



INTEGRAÇÃO ENTRE DADOS ÓPTICOS E RADAR (SRTM) PARA A CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA COSTA SETENTRIONAL DO RIO GRANDE DO NORTE

RADAR (SRTM) AND OPTICAL DATA COMBINATION FOR GEOENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION OF THE RIO GRANDE DO NORTE NORTHERN COAST

Dalton Rosemberg Valentim da Silva

Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Programa de Recursos Humanos - 22/Agência Nacional do Petróleo
daltonrosemberg@yahoo.com.br

Venerando Eustáquio Amaro

Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica
Programa de Recursos Humanos - 22/Agência Nacional do Petróleo
amaro@geologia.ufrn.br

RESUMO

A demanda, cada vez maior, por fontes energéticas no país tem intensificado as atividades da indústria de hidrocarbonetos e, como consequência, aumentado os riscos de derramamento de óleo em áreas ambientalmente sensíveis no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. Tal ação torna necessário o monitoramento ambiental utilizando técnicas de sensoriamento remoto e modelagem ambiental. A área compreendida entre os municípios de São Bento do Norte e Porto do Mangue está inserida no contexto geológico da Bacia Potiguar e apresenta alto índice de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo. As principais unidades geoambientais da área de estudo estão ocupadas pelas atividades petrolíferas, salineiras e de carcinicultura, além da agricultura e pesca. O objetivo deste trabalho é descrever a integração de dados SRTM – *Shuttle Radar Topographic Mission* com imagens ópticas dos satélites LANDSAT 7 ETM+ e CBERS 2-CCD para gerar produtos que realcem a geomorfologia e os elementos morfotectônicos da área em questão, permitindo uma melhor caracterização geoambiental. Informações de altimetria, lineamentos topográficos, drenagens e declividade foram extraídas a partir dos dados SRTM. Composições coloridas e técnicas de realce de contraste foram aplicadas nas imagens LANDSAT e CBERS. A interpretação destes produtos demonstra que a paisagem costeira é fortemente controlada por fatores hidrodinâmicos e morfotectônicos, além da influência antrópica. Esta estratégia metodológica mostrou-se relevante para a compreensão do contexto ambiental e morfodinâmico da área, contribuindo na elaboração de uma base cartográfica eficaz para consultas no plano de contingência em casos acidentais de derramamento de óleo, facilitando a proteção dos ambientes mais sensíveis. Os resultados também favorecem a um planejamento mais eficiente de novas áreas na exploração petrolífera.

Palavras-chave: SRTM, CBERS, monitoramento ambiental, indústria petrolífera.



ABSTRACT

The demand for energetic resources on the country increased the exploration of hydrocarbon and consequently the risk of oil spill on environmentally sensible areas located on the Rio Grande do Norte northern coast. This fact justifies the environmental monitoring using remote sensing and environmental modeling techniques. The study area extends from São Bento do Norte to Porto do Mangue cities. It is inserted on the geological context of the Potiguar Basin with a high environmental sensitivity index. The main geoenvironmental units are occupied by industrial activities as salt and oil industries and shrimp farms. This paper aims to describe the integration of radar (SRTM) and optical (LANDSAT 7 ETM+ and CBERS 2-CCD) data to create images which enhance geomorphology and morphotectonic features from the area, allowing a better environmental characterization. Altimetry, lineaments, drainage system and slope information were obtained from SRTM data. RGB color images were created from the optical data with contrast enhancement. This methodology is useful to support the understanding of the morphodynamic framework, and creating a good cartographic database which can be used on emergency plans on oil spills, and to optimize protections of the most sensitive environments. The results also aid a better planning of new oil exploration areas.

Keywords: SRTM, CBERS, environmental monitoring, oil industry.

1. INTRODUÇÃO

A área de estudo consiste numa zona costeira formada principalmente por uma planície de inundação fluvio-marinha, ecossistema de manguezal, campos de dunas e praias arenosas. Com o aumento da exploração dos recursos naturais, esta área foi amplamente ocupada pelas atividades das indústrias petrolífera, salineira e de carcinicultura, além dos usos na agricultura, pesca e turismo. Souto (2004) afirma que esta área tem sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, vulnerabilidade ambiental e natural predominantemente médias a altas. A importância econômica, aliada à instabilidade morfológica decorrente da alta energia das condicionantes hidrodinâmicas nesta faixa litorânea (ventos, ondas, correntes e marés) e as condições ambientais justificam o monitoramento ambiental com o emprego de técnicas de geoprocessamento que facilitem a tomada de decisão em casos de vazamentos de óleo e no controle da ocupação antrópica.

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a integração de dados topográficos, providos pelo projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com dados ópticos dos satélites LANDSAT 7 ETM+ e CBERS 2-CCD, voltados para a caracterização morfodinâmica e ambiental da região entre os municípios de Porto do Mangue, Macau e Guamaré, no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1).

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO E CONDICIONANTES HIDRODINÂMICAS

A área de estudo envolve o trecho do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, entre as Longitudes Oeste 36° 04' 43" / 36° 59' 25" e Latitudes Sul 04° 54' 42" / 5° 20' 03". O acesso à área é realizado, principalmente, pelas rodovias BR 406, RN 221 e RN 404 (Figura 1).

A área é afetada por processos hidrodinâmicos de alta energia, os quais condicionam à dinâmica sedimentar, caracterizados pela energia de ondas moderada à alta, ventos intensos e constantes, regime de mesomaré e forte influência de correntes direcionadas pelos ventos e marés, na plataforma interna, e pela Corrente Norte Brasileira, na plataforma externa (ambas com sentido W - NW).

