

RECONHECIMENTO DAS FEIÇÕES DO COMPLEXO ESTUARINO DE ITAMARACÁ USANDO ÍNDICES ESPECTRAIS

ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS¹
JOÃO RODRIGUES TAVARES JÚNIOR²
ANA REGINA LIMA UCHÔA DE MOURA³
CARMEN MEDEIROS⁴

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

¹Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife – PE

²Pós-Graduação em Geociências, Recife – PE

⁴Departamento de Oceanografia, Recife – PE

³Escola Politécnica de Pernambuco – UPE

{analucia, rt}@ufpe.br; aruchoa@gmail.com;
tritton@elogica.com.br

RESUMO – As aplicações de sensoriamento remoto voltadas para manguezais cobrem o monitoramento, mapeamento e o inventário destas áreas, bem como mudanças na sua vegetação para subsidiar a gestão. A área teste selecionada insere os municípios de Itamaracá, Igarassu, Itapissuma e Goiana. Esta área está inserida na bacia hidrográfica litorânea GL-1 do estado de Pernambuco, nordeste do Brasil. Este artigo apresenta um processamento digital de imagens utilizando o índice NDVI para obter uma análise visual do uso e ocupação do solo. O resultado é um produto colorido pra visualizar os objetos na cena.

ABSTRACT - Remote sensing applications in mangrove studies cover monitoring, mapping and inventory of these areas, as well as detection of changes on their vegetation in order to subsidize purposes of management. The test area covers the Itamaracá city and the areas from Igarassu, Itapissuma and Goiana cities. It is inserted in the GL-1 group of the coastal hydrographic basis in Pernambuco State, Northeast, Brazil. This paper presents a digital image processing with NDVI to obtain a visual analysis of the use and occupation of soil. The result is a color product to visualize the objects in the scene.

1 INTRODUÇÃO

O litoral do estado de Pernambuco possui, em toda sua extensão, baixas cotas de altitude, chegando, em alguns trechos, a apresentar-se abaixo do nível do mar. Esse fato faz com que as águas do Oceano Atlântico penetrem no relevo costeiro, criando um ambiente flúvio-marinho, que favorece o surgimento de uma zona estuarina.

Os estuários são áreas onde ocorrem a reprodução e o crescimento da maioria das espécies marinhas e funcionam como proteção natural da linha de costa contra a invasão das marés.

Por outro lado, estas áreas possuem grande beleza paisagística e abrigam um complexo ecológico formado por diversas espécies da fauna e da flora (espécies de mangue), amplamente adaptadas às condições do solo (salino e lamoso).

Os manguezais brasileiros são protegidos por diversos mecanismos legais, nas esferas federal, estadual e municipal. No entanto, apesar dessa preocupação legal,

o que se observa é a crescente destruição das florestas de mangue ao longo de todo o litoral brasileiro.

Vários são os agentes de degradação dos manguezais, porém, atualmente merece destaque a crescente pressão exercida pela carcinicultura, sobretudo nos estados do nordeste, com destaque para Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará, onde essa atividade tem apresentado crescimento desordenado, sem o devido controle por parte dos órgãos ambientais.

A carcinicultura em áreas de apicum e florestas de mangue têm provocado sérios prejuízos ambientais, sociais e econômicos, em escala local e regional.

As principais áreas estuarinas do litoral do Estado de Pernambuco foram transformadas em reservas biológicas (Lei nº 6.938/81), e definidas como áreas de proteção ambiental, através da Lei nº 9.931 de 11 de dezembro de 1986. A "Lei de Proteção de Áreas Estuarinas", como ficou conhecida, não chegou a ser regulamentada no prazo de 180 dias, conforme previa o seu Art. 9º. Em junho de 2003, o Governo de Pernambuco criou um grupo de trabalho interinstitucional para a regulamentação da lei 9.931.

Morais (2000) trata em sua tese dos aspectos legais e ocupação do solo para áreas litorâneas e destaca o município de Itamaracá como exemplo estudado e mostra que a ocupação desordenada é um fator de risco para as áreas estuarinas. Além disto, a ilha é explorada sob os aspectos ecológico, histórico e econômico, este último em função das atividades turísticas ali desenvolvidas.

