

Caracterização de feições morfoestruturais submersas na região do estuário Rio Jaguaribe (CE) a partir do processamento de imagens Landsat 5 TM

Elicius Feijó Cordeiro¹
José Higor Batista Araujo da Costa¹
Cynthia Romariz Duarte²
Wellington Ferreira da Silva Filho²
José Antonio Beltrão Sabadia²

¹Discentes do curso de graduação em Geologia
Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici – Bloco 912 – CEP 60455-760 – Fortaleza, CE
elicius@gmail.com, hig_182@hotmail.com

²Departamento de Geologia
Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici – Bloco 912 – CEP 60455-760 – Fortaleza, CE
{cynthia.duarte, welfer, sabadia}@ufc.br

Abstract. This paper explores use of the orbital remote sensing images in the investigation of morphstructural features submerged. Images of the Landsat 5 TM satellite, were used looking for the identification and interpretation of morphstructural features in the continental platform at Ceará eastern area. Different techniques of digital processing were applied in this investigation: colored compositions enhance of contrast, different kinds of filters and principal components analysis. Each processing generated a new image and, starting from the interpretation of the generated images it was possible to produce the map of morphstructural features of the study area. The results demonstrated that the employment of orbital images, in the visible region of the electromagnetic spectrum, when submitted to digital processing, improve the characterization and mapping of features submerged at places with low depth of the sheet of water and good transparency. After identification, the features were vectorized based on visual interpretation. These results contributed to the recognition of features of sea bottom that until then were only possible with dive techniques and bathymetry. Thus, this work highlights the importance of remote sensing from the digital image processing, as a practical and accurate method for mapping submerged areas in shallow and clear waters.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, geology, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia.

1. Introdução

O conhecimento do ambiente costeiro e oceânico é de fundamental importância quando se pensa no estudo das mudanças climáticas, na compreensão do impacto do aporte de sedimentos que ocorre em estuários, na dinâmica costeira e praial, na localização de recursos minerais de importância, no estabelecimento de portos ou de estruturas submarinas diversas, entre outros. A plataforma continental, área oceânica mais próxima do continente, contém valiosos recursos naturais e, por isso, tem grande importância ecológica, geológica, econômica e política (Monteiro & Maia, 2010).

Neste sentido, o mapeamento das feições submersas, a partir de imagens de satélite, vem se tornando, cada dia mais, um importante aliado neste conhecimento, sobretudo por se tratar de um método barato e eficaz, para mapeamentos preliminares e norteadores para estudos futuros.

Este trabalho vem apresentar o treinamento em processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, executado por discentes do curso de graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, buscando o aprimoramento e aplicação prática das técnicas.

2. Área de estudo

A faixa litorânea do Estado do Ceará possui uma extensão de aproximadamente 570 km, orientada segundo duas direções principais, ESE-NNW.

A área está localizada no leste do estado do Ceará (Figura 1), aproximadamente entre os paralelos 4°04' e 4°30'S e os meridianos 37°30' e 43°30', compreendendo a foz do rio Jaguaribe. A escolha se deu em função da presença de feições morfoestruturais submersas e à excelente qualidade de imagens obtidas para a área.

Segundo Oliveira (2009) e Monteiro & Maia (2010) a plataforma continental nesta região é formada, por uma zona de alta turbidez, onde a identificação das formas submersas, através de sensoriamento remoto é prejudicada. Na área esta faixa é estimada em cerca de 5km a partir da linha de costa. A seguir, tem-se a zona litorânea (até 15 m de profundidade) formada ainda por sedimentos de interface marinha e continental, onde algumas das formas submersas já podem ser identificadas, sendo as mais comumente encontradas são as dunas submersas (*sandwaves*) e cordões arenosos (*sand ridges*). Na zona intermediária (entre 15 e 30 m de profundidade) há a ocorrência de bancos de algas, cercados por sedimentos não consolidados gerados a partir da quebra das algas calcárias e, a partir dos 30m de profundidade, há a ocorrência de cordões arenosos perpendiculares à costa.