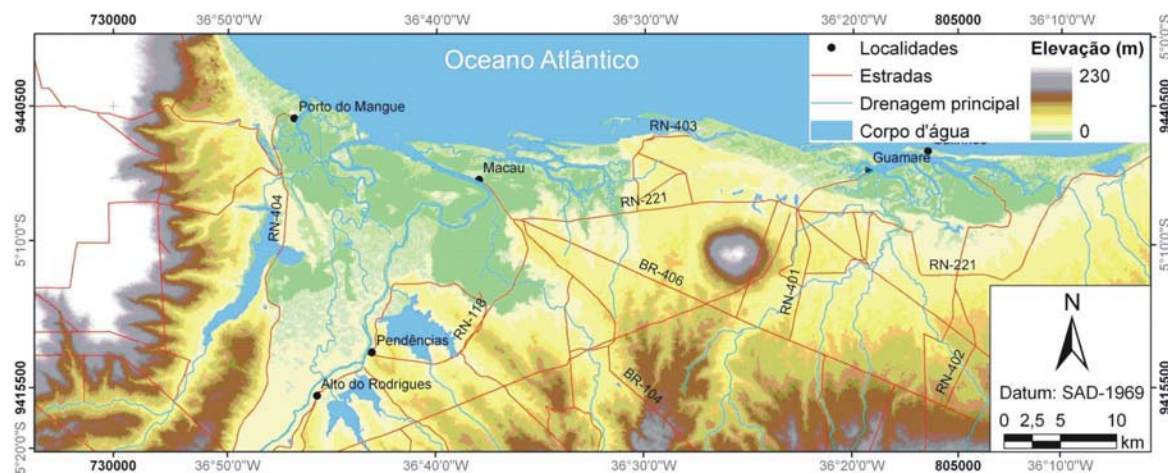


Figura 1 – Plani-altimetria da área de estudo com base em dados SRTM e imagens ópticas.

2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está inserida no contexto geológico da Bacia Potiguar. Esta bacia abrange parte dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, estendendo-se por aproximadamente 49.000 km² (Soares *et al.*, 2003). O seu primeiro estágio de evolução teve início no Neocomiano e é marcado pela deposição das formações Pendência e Pescada ao longo de *grabens* assimétricos. O segundo iniciou-se no Neoptiano, com subsidência termal lenta e deposição da Formação Alagamar (Pessoa Neto, 2003). O terceiro estágio (Albiano) foi marcado por uma sedimentação marinha dividida em duas fases (Bertani *et al.*, 1990): a fase transgressiva (formações Açú, Ponta do Mel, Ubarana Jandaíra) e a regressiva (formações Barreiras, Tibau e Guamaré). Os sedimentos quaternários consistem em Formação Potengi, *beachrocks*, areias de dunas fixas, cascalheiras e colúvios, leques aluviais, sedimentos de praia recente, dunas móveis, aluviões e manguezais. Três eventos magmáticos, relacionados às Formações Rio Ceará Mirim (120 a 140 Ma), Serra do Cuó (83 Ma) e Macau (29 e 45 Ma), afetaram as rochas da Bacia Potiguar (Araripe e Feijó, 1994). A evolução tectônica cenozóica é marcada pela reativação de importantes sistemas de falhamentos de direção NW e NE (falhas de Afonso Bezerra e Carnaubais). A evolução do litoral entre Aracati (CE) e Touros (RN) está associada a movimentos tectônicos verticais, resultantes da reativação dos sistemas de falhas antigas de Afonso Bezerra e de Carnaubais (Srivastava e Corsino, 1984). Fonseca (1996) evidenciou o par conjugado definido pelas falhas supracitadas como responsável por uma compartimentação entre a Ponta do Mel (RN) e a Ponta dos Três Irmãos (RN), reativando parte da estruturação pré-existente e modelando a superfície regional atual, além de influenciar na evolução e processos de sedimentação costeira (Figura 2). Caldas (1996) argumentou a existência de uma relação da geometria do litoral setentrional, entre Caiçara do Norte e São Bento do Norte, com a orientação do Sistema de Falhas de Carnaubais, concordando com Bezerra *et al.* (1998) que propõem um soerguimento nos últimos 5000 anos para a porção leste da Falha de Carnaubais nesta área. A influência destas estruturas na geomorfologia foi também constatada em outras porções da Bacia Potiguar, como, por exemplo, a que Moura (2004) analisou na geomorfologia da Chapada do Apodi. Dantas (2004) utilizou técnicas de geoprocessamento para reconhecer lineamentos NW na porção central e sudeste da Falha de Afonso Bezerra, e concluiu que altos topográficos estão alinhados com vales de drenagens e bordas de lagoas. Os dados obtidos pela imagem SRTM foram utilizados na análise morfotectônica da região de Carnaubais (RN), na geração de modelos tridimensionais e de sombreamento, produtos estes que ajudaram a identificar a relação entre os lineamentos e os alinhamentos de drenagem, assim como os padrões verificados para as juntas distensionais (Aquino, 2006).

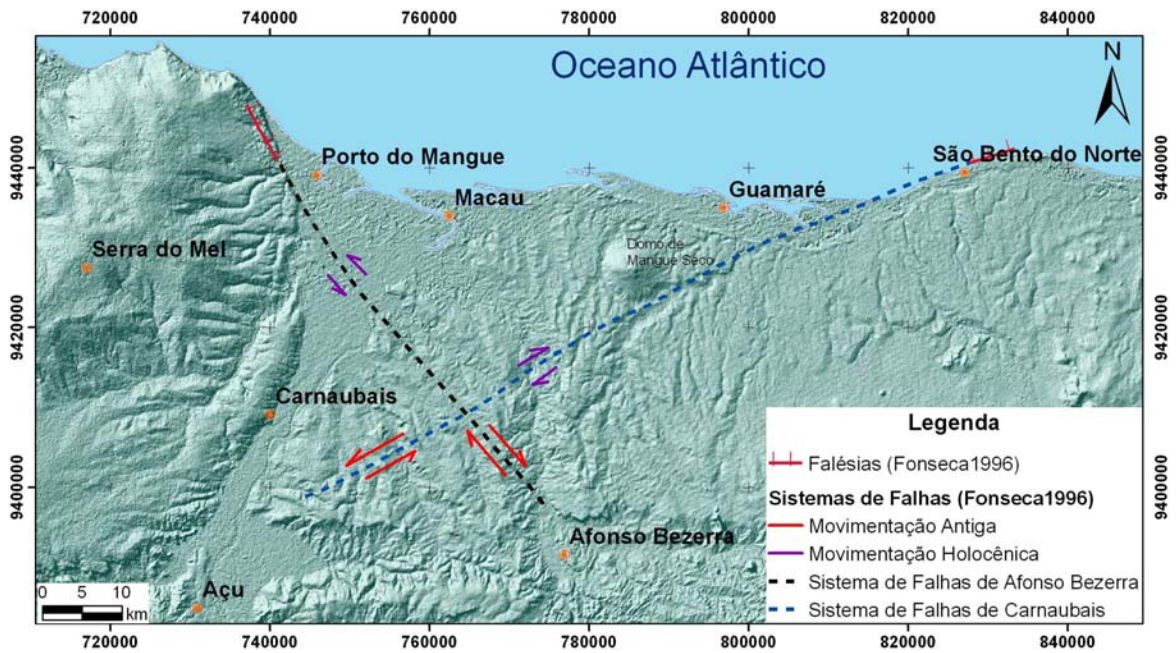


Figura 2 – Compartimentação do litoral setentrional (modificado de Fonseca, 1996) representada sobre modelo de sombreamento obtido com dados SRTM.

