



**Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Faculdade de Oceanografia
Trabalho de Conclusão de Curso**

ADALBERTO RABELO AKEL

**MAPEAMENTO E DETECÇÃO DE MUDANÇAS NAS ÁREAS
DE MANGUEZAL NO NORDESTE DO PARÁ A PARTIR DA
CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS EM IMAGENS
TM LANDSAT-5**

**BELÉM - PARÁ
FEVEREIRO - 2010**

ADALBERTO RABELO AKEL

MAPEAMENTO E DETECÇÃO DE MUDANÇAS NAS ÁREAS DE MANGUEZAL NO
NORDESTE DO PARÁ A PARTIR DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS EM
IMAGENS TM LANDSAT-5.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Oceanografia da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de Bacharel
em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Walfir Souza Filho

BELÉM

2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

A313m Akel, Adalberto Rabelo

Mapeamento e detecção de mudanças nas áreas de manguezal no Nordeste do Pará a partir da classificação orientada a objetos em imagens TM Landsat-5. / Adalberto Rabelo Akel; Coorientador: Pedro Walfir Souza Filho – 2010

29 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia)
– Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2009.

1. Sensoriamento remoto. 2. Análise temporal. 3. Mudanças costeiras. 4. Manguezal. 5. Nordeste do Pará. I. Universidade Federal do Pará. II. Souza Filho, Pedro Walfir, *orient.* III. Título.

CDD 20º ed.: 621.3678098115

ADALBERTO RABELO AKEL

MAPEAMENTO E DETECÇÃO DE MUDANÇAS NAS ÁREAS DE MANGUEZAL NO
NORDESTE DO PARÁ A PARTIR DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS EM
IMAGENS TM LANDSAT-5.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Oceanografia da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de Bacharel
em Oceanografia.

Data de aprovação: 01/02/2010

Conceito: Bom

Banca examinadora:



Prof. Pedro Walfir Souza Filho – Orientador
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará



Prof. Alexandre Melo Casseb do Carmo – Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof.ª Odete Fátima Machado da Silveira – Membro
Doutora em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Aos meus pais, Alberto e Sandra, pelo empenho, entusiasmo, força, amor e dedicação que me deram ao longo de minha vida.

A Thayane Araújo, MEU GRANDE AMOR, que me aturou em diversos momentos de minha vida e sempre me deu atenção e força para seguir.

AGRADECIMENTOS

Aos meus Pais, que dedicaram grande parte de suas vidas esforçando-se para que tivesse uma boa educação.

A Thayane Roberta C. de Araújo, meu AMOR, que passou junto comigo boa parte da graduação e me ajudou a superar as dificuldades e injustiças.

Ao professor e orientador Dr. Pedro Walfir que permitiu que realizasse este trabalho na reta final do curso, no momento que tinha ficado sem orientador.

Aos colegas (Paulo, Helenice, Lourival, Afonso, Tommy, Wilson) do Laboratório de Análises de Imagem do Trópico Úmido (LAIT), pelos conselhos e sugestões, principalmente ao colega Wilson que ajudou no (pré) processamento na utilização dos softwares, bem como o colega Tommy que repassava o que aprendia no laboratório para mim, quando tinha que estar ausente devido às aulas.

Ao professor Carlos Souza Júnior em nome do colega Gustavo Cardoso que forneceram um script do software ENVI que pude utilizá-lo sendo mais rápido no processamento, assim como os ensinamentos que este me forneceu.

“Aprendi o silêncio com os faladores, a tolerância com os intolerantes, a bondade com os maldosos; e, por estranho que pareça, sou grato a esses professores.”