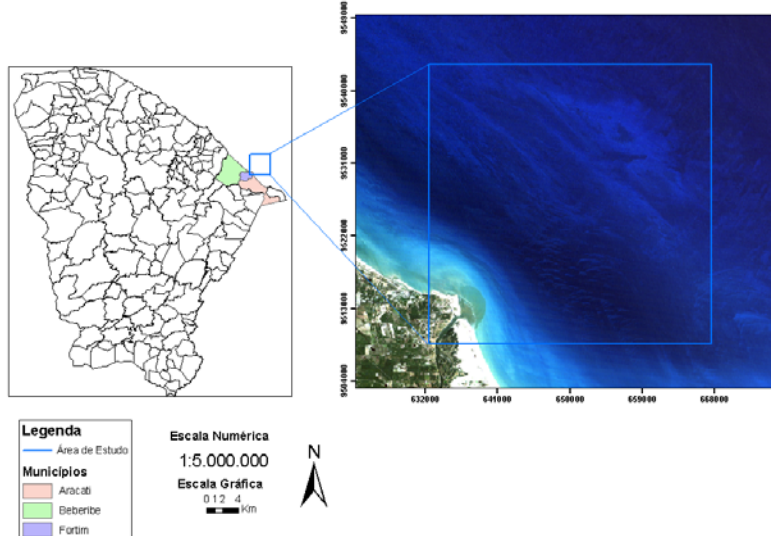


Figura 1: Localização da área de estudo.

3. Metodologia

Imagens de satélites que operam na faixa do visível vêm sendo empregadas com sucesso em estudos de feições submersas, uma vez que, em condições de águas claras, a luz refletida pelo fundo pode ser vista do espaço, e sua intensidade depende do tipo de fundo e da profundidade, tornando assim a batimetria e a identificação de diferentes tipos de fundo oceânicos, aplicações viáveis para estes sensores.

Vianna e Solewicz (1988), pioneiros neste tipo de aplicação de imagens de satélite, colocam que o uso de imagens de satélite para investigações submersas tem amplo emprego para investigações de subsuperfície até a profundidades superiores a 10m, podendo ainda ser observadas feições com clareza até a isóbata de 30m.

A imagem empregada neste trabalho foi do sensor TM do satélite Landsat 5, cena 216/063, de 01/09/2009, obtida por *download* junto ao site do INPE.

Neste trabalho a imagem que contém a área de estudo foi submetida às fases de pré-processamento e de processamentos digitais de imagem (PDI) básicos, buscando o realce das feições de interesse, no caso, as feições de fundo marinho.

A etapa de pré-processamento das imagens digitais refere-se ao processamento inicial dos

dados brutos para georreferenciamento da imagem, pois as imagens de sensores remotos, tais como os satélites, em estado bruto, não têm precisão cartográfica, estando sujeitas a distorções geométricas, tais como rotação da Terra, variação da altitude e velocidade do satélite, entre outros. Para atingir a precisão cartográfica desejada todas as imagens utilizadas foram submetidas ao processo de georreferenciamento, empregando-se para tal a imagem GEOCOVER, migrando-se os dados para projeção UTM, datum WGS-84.

A energia eletromagnética refletida pela superfície terrestre é decomposta e registrada em faixas chamadas bandas. Em função das interações sofridas pela energia eletromagnética, através de seus diversos comprimentos de onda, com os alvos, neste trabalho foram empregadas as bandas do visível do espectro eletromagnético (EEM), uma vez que, é nesta região do espectro que é possível se gerar imagens de corpos submersos, devido ao menor comprimento de onda e maior frequência da radiação eletromagnética. Sensores remotos que operam na região do visível constituem as melhores escolhas para mapeamentos deste tipo de alvo, e portanto, por operar também na faixa do visível, o Landsat 5 TM torna-se um importante produto a ser empregado neste tipo de investigação.

A fim de aumentar o ganho no processo de interpretação de produtos de sensoriamento remoto orbital são efetuados os processamentos de imagens digitais.

Neste trabalho as etapas de processamento empregadas, sempre buscando a valorização das feições e facilidade de interpretação das mesmas, foram composições coloridas, realces de contraste, filtragens direcionais e análise por principais componentes.

As composições coloridas de imagens orbitais visam aumentar a percepção do intérprete a feições sutis, uma vez que o sistema visual humano é pouco sensível a variações em tons de cinza, mas bastante sensível a variação de cores. O espaço empregado para as composições coloridas foi o RGB, em composições coloridas real e falsa-cor.