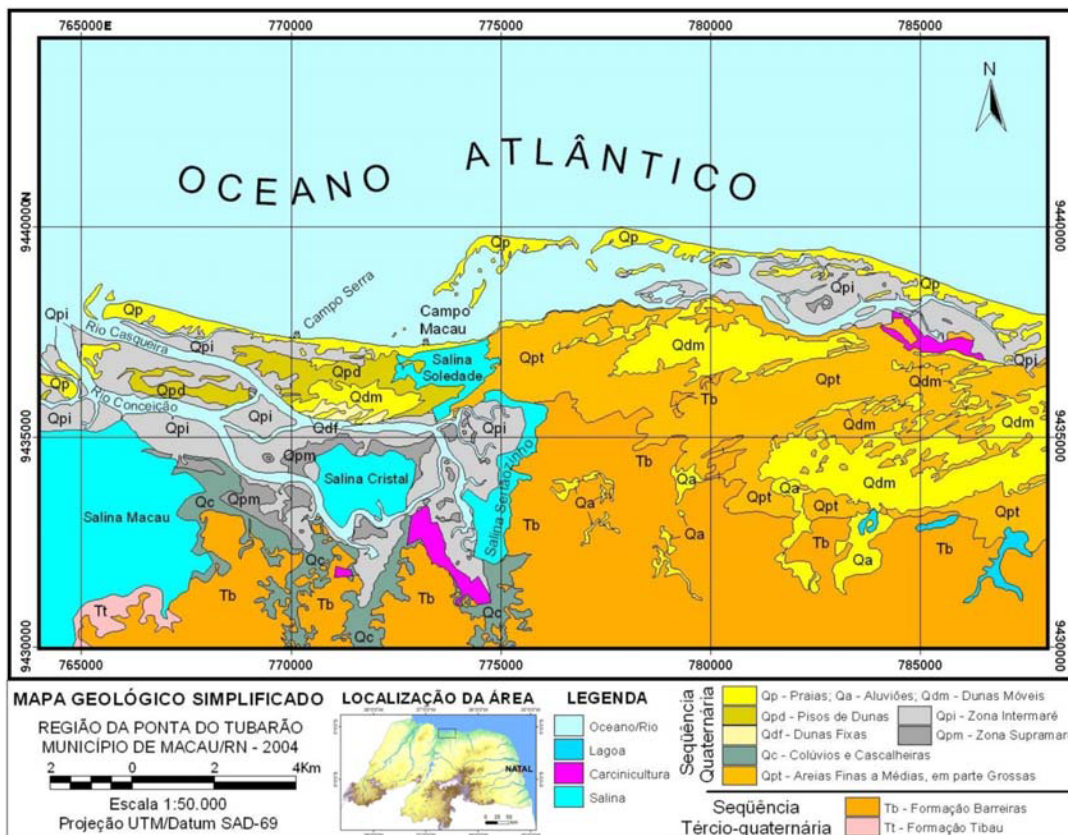


Figura 3 – Mapa geológico simplificado, na escala de 1:50000, (modificado de Souto, 2004).



As unidades litológicas presentes na área de estudo (Figura 3) correspondem aos carbonatos da Formação Jandaíra (Cretáceo), arenitos das formações Tibau (Terciário) e Barreiras (Tércio-Quaternário), Magmatismo Macau (Eoceno-Oligoceno) e os Depósitos Neógenos, conforme descrição de (Souto, 2004) e (Angelim *et al.*, 2007).

2.3. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

Na zona estuarina do Rio Piranhas-Assu, principal drenagem no contexto da área de estudo, foram descritos dois grandes domínios geomorfológicos: (i) o Domínio Interior e (ii) o Domínio Estuarino-Litorâneo. A região interior, ocupada pela Formação Barreiras, forma um domínio geomorfológico de distribuição contínua ao longo da costa, marcada por relevo tabular de baixa inclinação para o litoral, cotas baixas e dissecadas. Na zona entre os tabuleiros e a faixa litorânea, a confluência anastomosada do sistema de drenagem favorece o desenvolvimento da extensa planície de inundação flúvio-estuarina, formada por depósitos arenosos a pelíticos, comumente colonizados por algas, intercalados com depósitos de canais de maré e de transbordamento (Silveira, 2002; Amaro, 2002).

Neste trecho da paisagem costeira da Bacia Potiguar, o modelamento das formas de relevo é resultante da ação constante dos processos do meio físico, das condições climáticas, das variações do nível do mar, da natureza das seqüências geológicas, das atividades neotectônicas e do suprimento de sedimentos carreados pelos rios e oceano, que controlam o desenvolvimento de feições erosivas e construtivas na faixa litorânea (Souto, 2004). Em decorrência da ação contínua desses condicionantes, formaram-se diversos compartimentos de relevo resultantes da erosão e deposição na zona costeira e estuarina: zonas de inframaré, intermaré e supramaré, planície flúvio-estuarina, terraço estuarino, dunas recentes e bancos arenosos (Amaro, 2004) (Figura 4). A morfologia atual da área permite o ingresso da maré nos rios e gamboas e, por vezes, na fase equinocial, sobre as barras arenosas, terraços flúvio-marinhos e terraços estuarinos.