Ao longo do pequeno litoral pernambucano com apenas 187 Km, situam-se 13 áreas protegidas por Lei, entre elas as dos rios Capibaribe, Beberibe e Paratibe que, devido a sua completa descaracterização, em decorrência da ocupação urbana, são consideradas casos especiais de proteção. Estas áreas de proteção ambiental de Pernambuco estão identificadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Proteção das Áreas Estuarinas no Litoral de Pernambuco.

Denominação	Área (ha)	Rios principais	Municípios
Estuário dos rios Goiana e Megaó	4.776	Goiana/Megaó	Goiana
Estuário do rio Itapessoca	3.998	Itapessoca	Goiana
Estuário Jaguaribe	212	Jaguaribe	Itamaracá
Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz	5.292	Igarassu-Botafogo-Maniquara-Aratoca	Itamaracá-Itapissuma-Igarassu-Goiana
Estuário do rio Timbó	1.397	Timbó-Aroio Desterro	Paulista-Abreu e Lima-Igarassu
Estuário do rio Paratibe	-	Paratibe-Fragoso	Pulista-Olinda
Estuário do rio Beberibe	-	Beberibe	Olinda-Recife
Estuário do rio Capibaribe	-	Capibaribe-Pina-Jordão-Tejipió-Jiquiá	Recife
Estuário dos rios Jaboatão e Pirapama	1.284	Jaboatão e Pirapama	Cabo e Jaboatão
Estuário dos rios Sirinhaém e Maracaípe	3.335	Sirinhaém-Maracaípe	Ipojuca - Sirinhaém
Estuário do rio Formoso	2.724	Formoso-Dos Passos-Ariquindá	Sirinhaém - Rio Formoso
Estuário do rio Mamucabas e Ilhetas	402	Mamucabas e Ilhetas	Tamandaré e Barreiros
Estuário do rio Una	553	Una	Barreiros - São José da Coroa Grande
Total	23.973*	-	-

Fonte: Proteção das Áreas Estuarinas – FIDEM - 1996

* O levantamento das áreas estuarinas foi feito com base nas cartas fotográficas elaboradas pelo Ministério do Interior e Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, nos anos de 1970/71. (Técnicos e ambientalistas trabalham com esses dados até hoje, por falta de novos estudos.)

O manguezal associado ao complexo estuarino de Itamaracá e ao estuário do rio Jaguaribe é um dos focos da nossa pesquisa sendo um ecossistema com alta diversidade biológica. Esse ecossistema é considerado uma Área de Preservação Permanente – APP, pelo CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO, Lei Federal nº 4.771, de 15.09.1965.

Por ser uma área atrativa em termos econômicos, a região em estudo vem sendo alvo de implantação de diversos empreendimentos que, podem trazer impactos negativos de ordem ambiental e social.

Dentre os empreendimentos que mais se destacam, encontra-se a atividade de turismo, extração mineral e o cultivo do camarão (carcinicultura). Autores como Moraes (2000) e Guimarães (2007) enfatizam para a área de Itamaracá suas análises enfocando a legislação vigente.

Uma forma de obter um diagnóstico e uma avaliação de tendências da zona costeira e áreas estuarinas é através do Sensoriamento Remoto e do Processamento de Imagens utilizando os aspectos temporal, espectral e

espacial do(s) sensor(es) em questão. A partir destas técnicas é possível localizar no terreno diversos aspectos de interesse, facilitando assim o trabalho de campo, economizando tempo e recursos financeiros para área estudada. Portanto, as técnicas de Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens podem ser vistos como alternativas para estudos preliminares na zona costeira (Gherardi, 2005).

Nesse trabalho buscou-se, a partir da análise de imagens associando índices espectrais e combinações coloridas, fazer um reconhecimento das feições que compõem a área do complexo estuarino de Itamaracá.