O realce de contraste tem por objetivo gerar uma maior discriminação dos alvos em uma imagem, através de uma função radiométrica T , onde as variações tonais dentro do intervalo original de tons de cinza são expandidas, forçando a redistribuição dos dados em todos os tons de cinza da radiometria do produto de sensoriamento remoto empregado, no caso em 8 bits. Esta redistribuição aumenta sobremaneira, o caráter distintivo dos alvos em uma imagem de sensoriamento remoto ótico.

Outro processamento comumente empregado neste tipo de estudo é a aplicação de filtros direcionais, um tipo de filtro passa alta, que realçam bordas numa determinada direção, sendo na verdade uma combinação de filtragem passa alta e limiarização de tons de cinza (Crosta, 1992). É necessária atenção no processo de interpretação de imagens submetidas a este tipo de processamento, uma vez que este tipo de filtro pode produzir bordas artificiais que confundiram o intérprete.

Frequentemente correlacionadas, as informações presentes nas bandas espectrais de uma imagem acabam por resultar em redundância de informações dificultando a compreensão e interpretação dos alvos imageados (Mather, 1999), entretanto a análise de bandas espectrais individuais pode ser ineficiente devido à informação redundante presente em cada uma dessas bandas (Gonzalez & Woods, 1992). Neste sentido, a análise por principais componentes (APC), torna-se uma importante ferramenta, ao aplicar uma transformação linear de dados multiespectrais para transladar e rotacionar os dados para um novo sistema de coordenadas, removendo a correlação entre os eixos. Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos, além outros fatores, sendo assim, a análise por principais componentes tem a vantagem de reduzir a dimensionalidade do conjunto dos dados, ou seja, gerar um novo conjunto de imagens, cujas bandas individuais contêm informações não presentes em outras bandas, além de isolar os componentes de ruídos gerados pelos satélites.

Chaves *et al.* (1991) colocam que durante o processo de cálculo das principais componentes, a maioria das informações comuns a todas as bandas multiespectrais é concentrada na primeira componente principal (PC1), sendo assim, esta PC pode assimilar a informação pancromática, enquanto que a informação espectral exclusiva de cada banda fica destinada às outras componentes principais.

4. Resultados e discussão

O mapeamento das feições submersas para a área escolhida foi elaborado a partir da interpretação de diversos produtos gerados através do processamento digital de parte da cena 216/063 do Landsat 5 TM. Todo o processamento foi executado no *software* Envi 4.4.

Além da composição colorida RGB321 clássica para este estudo, foi elaborada a composição em RGB 124 (Figura 2) que, juntamente com a interpretação da banda 1 (Figura 3) e da composição em RGB formada pela banda 1 com filtro direcional aplicado e as bandas 2 e 4 (Figura 4) permitiu a interpretação das feições submersas.