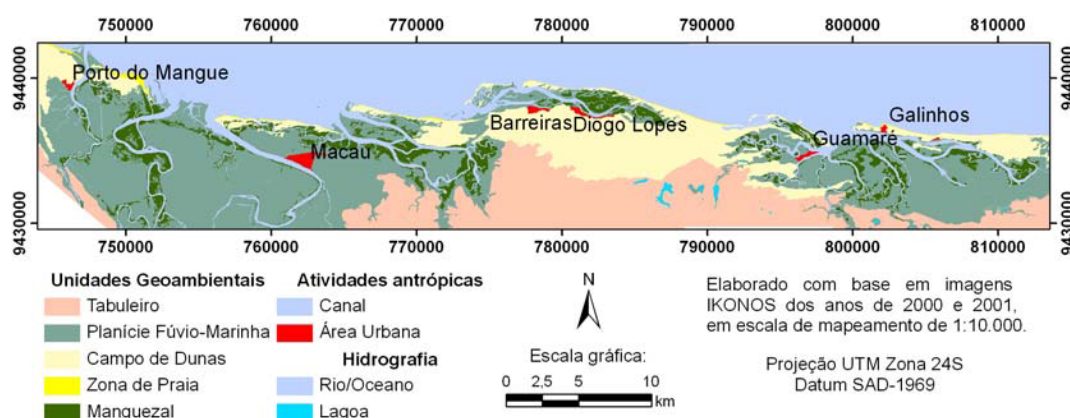


Figura 4 - Mapa de unidades geoambientais do Complexo Estuarino Piranhas-Assu (Amaro, 2004).



3. MATERIAIS E MÉTODOS

A interpretação visual de imagens de satélite, voltada para o mapeamento temático da superfície em duas dimensões, é a forma mais comum de uso dos produtos de sensoriamento remoto. Porém, os fenômenos naturais ocorrem em três dimensões, o que traz a necessidade de considerar fatores como o relevo (i.e. elevação e declividade), a hidrografia e demais aspectos morfológicos que, de algum modo, influenciam o contexto morfodinâmico da área a ser analisada. Estes fatores podem ser melhor evidenciados em imagens provenientes de sensores ativos de radar, basicamente, os sensores imageadores de radar permitem a obtenção de informações sobre as características físicas (geometria, forma) e elétricas dos alvos, sem que ocorra interação com a atmosfera, independente da iluminação solar (Paradella *et al.*, 2005).

Uma parceria entre as agências espaciais americana (NASA), italiana (ASI) e alemã (DLR) tornou possível a aquisição de dados topográficos para 80% da superfície terrestre por meio da técnica de interferometria de radar, durante uma missão espacial denominada de *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Este imageamento ocorreu nos primeiros onze dias do mês de fevereiro do ano 2000, gerando produtos com resolução espacial de 90 e 30m que foram posteriormente disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS) via *web*.

Os dados SRTM apresentam ruídos relacionados a presença de corpos d'água na superfície terrestre imageada, com o objetivo de corrigir/atenuar estes ruídos algumas instituições realizaram processamentos digitais como por exemplo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/index.htm>), ou a CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Recentemente a NASA disponibilizou uma versão reprocessada dos dados SRTM, denominada de SRTM V2, através do *web site* <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. O processamento realizado pela *National Geospatial Intelligence Agency* consistiu na edição das informações ruidosas dos corpos d'água através de um mascaramento utilizando dados vetoriais. Os dados SRTM V2 utilizados neste trabalho foram adquiridos via *ftp* pelo endereço eletrônico <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov>, o seu processamento consistiu na geração de modelos de sombreamento por intermédio da aplicação de filtros direcionais NE e NW, extração de informações de elevação e declividade.

As imagens dos sistemas ópticos do LANDSAT 7-ETM+ e CBERS 2-CCD foram georreferenciadas a partir de pontos de controle coletados em campo com GPS geodésico de precisão (3mm). A correção geométrica foi feita na projeção UTM Zona 24S e *datum* SAD-1969, utilizando o método polinomial com reamostragem por vizinhança mais próxima. A etapa seguinte de processamento das imagens ópticas consistiu na realização de composições coloridas entre as bandas espectrais no sistema de cores RGB. A técnica de razão entre bandas foi também aplicada para criar novas imagens que seriam posteriormente combinadas em RGB. As razões de bandas são empregadas na supressão das variações de brilho relacionados à topografia, reduzindo os efeitos do ângulo do zênite solar, e às variações do tamanho dos grãos, enfatizando as tênues diferenças espectrais entre as superfícies (Amaro, 1998). Posteriormente, estas composições coloridas foram submetidas à aplicação de realce de contraste por equalização do histograma, destacando as diferenças entre as diversas unidades de paisagem presentes na área estudada.

A integração dos dados SRTM com imagens ópticas permitiu a elaboração de produtos que integram as informações espaciais obtidas pelo radar com as informações espectrais dos alvos detectadas pelos sensores passivos.

**Tabela 1** – Relação das imagens utilizadas e os respectivos processamentos aplicados

Satélite/ Sensor	Ponto/ órbita	Data	Tipo de processamento aplicado
SRTM		Fevereiro de 2000	Extração de elevação e declividade, elaboração de modelos de sombreamento simulando a iluminação. Integração com composições RGB gerando produtos bi ou tri-dimensionais.
Landsat 7 ETM+	215/ 064	13/06/2000	Georreferenciamento. Composição no sistema de cores RGB entre as bandas 5, 4 e 1. Realce de contraste por equalização do histograma. Integração com dados SRTM gerando produtos bi ou tri-dimensionais.
Landsat 7 ETM+	215/ 064	11/06/2002	Georreferenciamento. Razão entre os pares de bandas 7 e 3, 5 e 3, 4 e 3. Composição RGB entre as razões de bandas. Realce de contraste por equalização do histograma. Integração com dados SRTM gerando modelo 3D.
CBERS 2 CCD	148/ 106	19/07/2004	Georreferenciamento. Composição no sistema de cores RGB entre as bandas 3, 2 e 1. Realce de contraste por equalização do histograma. Integração com dados SRTM gerando modelos 3D.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos produtos obtidos pela integração de dados, foi possível reconhecer as principais feições geomorfológicas que caracterizam a área de estudo, além de permitir a importante correlação entre os lineamentos topográficos, o sistema de drenagens e os elementos da tectônica recente na região.