1.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada no litoral norte do Estado de Pernambuco e contida na bacia hidrográfica litorânea GL-1 (Figura 1 (a)). Os municípios de Itamaracá e, parcialmente, os municípios de Igarassu, Itapissuma e Goiana (Figura 1(a)) estão contidos na área estudada.

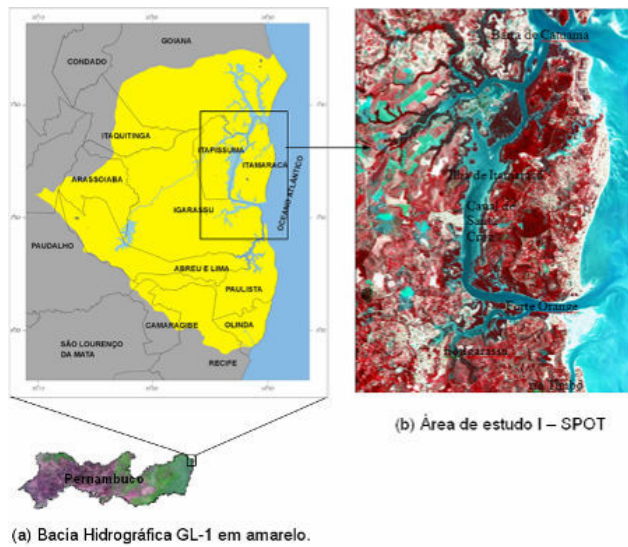


Figura 1 – Sistema estuarino tropical de Itamaracá.

A área é caracterizada pela presença de um sistema estuarino tropical, formado pelo canal de Santa Cruz e seus estuários adjacentes (estuários dos rios Catuama, Carrapicho, Arataca e Botafogo ao norte, Congo, Igarassu e Paripe). Esse canal possui a forma de U e está conectado ao oceano Atlântico Sul, por dois braços (Figura 1(b)).

Devido a forma do canal em ‘U’, o sistema exibe um conjunto de características físicas e dinâmicas dominantes e respostas próprias e diferentes de estuários de planície costeira da América do Norte (MEDEIROS et al, 2001).

2 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DE ZONA COSTEIRA

Os sensores imageadores ou não imageadores podem auxiliar no entendimento da ecologia bem como avaliar alterações em Zonas Costeiras.

A escolha do sensor e de suas imagens dependerá do objetivo a ser alcançado. A Tabela 2 mostra as faixas espectrais em micrometros do sensor ETM+ do Landsat7 usado neste trabalho. A Figura 2 mostra que alvos distintos possuem respostas espectrais que as individualiza.

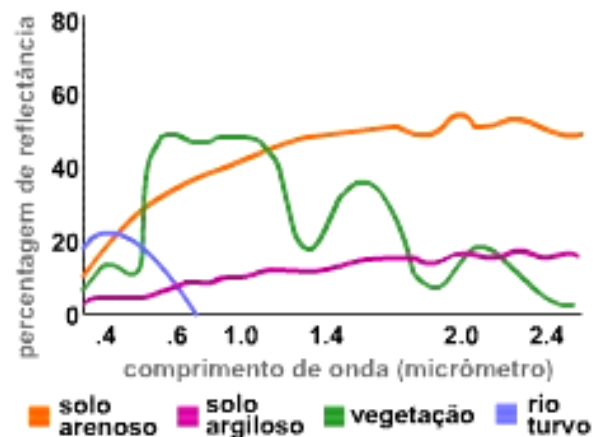


Figura 2 – Comportamento Espectral de alvos. Fonte: http://redin.lec.ufrgs.br/images/f/f9/83_Comportamento_espectral.jpg acessado em 22/07/2008.

Tabela 2 - faixas espectrais do sensor ETM+ do Landsat7

Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
ETM+	0.45 0.52	0.53 0.61	0.63 0.69	0.78 0.90	1.55 1.75	10.4 12.5	2.09 2.35	0.52 0.90

O Sensoriamento Remoto no Gerenciamento Costeiro pode ser dividido em dois grandes grupos: mapeamento ambiental e monitoramento ambiental. No primeiro caso, produz-se a informação cartográfica para suprir a necessidade de informações atualizadas da área. No segundo caso, desejasse acompanhar a evolução da variação de parâmetros ambientais em um intervalo de tempo (Gherardi, 2005).