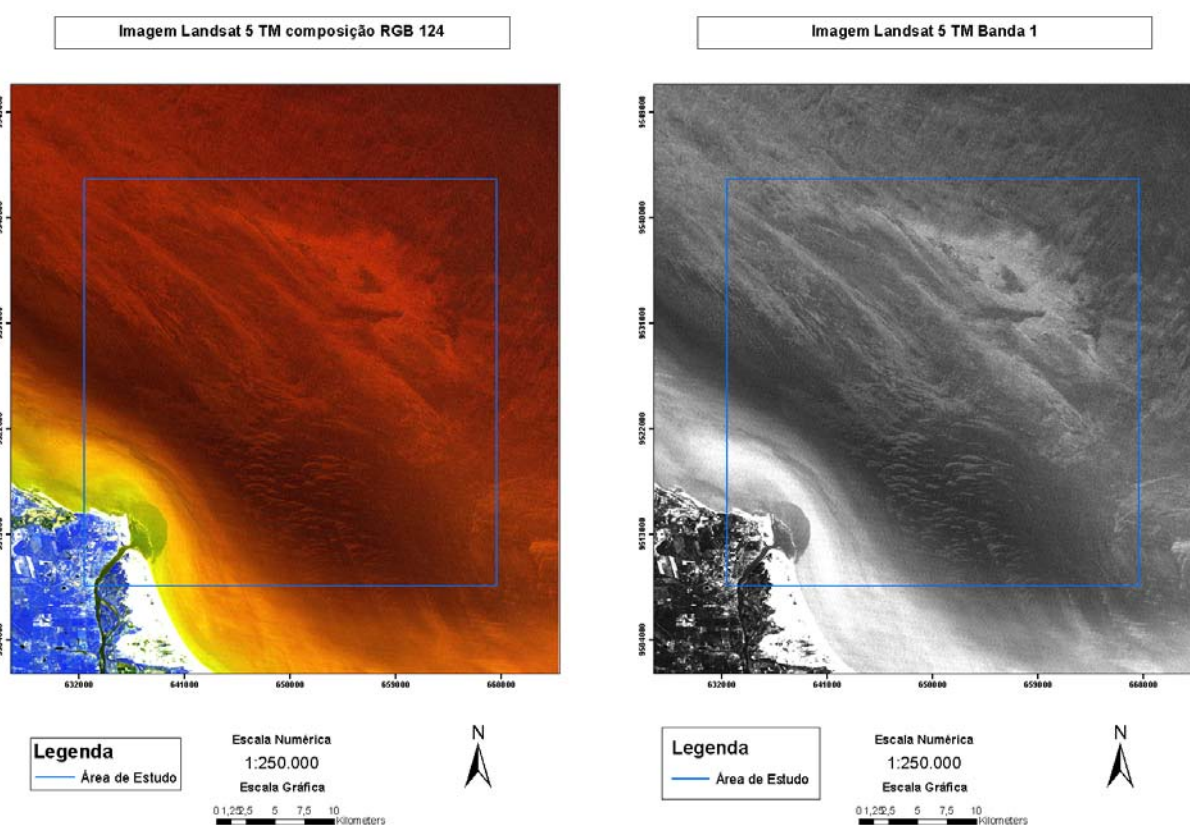


Figura 2: Imagem falsa cor (RGB 124) que evidencia algumas das feições morfoestruturais para a área.

Figura 3: Banda 1 da imagem Landsat 5TM, com feições morfoestruturais destacadas.

O uso da análise por principais componentes (APC) também foi adotado neste trabalho, tendo sido efetuado para as seis bandas multiespectrais deste sistema sensor (excluída do processo a banda 6, região termal do espectro eletromagnético). Uma vez que o processo de análise por principais componentes reduz a dimensionalidade espectral das imagens, observou-se para a área submersa, uma concentração de informações referentes à profundidade e transparência da lâmina d'água na PC2, facilitando a identificação da morfologia de fundo (Figura 5). Já a PC1, ficou muito parecida com uma imagem pancromática, mascarando quase que completamente as feições submersas. O processamento da APC que apresentou o melhor resultado para morfologia de fundo marinho foi o gerado

por matriz de covariância. A tentativa de efetuar composições coloridas a partir das PCs não resultou em imagens que possibilitassem melhora da visualização e interpretação das feições submersas.