4.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

A altimetria da área foi extraída por meio da visualização dos dados SRTM com uma paleta de cores distribuídas entre 0 e 230 metros (Figura 1), bem como através da extração de linhas de contorno, em intervalos variados de 10 em 10 metros e 50 em 50 metros. Os elementos topográficos da paisagem como a Serra do Mel e o Domo de Mangue Seco, as planícies flúvio-estuarinas do vale do Rio Açu e as planícies de maré foram identificados. Os filtros direcionais de direção geral NE e NW foram aplicados sobre a imagem SRTM, gerando-se modelos de sombreamento, integrados às composições coloridas RGB das imagens ópticas. A partir destes, foi possível revelar a forte correlação entre a altimetria do terreno e a disposição das unidades geomorfológicas, além da relevante correspondência entre o sistema de drenagens e trechos de vertentes com o padrão direcional de lineamentos topográficos (Figura 5).

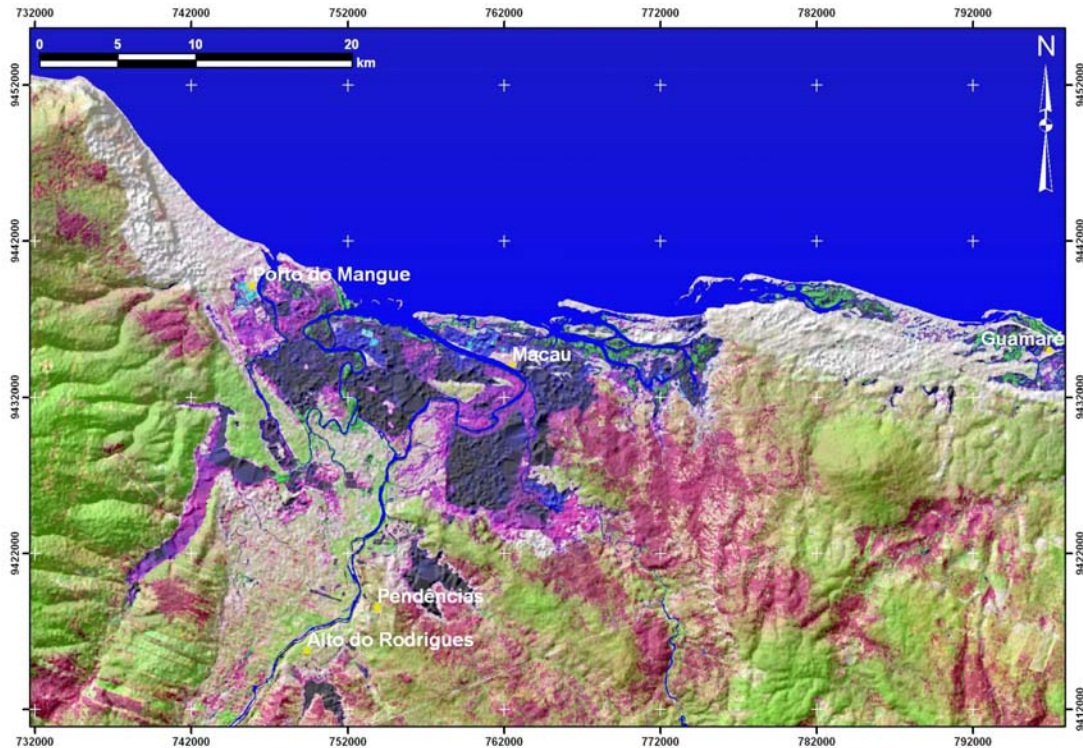


Figura 5 – Composição colorida RGB 541 (LANDSAT 7-ETM+ de 2000) integrada ao modelo de sombreamento obtido com dados srtm (315°Az).

As áreas com declividade muito alta foram identificadas nas regiões de borda do vale do Rio Assu, sobretudo com direções gerais NNW, NE e EW, marcando a direção preferencial do sistema de falhas Afonso Bezerra e Carnaubais. Também na região de Guamaré, as altas declividades definem o contato entre os tabuleiros costeiros e as unidades holocênicas, fato relevante na indicação do controle tectônico recente na estruturação das feições costeiras atuais (Figura 6).

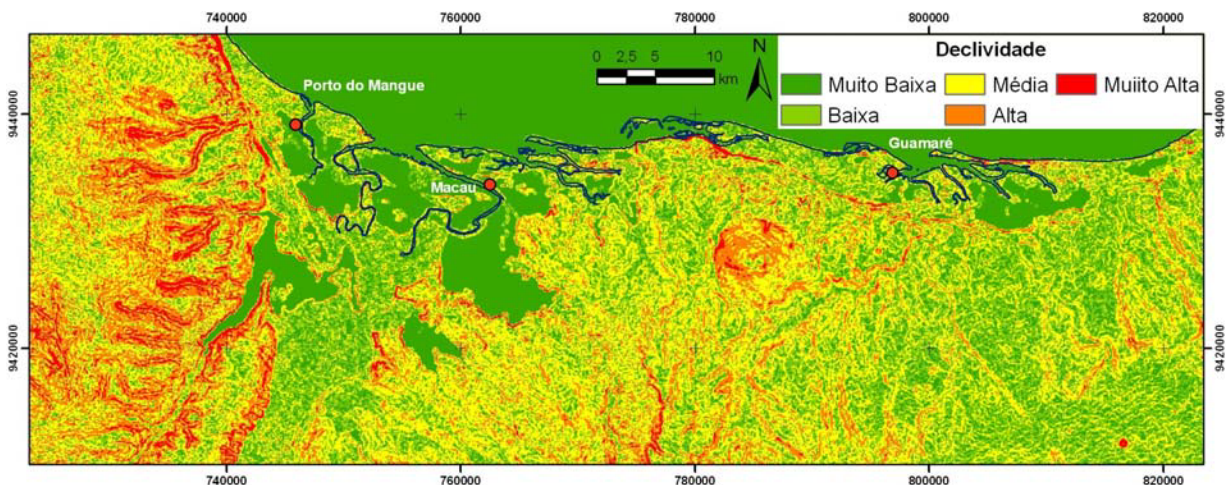


Figura 6 – Mapa de declividade elaborado a partir de dados SRTM.



