 29/05/2004 (a baixo). A distribuição dos dutos *offshore* e os pontos de amostragem da campanha de caracterização e monitoramento da Bacia Potiguar estão representados.

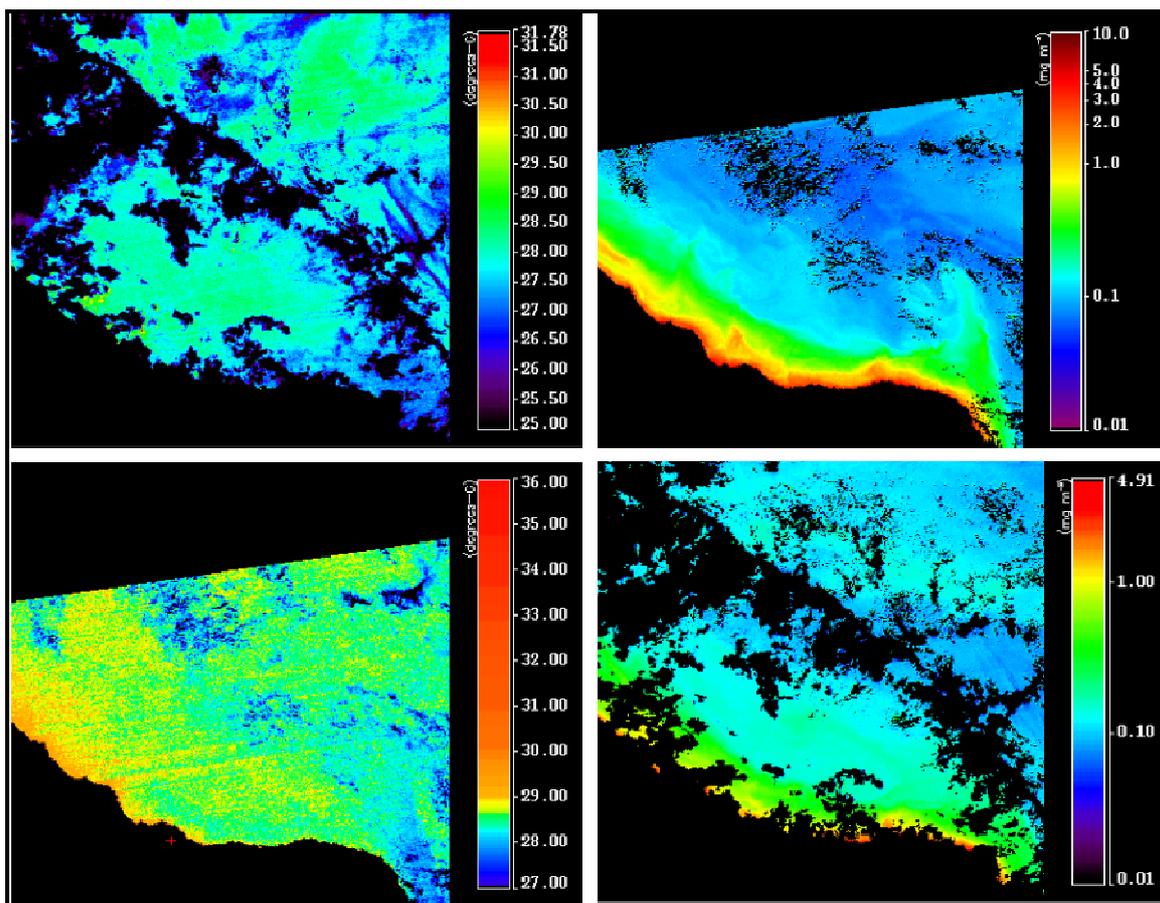


Figura 4.2: Imagem da Temperatura da Superfície do Mar (à esquerda) e Concentração de Clorofila-a (à direita) do sensor AQUA-MODIS referente aos dias 22/05/2007 (a cima) e 29/05/2007 (a baixo).

5 – Agradecimentos

Agradeço ao laboratório de geoprocessamento (Geopro), na pessoa do Prof Dr.Venerando Estáquio Amaro; a Anp, financiadora do projeto; a rede cooperativa de pesquisa em monitoramento ambiental de áreas sobre influência da industria petrolífera, rede 05 através dos projetos Petrorisco e Hidrosema.

6- Referências Bibliográficas:

- DENMAN, K.L.; ABBOTT, M.R. **Time scales of pattern evolution from cross-spectrum analysis of advanced very high resolution radiometer and coastal zone color scanner imagery.** *Journal of Geophysical Research*, v.99, p. 7433-7442, 1994.
- KAMPEL, M. **Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados *in situ* na Costa Sudeste Brasileira.** Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003, 311 p.
- KAMPEL, M; SOUZA, R. B. **Observação por satélite de um vórtice de núcleo quente na Zona de Confluência Brasil-Malvinas durante a Operação Antártica XXI.** *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, p. 3643-3650, 2005.
- MANO, M.F.; HARGREAVES, F. M.; THIAGO, P. M.; CARVALHO, G. A. **Utilização do sensoriamento remoto no suporte à pesca esportiva e industrial na costa brasileira: superando limitações.** *Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Belo Horizonte, 2003, p. 1595 - 1601.
- UNESCO. **Determination of photosynthetic pigments in sea water. Raport of SCOR/UNESCO, working group 17 with meat from 4 to 6 June 1964.** Paris (Monography on oceanography methodology,1). Paris, 1966, 69p.
- UNESCO. **Algorithms for computation of fundamental properties of seawater.** *Unesco Technical Papers in Marine Science* 44, 1983, 75 pp.
- UNESCO. **The acquisition, calibration and analysis of CTD data.** *Unesco Technical Papers in Marine Science* 54, 1988, 92 pp.
- ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis.** New Jersey, Prentice-Hall, 1996, 662p.