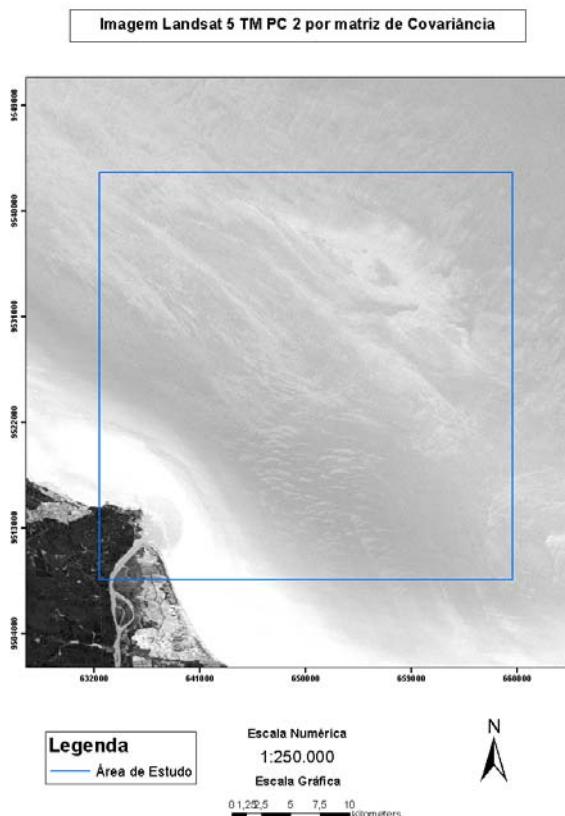
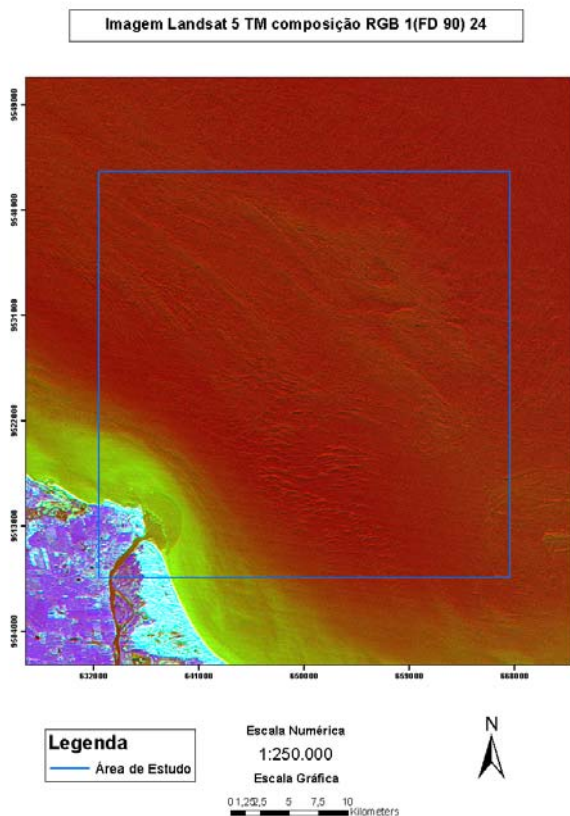


Figura 4: Imagem em RGB efetuada com a banda 1 ao qual foi aplicado o filtro direcional de 90° (Figura 3) e as bandas 2 e 4. Figura 5: Imagem pancromática da PC2, gerada por matriz de covariância.

A imagem gerada pela aplicação do filtro direcional de 90° a banda 1, embora regionalmente não pareça um bom resultado para a identificação das feições submersas, em nível de detalhe mostrou-se uma boa ferramenta na identificação das feições de fundo presentes, como pode ser observado nas figuras 6 e 7.

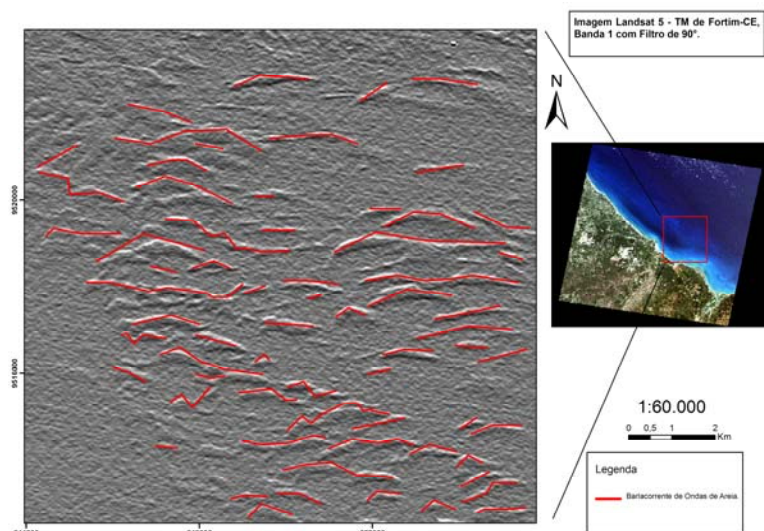


Figura 6: *Sandwaves* interpretadas para a área, sobre imagem Landsat 5 TM, banda 1, a qual foi aplicado o filtro direcional de 90°.