A maior parte das aplicações costeiras atualmente esta voltada para as faixas espectrais do visível e do

infravermelho, inclusive a faixa do termal. Aplicações com RADAR onde a faixa de interesse é a de microondas também tem sido utilizada em alguns casos (Gherardi, 2005).

Para analisar a área com Sensoriamento Remoto é necessário o conhecimento dos aspectos fisiográficos e físicos da área. No caso da ilha de Itamaracá, estas informações podem ser encontradas em Morais (2000).

Autores como Barros (2003), Morais (2000), Mendonça (2005) e Mendonça et al. (2006) estudaram o complexo estuarino da ilha de Itamaracá-PE e mostram resultados com posicionamento espacial de suas amostras na análise quantitativa da área estuarina.

Moura et al (2002) confeccionaram um mapa das áreas estuarinas do canal, através de imagens de satélite SPOT, melhorando a análise e o planejamento para uso do solo e o monitoramento ambiental.

3 PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

O processamento de imagens digitais tem como objetivo evidenciar, reconhecer e/ou classificar os alvos de interesse.

A análise por banda, além das combinações RGB e de outros processamentos, também podem mostrar detalhes importantes dos alvos para a extração de feições.

Neste trabalho utilizam-se técnicas de combinações de bandas associadas a índices espectrais para evidenciar os alvos. Com isto facilita-se a visualização e a discriminação do uso e ocupação do solo sem a necessidade de classificar a imagem.

3.1 Índices espectrais

Um exemplo bastante utilizado na literatura em aplicações de processamento de imagem de Sensoriamento Remoto é a razão de bandas (Mather, 1987). Destaca-se a combinação da banda na faixa do vermelho (RED), e a do infravermelho próximo (NIR). Esta razão (NIR)/(RED) mostra uma relação com o estado da vegetação. Quanto mais clara a região, maior é o grau do vigor da vegetação. Este índice é também denotado de NDVI (Vegetação por Diferença Normalizada).

Os índices de vegetação além de serem indicadores do crescimento e do vigor de vegetação verde podem ser utilizados no diagnóstico de vários parâmetros biofísicos, como: biomassa, IAF (índice de área foliar), uso do solo, atividade fotossintética produtividade, estresse hídrico, entre outros.

Exemplos de aplicação de NDVI para estudos de dinâmicas de vegetação e monitoramento de cobertura da terra podem ser vistos em Tanser 1999; Ruiz-Luna and Berlanga-Robles 1999; Gupta 2000; Yuan and Bauer 2006; Rosembach 2005; Moreira 2005; Baptista 2005 e Silva 2006.

3.2 Índice simples NIR/RED e o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)

Huete (1988), Ehipanio et al (1996) e Centeno (2004) mostram uma equação que calcula o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI). Quando L=0 recai no modelo NDVI simples.

$$SAVI = ((\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L)) * (1 + L) \quad (1)$$

Onde L é a constante que determina empiricamente a influência da vegetação na reflectância do solo. O valor utilizado de 0,5 é adequado para diferenciar tipos de vegetação e usado neste artigo.

4 METODOLOGIA E RESULTADOS

A metodologia consiste em:

1. Analisar as imagens com os índices apresentados no item 3 separadamente, compara-los visualmente com a imagem TM543.
2. Propor uma combinação colorida a partir dos índices que mostrem resultados satisfatórios na análise visual.

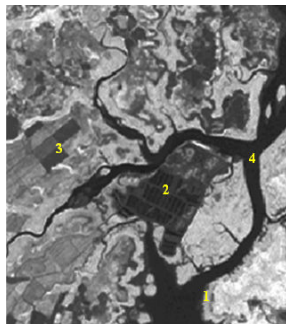
4.1 Resultados para o Índice simples NIR/RED e o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI)

A Figura 3 mostra a parte norte da ilha de Itamaracá com os índices simples (NDVI) e SAVI. Tem-se também a identificação dos alvos com uma numeração de 1 a 4. 1: área de mangue; 2: carcinicultura; 3: solo exposto e 4: alvo água. Em ambos os casos valores alto de nível de cinza representam vegetação. Valores baixos representam água e solo exposto.