As variações altimétricas e texturais do terreno, realçadas pelos dados SRTM, juntamente com as imagens ópticas, permitiram uma melhor delimitação das unidades geomorfológicas na área. A superfície de tabuleiros costeiros ocorre em intervalos altimétricos de 7 a 230 metros, sendo os valores mais altos correspondentes a Serra do Mel e ao Domo de Mangue Seco (Figura 7). Os campos de dunas móveis e fixas apresentam-se com até 5 metros de altitude, juntamente com a depressão interdunar. A planície de maré também foi demarcada, apresentando-se subdividida em três zonas: Supramaré, Intermaré e Inframaré. A planície de inundação flúvio-estuarina, definida ao longo dos rios, foi destacada por superfícies planas a suavemente inclinadas, poucos metros acima do nível médio das águas fluviais. Tanto estas áreas como as planícies definidas pelo ecossistema de manguezais ocorrem no intervalo altimétrico de 0 a 4 metros. Tais áreas de menor valor altimétrico correspondem, na área de estudo, aos locais de ocupação mais intensa por atividades industriais (petróleo, salineira e carcinicultura). A zona de estirâncio (sedimentos recentes de praia) mostra-se plana e extensa, com altimetria inferior a 2 metros e bem caracterizada pela resposta espectral da composição colorida RGB das razões de bandas 7/3-5/3-4/3. Souto (2004) afirma que esta composição é bastante útil para a análise de unidades geológicas e geomorfológicas, bem como para o mapeamento das formas de uso e ocupação do solo.

As Figuras 7 e 8 ilustram, em três dimensões, a integração dos dados SRTM com as informações ópticas das composições RGB 321 (CBERS) e RGB 7/3-5/3-4/3 (LANDSAT), auxiliando na visualização dos altos da Serra do Mel, recoberto por extenso campo de dunas móveis, e o Domo do Mangue Seco, com evidência da atividade de exploração petrolífera. A Figura 8 destacou a atuação de lineamentos de direção geral NE, EW e NW na delimitação das unidades da planície costeira, com o considerável rebaixamento do trecho extremo norte da região. O vale do Rio Assu aparece encaixado em lineamentos NNE, que controlam a planície flúvio-estuarina. O sistema de drenagens acompanha as principais direções de lineamentos, em sua maioria no sentido do vale do Rio Assu, com poucos vales ou com vales de baixo destaque chegando diretamente na praia (I.E., baixo escoamento superficial).

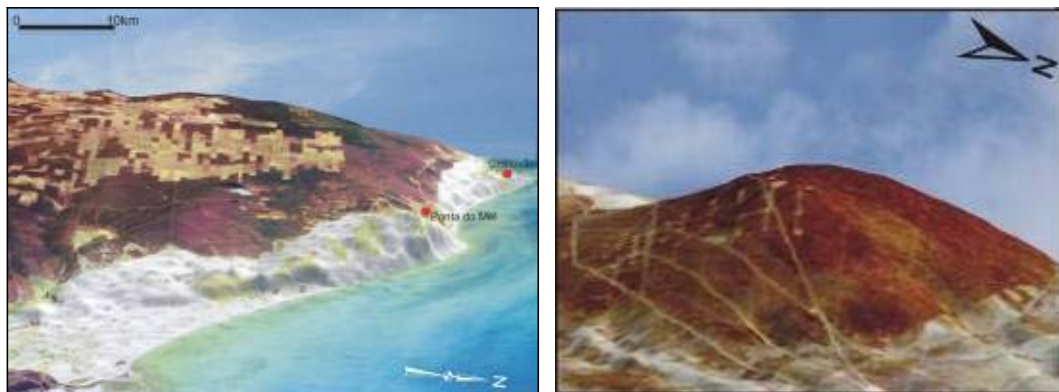


Figura 7 – Modelos de altimetria derivados dos dados SRTM (exagero vertical de 10x), integrado com a composição RGB 321 (CBERS 2-CCD de 2004), com destaque para a Serra do Mel (esquerda) e o Domo de Mangue Seco (direita).

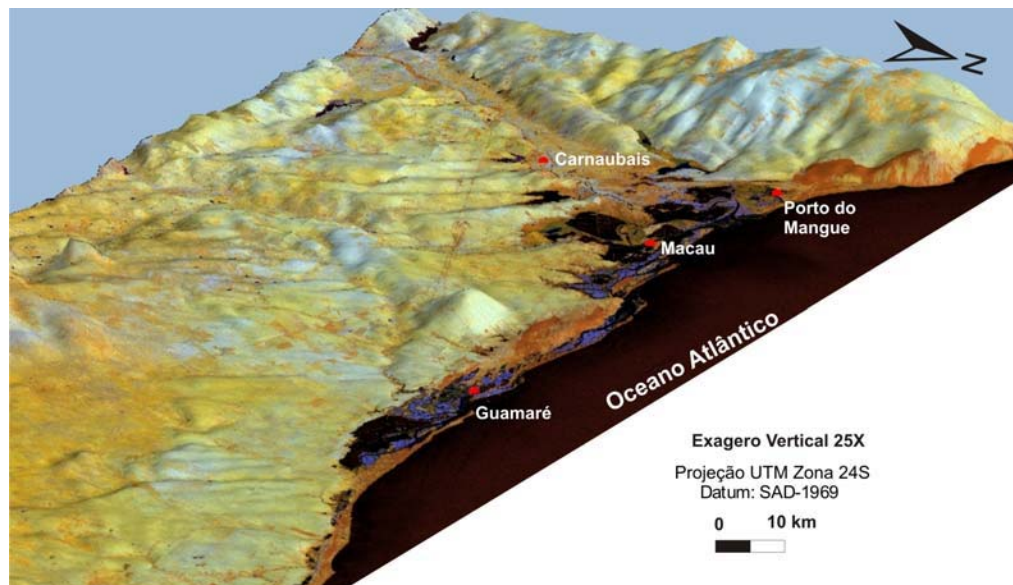


Figura 8 – Modelo de altimetria derivado dos dados SRTM (exagero vertical de 25x) integrado com a composição RGB das razões de bandas 7/3-5/3-4/3 (LANDSAT 7-ETM+ de 2002), realçando feições morfológicas da área de estudo.

4.2 LINEAMENTOS E HIDROGRAFIA

O termo lineamento é aqui entendido como uma feição linear superficial que difere do padrão adjacente e, presumidamente, reflete fenômenos de subsuperfície, expressando-se na topografia pela morfologia de vales, cristas e segmentos de drenagens (Amaro, 1998). O comportamento de um sistema de drenagem está intimamente relacionado com aspectos topográficos, geomorfológicos e elementos morfotectônicos. O conhecimento dos aspectos deste sistema é importante no planejamento de medidas mitigadoras em casos de derramamento acidental de óleo, visto que a declividade, e demais aspectos de relevo, influencia no escoamento dos fluídos e no contexto geológico da área de estudo.