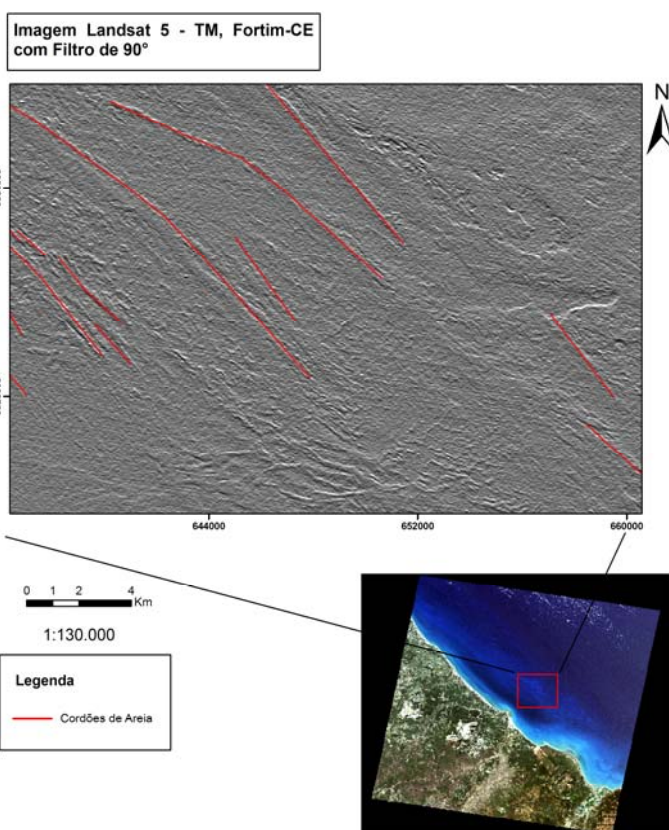


Figura 7: *Sand ridges* (ondulações longitudinais) interpretados para a área, sobre imagem Landsat 5 TM, banda 1, a qual foi aplicado o filtro direcional de 90°.

A interpretação das diversas imagens geradas a partir dos processamentos acima descritos, bem como a integração dos mesmos, possibilitou a elaboração do mapa das feições submersas (Figura 8) para a área de interesse, onde são, facilmente, indetectáveis as marcas de dunas (*sandwaves*) obliquas à linha de costa, e os cordões arenosos (*sand ridges*), além da pluma de sedimentos aportada pelo rio Jaguaribe. As dunas submersas possuem direção preferencial E-W e cristas apontadas para NNW, geradas pelo sentido da corrente. Os cordões arenosos têm direção preferencial NW-SE, e são ondulações longitudinais à linha de costa, morfologicamente podendo ser classificados como dunas longitudinais.

Mapa morfoestrutural para área *off shore* de Fortim (CE).