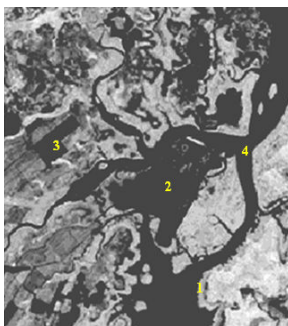
Comparando o índice simples TM4/TM3 para o sensor ETM+ do LANDSAT7 e o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) para este mesmo sensor (Figura 1), percebe-se que o caso do índice simples (NDVI) tem-se uma diferenciação da área de carcinicultura (2) e solo exposto (3). Já para o SAVI a água (4), áreas de carcinicultura (2) e solo exposto(3) estão com níveis de cinza baixos e com baixo contraste entre si.



(a) TM543



(b) (TM4/TM3)



(c) SAVI

Figura 3 - Índices espectrais.

Em ambos os casos (Figura 3), a vegetação de mangue se mostra com níveis de cinza altos. Por outro lado, a razão simples (NDVI) discrimina melhor os alvos água, vegetação de mangue e áreas de carcinicultura. Devido a este resultado optou-se por usar o NDVI na análise das composições coloridas.

4.2 Resultados para a combinação colorida TM5Vneg(NIR/RED)TM3

A Figura 4 mostra combinações coloridas e as imagens TM543 e a imagem em nível de cinza TM4/TM3 (NDVI). Observa-se que a solução encontrada para a combinação mostrada na Figura 4(c) é mais eficiente visualmente para alvos do continente. Já para visualizar áreas de menor profundidade ou com acúmulo de vegetação destaca-se a representação da Figura 4 (d) que utiliza no canal R o NDVI, no canal G a banda TM3 e no canal B a banda TM5.

Na Figura 4(c) e na Figura 5 associa-se ao canal R a banda TM5, ao canal G o negativo da razão de bandas ($V_{inv} = 255 - (TM4/TM3)$) e no canal B a banda TM3.

A numeração associada a Figura 5 identifica cada tipo de alvo a seguir mostrada.

Região 1: Vegetação instalada em terrenos predominantemente secos, em cotas hipsométricas maiores (principais interflúvios), e nos principais talwegues ocupados ou não por cursos d'água.

Região 2: Vegetação de terrenos susceptíveis periodicamente a influencia da maré, predominantemente úmidos ou inundados. A vegetação exibe um aspecto mais verde ao longo do ano, sendo típica de ambientes estuarinos.

Região 3: Visualização da área de carcinicultura em verde. Observa-se que na área do rio Jaguaribe existe a ocupação de carcinicultura no curso do rio.

Região 4: A área em azul apresenta uma baixa profundidade ou área com muitos sedimentos

Região 5: A cor clara apresentada identifica solo exposto.

Região 6: Área urbana possui a mesma cor da área de solo exposto no entanto a textura da primeira é bem diferente do solo exposto (textura mais lisa).

Na ilha de Itamaracá é mais expressiva em área, a vegetação da **Região 1**, devido ao relevo. Nas áreas de mangue, ela exibe a **Região 2**. Esta figura mostra os talhões de cana e solo em preparação para o plantio com um bom contraste. Na área da ilha predomina o cultivo de coco da baía, mas não se obtém um bom contraste para este caso para a sua classificação.