O mapeamento de lineamentos topográficos e da rede de drenagens a partir de imagens SRTM (submetidas a filtros direcionais) evidenciou na área de estudo a semelhança entre as feições, confirmando o controle estrutural destas, como já sugerido no texto (Figura 9). A resolução espacial de 90 m dos dados SRTM limitou a escala de trabalho à 1:100.000. Os lineamentos mapeados (Figura 10) foram classificados de acordo com sua orientação, informações de localização geográfica, direção azimutal e comprimento. A frequência de ocorrência foi representada em diagramas de roseta, que mostram orientações gerais médias de 300° Az, 39° Az, NS e EW, respectivamente. Com relação ao comprimento, os quatro maiores valores medidos foram 13 km (NW), 12,5 km (NE), 6,8 km (NS) e 5,8 km (EW). A maioria dos lineamentos mapeados é subparalelo aos sistemas de falhas de Afonso Bezerra e Carnaubais, sugerindo a correlação geométrica entre estas estruturas e a geomorfologia da área. Os campos de produção de hidrocarbonetos, em muitos dos setores da área de estudo, coincidem com as zonas afetadas pelos lineamentos.

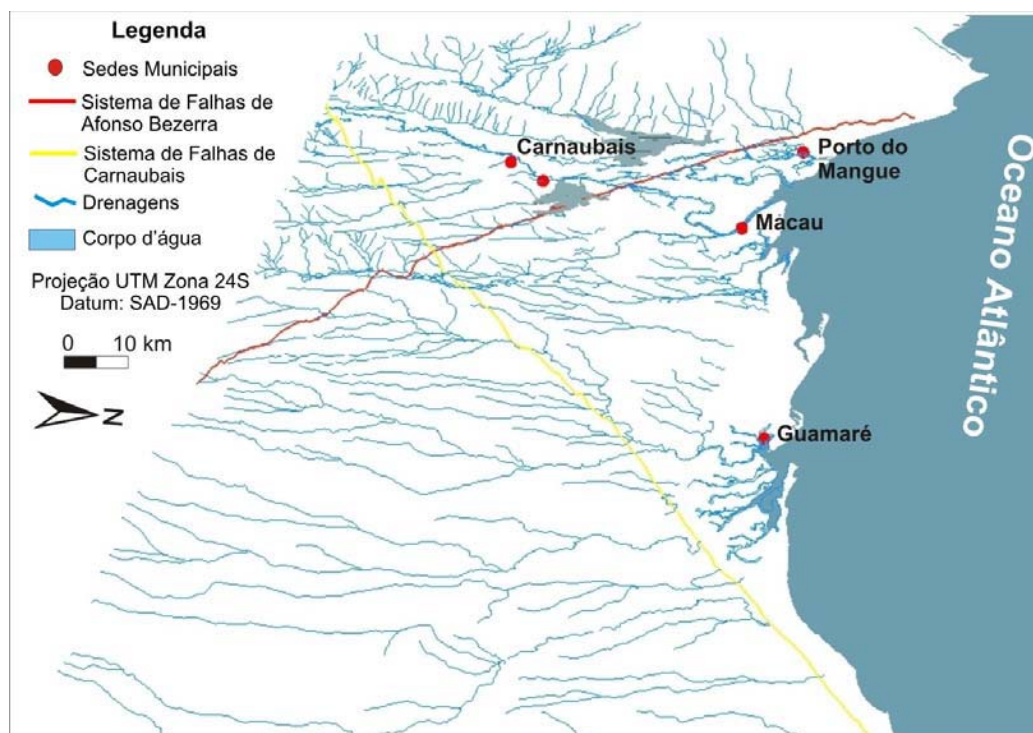


Figura 9 – Modelo tridimensional da rede de drenagens, demonstrando o paralelismo entre canais de drenagem e o *trend* de sistemas regionais de falha.

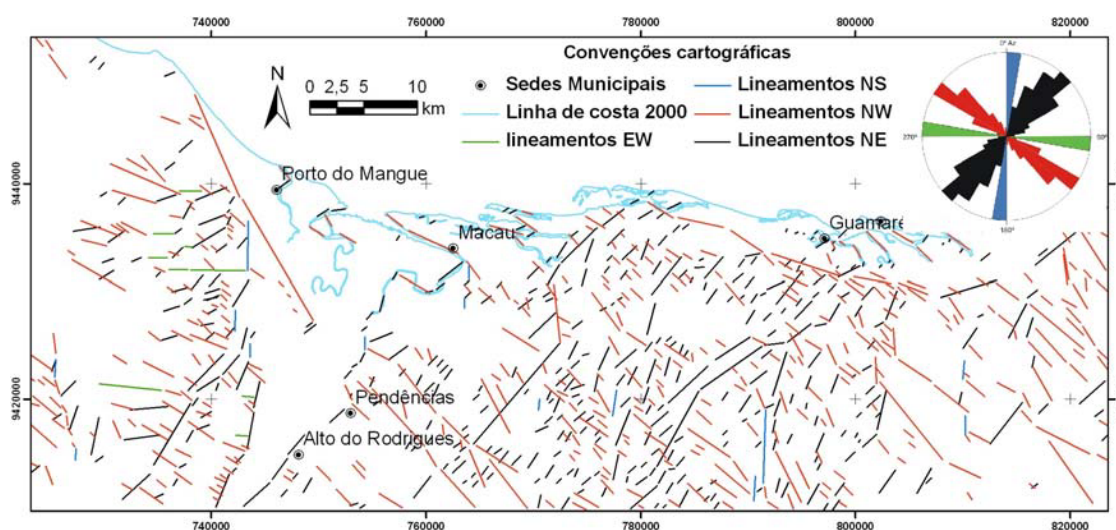


Figura 10 – Mapa de lineamentos topográficos mapeados a partir de dados SRTM, demonstrando ainda o diagrama de rosetas e os sistemas de falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia empregada permitiu ampliar o conhecimento dos aspectos morfológicos da região, sendo um importante subsídio ao planejamento de medidas de contenção em casos de derramamento acidental de óleo, assim como na tentativa de minimizar e/ou evitar danos maiores ao meio ambiente e às comunidades que dependem do uso sustentável dos recursos naturais costeiros para a sua subsistência.