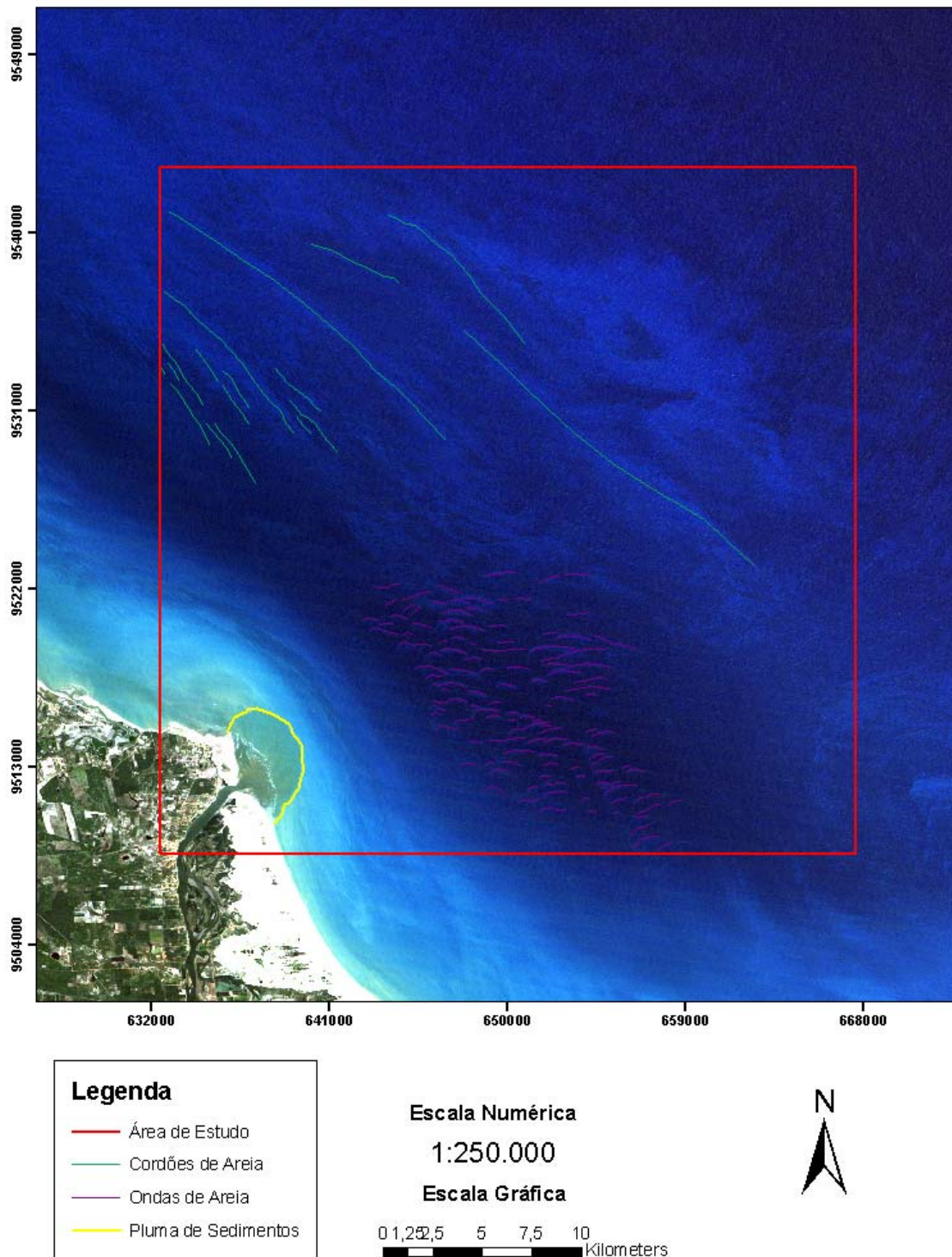


Figura 8: Mapa morfoestrutural das feições submersas interpretadas a partir das imagens processadas.

5. Conclusões

Os resultados obtidos no processamento das imagens Landsat 5 TM demonstraram que o emprego de imagens orbitais ópticas, na faixa do visível, quando submetidas a tratamentos digitais, auxilia a caracterização e mapeamento de feições submersas em locais com baixa profundidade da lâmina d'água e com boa transparência. Estes resultados contribuíram para o reconhecimento de feições de fundo marinho que até então só eram possíveis com técnicas de mergulho e batimetria.

O emprego de imagens Landsat 5 TM ainda possui a vantagem de não onerar os projetos de pesquisa, já que o INPE mantém a política de distribuição gratuita de imagens dos sensores dos satélites CBERS e Landsat através de seu portal na internet, propiciando material a baixo custo e de alta qualidade tanto para uso em pesquisa quanto para uso didático.

6. Referências bibliográficas

- Chaves, P.S.; Sides, S.C.; Anderson, J.A. Comparison of three difference methods to merge multi resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, V.57, n.3, p.295-303, 1991.
- Crosta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Editora Unicamp, 1993. 170 p.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. **Digital image processing**. New York: Addison -Wesley, 1992. 716p.
- Mather, P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images**. West Sussex: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.
- Monteiro, L.H.U.; Maia, L.P. Uso de veículos remotos no estudo do fundo do mar. In: A nova ciência marinha. **Ciência Hoje** 46 (272), p. 38-43, 2010.
- Oliveira, P.R.A. Caracterização morfológica e sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira adjacente aos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí, CE. 2009. 112p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. 2009.
- Vianna, M. L., Solewicz, R. **Feições fisiográficas submarinas da plataforma continental do RN visíveis porm imagens de satélite**. In.: simpósio em sensoriamento remoto, Natal, 1988. Anais... Natal: [s.n.], v.3. 1988. p. 581-587.