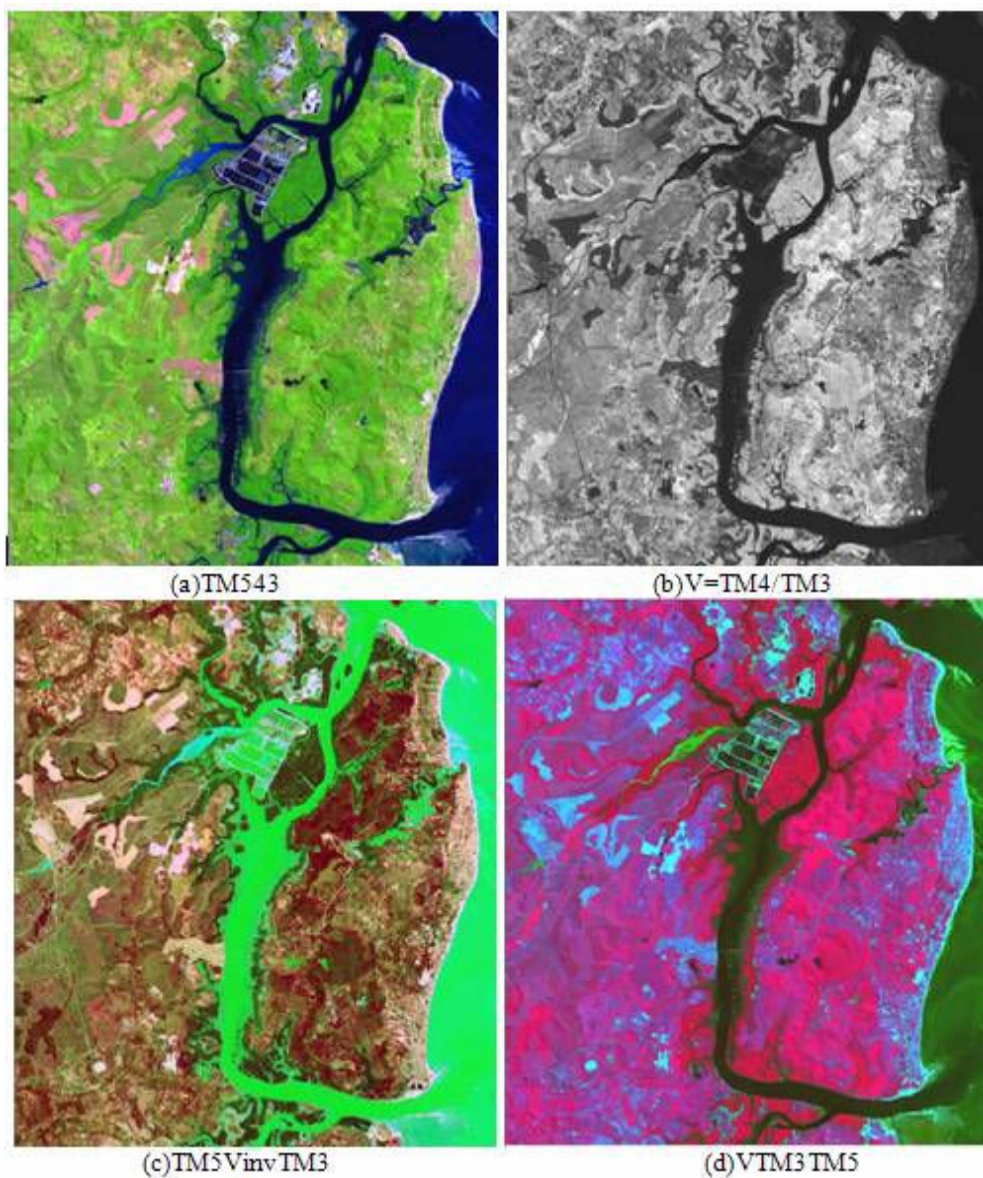


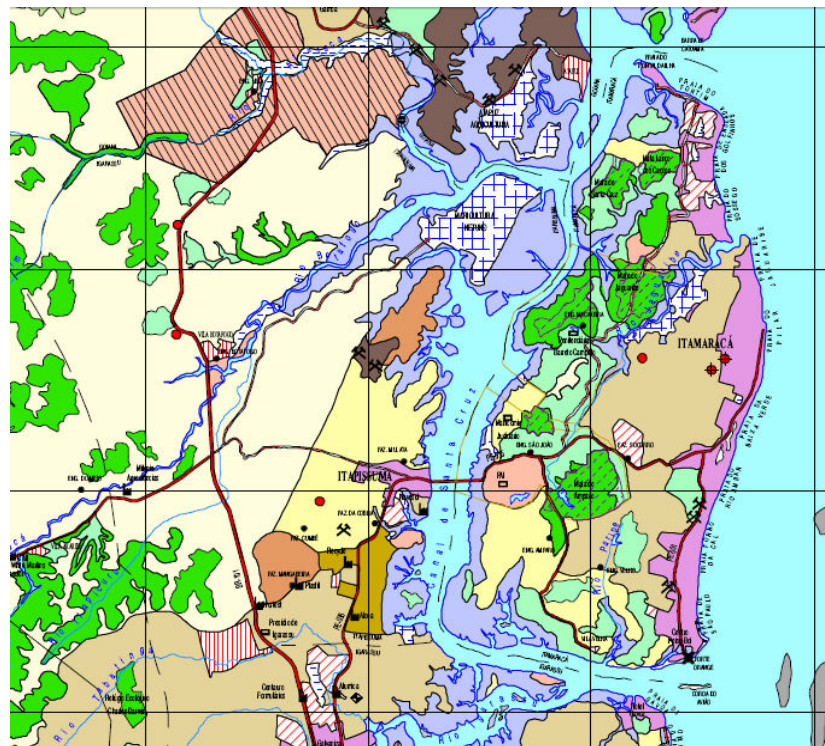
Figura 4 – Combinações coloridas para o índice simples – NDVI ($V = TM4/TM3$) e a imagem TM543.



Figura 5 - Interpretação da imagem TM5VnegTM3

O Projeto GERCO (Gerenciamento Costeiro) da CPRH possui um mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2000. Nele identifica-se vetorialmente regiões de

mata, mangue, aqüicultura e área urbana (Figura 6). Comparando-se este mapa ao resultado obtido na Figura 5 tem-se uma boa visualização do uso e ocupação do solo.



LEGENDA

Figura 6 – Mapa adaptado do Projeto GERCO (Gerenciamento Costeiro) da CPRH. Fonte: www.cprh.pe.gov.br

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As imagens de sensoriamento remoto e seu processamento digital podem auxiliar em áreas estuarinas.

Neste trabalho foi focado a combinação RGB a partir de índices espectrais utilizando imagens ETM+ do Landsat 7. Chegou-se a um produto colorido de interesse para análise visual e que pode ser também usado para classificação.

No caso de estudos de análise de tendências anuais recomenda-se utilizar mesma metodologia do artigo em anos distintos, porém obedecendo a mesma época chuva ou de verão para a análise qualitativa.

No caso de uma análise quantitativa é necessária a delimitação dos polígonos de interesse para obtenção da tendência e área de interesse.

AGRADECIMENTOS

Ao auxílio do CNPq N. processo: 480697/2004-3.

A. L. B. Candeias, J. R. Tavares Júnior, A. R.U. Moura; C. Medeiros

REFERÊNCIAS

BARROS, L. C., 2003. **Estudos sedimentológicos na plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do Canal de Santa Cruz e o rio Timbó**, norte do estado de Pernambuco. Recife, Dissertação de Mestrado em Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE, 85 p.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Ed. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 2004.

GHERARDI, D. F. M.; CARVALHO, M. **A utilização de imagens orbitais para a conservação e gestão ambiental da zona costeira**. In: SOUZA, R. B. Oceanografia por satélites. 1. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. cap.17, p.259-274.