A utilização de um conjunto de dados multifontes (óptico e radar) permitiu um melhor destaque das unidades geomorfológicas, demonstrando a correspondência entre as características geológicas das



unidades e o aspecto topográfico. Do mesmo modo, revelou a clara atuação de elementos da tectônica recente na estruturação do estuário do Rio Assu e da planície costeira adjacente.

A análise dos dados SRTM permite afirmar que as áreas de menor cota altimétrica correspondem às unidades de planície de maré e flúvio-estuarina (Figura 4), nas quais estão instaladas as atividades da indústria salinera, carcinicultura e petrolífera (Figuras 5 e 7).

Os lineamentos topográficos mapeados são paralelos a subparalelos aos padrões regionais do Sistema de Falhas de Afonso Bezerra e Carnaubais, os quais sofreram reativação tectônica no Holoceno, com cinemática oposta à movimentação antiga, influenciando o sistema de escoamento superficial e, conseqüentemente, os padrões de sedimentação costeira proveniente do continente (devido à inclinação da faixa litorânea e à disposição do padrão de drenagem), o alinhamento de encostas de vales, algumas cristas e as falésias costeiras.

Esta compreensão sobre a evolução morfodinâmica da zona costeira no tempo, e todos os fatores (tectônicos, hidrodinâmicos e antrópicos) que influenciam na sua morfologia, é importante para que áreas industriais não sejam instaladas em locais inadequados, prevenindo comportamentos futuros de determinadas feições do terreno diante do quadro de risco ambiental de derramamento de óleo, decorrente da intensa dinâmica costeira da região.

Por fim, a utilização de dados de elevação provenientes de sensores radar (SRTM), combinados com imagens de sensores ópticos, demonstra ser uma excelente ferramenta para a caracterização de ambientes costeiros de alta sensibilidade ambiental, geológica e geomorfológica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaro, V.E., 1998. Análise Conjunta de Dados Geológicos, Geofísicos e de Sensoriamento Remoto do Setor Extremo Nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil, com Ênfase nas Zonas de Cisalhamento Dúcteis Neoproterozóicas. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 397 p.

Amaro, V.E. (Org.) (2002). Diagnóstico e vulnerabilidade ambiental dos estuários do litoral norte e seus entornos. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente - IDEMA. Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico dos estuários do Estado do Rio Grande do Norte e dos seus entornos, SUGERCO/IDEMA, Natal/RN. Relatório Final.

Amaro, V.E. (Org.) (2004). Mapas Temáticos do Uso e Ocupação do Solo e das Unidades Geoambientais dos Estuários Apodi-Mossoró, Açú-Piranhas e Guamaré- Galinhos/RN, na escala de 1:10.000, baseado em imagens IKONOS de 2000 a 2003. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente- IDEMA/RN. Projeto de Zoneamento Ecológico Econômico dos Estuários do Rio Grande do Norte. SUGERCO/IDEMA. Relatório Final. Natal/RN.

Angelim, L.A.A.; Nesi, J.R.; Torres, H.H.F.; Medeiros, V.C.; Santos, C.A.; Veiga Junior, J.P.; Mendes, V.A. 2007. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007. 119 p.

Aquino, M.R., 2006. Mapeamento Geológico, Análise Morfotectônica e Estrutural da Região de Carnaubais – Bacia Potiguar. Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.

Araripe, P.T.; Feijó, F.J. 1994. Bacia Potiguar. Boletim de Geociências da Petrobras, 8(1):127-141. 1994.

Bertani, R. T.; Costa, I. G. e Matos, R. M. D. 1990. Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e “habitat” do petróleo na Bacia Potiguar. In: Raja Gabaglia, G. P. e Milani, E. J., (eds.), Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro, PETROBRAS, pp. 291-310.

Bezerra, F.H.R.; Lima Filho, F.P.; Amaral, R.F.; Caldas, L.H.O.; Costa Neto, L.X. 1998. Holocene coastal tectonics. In: Stewart, I.S.; Vita-Finzi, C. (Ed.). Coastal Tectonics. Geological Society, London. Special Publications, 146, p.279-293, 1998.



Caldas, L.H.O. 1996. Geologia costeira da Região de São Bento do Norte e Caiçara, litoral norte Potiguar. Departamento de Geologia da UFRN, Natal, Monografia de Graduação, 82p.

Dantas, A.R. 2004. Mapeamento estrutural da porção central e sudeste da Falha de Afonso Bezerra, Bacia Potiguar/RN. Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, UFRN, Natal/RN. 112p.

Fonseca, V.P. 1996. Estudos Morfo-tectônicos na área do baixo curso do Rio Açu (Açu-Macau) – Rio Grande do Norte. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado, 103 p.

Moura, E.N. 2004. Mapeamento Estrutural na Região de Felipe Guerra-RN, Bacia Potiguar. Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. 80p.

Paradella, W.R.; Santos, A.R.; Veneziani, P.; Cunha, E.S.P. 2005. Radars imageadores nas geociências: Estado da arte e perspectivas. Revista Brasileira de Cartografia Nº 57/01, 2005. (ISSN 1808-0936). Pág. 56 a 62.

Pessoa Neto, O. 2003. Estratigrafia de seqüências da plataforma mista neogênica na bacia Potiguar, margem equatorial brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 33, n.3, p.263-278.

Silveira, I.M., 2002. Estudo Evolutivo das Condições Ambientais da Região Costeira do Município de Guamaré – RN. Dissertação de Mestrado, PPGG, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 172p.

Soares, U.M.; Rossetti, E.L.; Cassab, R.C.T. 2003. Bacia Potiguar. Fundação Paleontológica Phoenix, 2003. Disponível em: <http://www.phoenix.org.br/Phoenix56_Ago03.htm>. Acesso em: 10 de abril de 2007.

Souto, M.V.S. 2004. Análise multitemporal dos elementos geoambientais da Planície estuarina de Região da Ponta do Tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra, Município de Macau, RN. 2004. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - UFRN, Natal, 2004.

Srivastava, N.K; Corsino S.R. 1984. Os carbonatos de Touros: Petrografia e Estratigrafia. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 11, 1984, Recife. Atas. Recife: SBG, 1984, p. 165-176.