- GUIMARÃES, A. S. **Análise Multitemporal da Superfície de Manguezal do Litoral Norte de Pernambuco: A Participação da Aqüicultura na Conversão de Áreas de Mangue em Viveiro.** Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura. UFRPE, Mestrado. 2007.
- MEDEIROS, C; KJERFVE, B.; ARAÚJO, M.; NEUMANN, S. **The Itamaracá Estuarine Ecosystem.** Brazil In: Coastal Marine Ecosystems of Latin America. 1 ed. Berlin: Springer Verlag, 2001, v.1, pp. 71-81.
- MENDONÇA, F. J. B. **Posicionamento de Alta resolução – Adequação e Aplicação à Morfologia Costeira.** Recife, UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Tese de Doutorado em Oceanografia. 94p. 2005.
- MENDONÇA, F. J. B. MEDEIROS, ROLLNIC, C. Morphogenesis of the Coroa do Avião, a Sand Bank/Barrier Islet at Northeastern-Brazil. **Journal of Coastal Research** Special Issue 39, 2006.
- MORAIS, M. Z. C., 2000. **Utilização do grau de desenvolvimento urbano (GDU) com instrumento de gestão ambiental: uso e ocupação de zona costeira da Ilha de Itamaracá.** Recife, UFPE, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais. 133p.
- MOURA, A. R. U.; SÁ, L. T. L.; LIMA, G. M.; ALVES, F. P. **Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Identificação de Áreas Estuarinas do Canal de Santa Cruz e Rio Jaguaribe – Pernambuco.** COBRAC 2002 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis · 6 a 10 de Outubro 2002. disponível em: http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2002/043/043.htm, acessado em 22 de julho de 2008.
- BAPTISTA, G. M; CARVALHO, J. M; CAMACHO, R. G. V; RIBEIRO, R. J; BIAS, E. S; ZARA, L. F. **Comportamento sazonal da vegetação da caatinga na região de Lucrécia, RN, em 2003 e 2004, por meio dos dados do sensor CCD do CBERS-2.** Disponível em: www.obt.inpe.br/cbers/cbers_XIISBSR/550_BaptistaG_MCarvalhoCamachoRibeiroBiasZara.pdf, acesso 20 de setembro de 2006.
- GUPTA, R. K; VIJAYAN, D; PRASAD, T. S; TIRUMALADEVI, N. C. Role of bandwidth in computation of NDVI from landsat TM and NOAA AVHRR bands. *Advances in Space Research*, Volume 26, Issue 7, 2000, Pages 1141-1144
- MATHER, P. M. **Computer Processing of Remote Sensed Images, a Introduction.** University of Nottingham, England, 1987.
- MOREIRA, M. A; CARDOSO, V; FREITAS, R. M; RUDORFF, B. F. **Comparação da resposta espectral de alvos em imagens CBERS-2/CCD e LANDSAT-5/TM.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1027-1034.
- ROSEMBACK, R; FRANÇA, A. M; FLORENZANO, T. G. **Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana,** disponível em: martem.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.16.17.49/oc/1075.pdf, acesso 20 de setembro de 2006.
- RUIZ-LUNA, A; BERLANGA-ROBLES, C. A. **Modifications in Coverage Patterns and Land Use around the Huizache-Caimanero Lagoon System, Sinaloa, Mexico: A Multi-temporal Analysis using LANDSAT Images.** Lab. de Manejo Ambiental CIAD-Mazatlán, P.O. Box 711, Mazatlán, Sin, México. 1999. Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/n-index.php>, acessado em 20 de setembro de 2006.
- SILVA, C. R; SILVA, M. R; RIBEIRO, M; CENTENO, J. S. **Análise Temporal da Variação da Mata Ciliar do Rio São Francisco na Região do Norte de Minas Gerais com Base nas Imagens do Sensor CCD do CBERS.** COBRAC 2006. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC, Florianópolis. 2006.
- TANSER, F. C; PALMER, A. **The application of a remotely-sensed diversity index to monitor degradation patterns in a semi-arid, heterogeneous, South African landscape.** Department of Geography, Rhodes University, P.O. Box 94, Grahamstown, 6140, South Africa. ARC Range and Forage Institute, P.O. Box 101, 1999)
- YUAN, F; BAUER, M. E; Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, 2006.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- EPIPHANIO, J. C. N; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de Vegetação no Sensoriamento Remoto da Cultura do Feijão. **Pesq. Agropec. Brás.**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, jun. 1996.