Gibran Khalil Gibran

RESUMO

Estuários são lugares de transição entre o continente e os oceanos, onde os rios encontram com o mar, resultando na diluição da água salgada. Neste ambiente a que, estabelece o desenvolvimento de uma vegetação típica da região tropical conhecida como manguezal. Este ecossistema é uma boa indicação em relação às mudanças costeiras, podendo ser utilizado como parâmetro para avaliar as mudanças de nível do mar, dado que a linha de costa sofre com os processos de acreção e erosão. As modificações costeiras decorrentes destes processos podem ser detectados por dados de satélites através de séries temporais em diversas escalas, fazendo dos manguezais um excelente bio-indicador para detecção das mudanças costeiras. Neste trabalho foram processadas digitalmente imagens TM Landsat-5 dos anos 1984 e 2008. As técnicas de processamento incluíram a correção atmosférica, ortorretificação, calibração, segmentação e classificação orientada a objetos. Como resultados foram mapeados as classes massa d'água, solo exposto, planalto costeiro, planície e cordões arenosos e manguezais. A série temporal constatou que houve aumento de 10 % da vegetação de manguezal, para o interior do continente, devido, a salinização mais acentuada próximo ao litoral tendo com uma das razões a elevação de nível do mar que pode ser decorrente das mudanças climáticas ou da (neo) tectônica global.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Análise temporal. Mudanças costeiras. Manguezal. Nordeste do Pará.

ABSTRACT

Estuaries are transitional places between the continent and the oceans, where the river meets the sea, resulting in dilution of seawater. In this environment, is established the development of a typical tropical vegetation known as mangroves. This ecosystem is a good indication in relation to coastal changes, which can be used as a parameter to assess changes in sea level, since the coastline is under processes of accretion and erosion. The coastal changes resulting from these processes are detected by satellite data in time series in different time scales, making a mangrove excellent bio-indicator for the detection of coastal changes. The images used in this work was digitally processed Landsat TM-5 of the years 1984 and 2008. Processing techniques included atmospheric correction, orthorectification, calibration, segmentation and classification of object-oriented. As results were mapped classes as water mass, exposed soil, upland coastal plain, sand bars and mangroves. The series found that there was an increase of 10% of the mangrove vegetation continentalward, due to stronger salinity near the coast and with one of the reasons for the rise of sea level that may result from climate change or (neo) tectonic global.

Key words: Remote sensing. Temporal analysis. Coastal change. Mangrove. Northeast of the Pará.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 - Mapa de localização da área de estudo.....	16
FIGURA 02 - Computação do histograma para cenas de 1984 e 2008 utilizando as médias das bandas 3, 4, 5 e brilho que melhor definiram os manguezais.	19
FIGURA 03 - Comparação entre as classificações de 1984 e 2008.	23
FIGURA 04 - Detecção de mudanças na análise temporal 1984-2008	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Características das imagens processadas	16
TABELA 02 - Características gerais das amostras da cena de 1984.....	21
TABELA 03 - Características gerais das amostras da cena de 2008.....	22
TABELA 04 - Matriz confusão para classificação da imagem Landsat 5 de 1984.....	22
TABELA 05 - Matriz confusão para classificação da imagem Landsat 5 de 2008.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DHN	- Diretoria de Hidrografia e Navegação
DEM	- Modelo Digital de Elevação
ENVI	- The Environment for Visualizing Images
GLCF	- Global Land Cover Facility
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IMAZON	- Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
LAIT	- Laboratório de Imagens do Trópico Úmido
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
RGB	- Red/ Green/ Blue
RMS	- Root Mean Square
SRTM	- Shuttle Radar Topographic Mission
UFPA	- Universidade Federal do Pará
UTM	- Universal Transversal de Mercator
ZCA	- Zona Costeira Amazônica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	ÁREA DE ESTUDO.....	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1	DOWNLOAD E SELEÇÃO DE IMAGENS.....	17
3.2	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5	CONCLUSÃO	27
	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

Os manguezais representam um tipo de vegetação arbóreo-arbustiva, que tem o seu desenvolvimento, principalmente, nos solos lamosos dos rios das regiões tropicais e subtropicais da zona de influência das marés, tanto para o interior dos estuários, no qual as variações de maré impulsionam as águas salgadas do mar para dentro do continente através do canal fluvial, como também para as laterais dos rios em zonas sujeitas as inundações ao longo dos estuários (MAIA et al., 2007). Este ecossistema desempenha funções importantes na proteção da planície costeira em resposta a ação dos processos oceânicos e atmosféricos. Além disso, os manguezais apresentam uma importância socioeconômica e biológica devido os recursos que a floresta fornece para a sociedade local como: procriação das espécies marinhas, alimentos, medicamentos a partir dos recursos florestais. (GIRI et al., 2000; THEVAND et al., 2005).

Em trabalhos realizados pelo mundo, o mapeamento de manguezais, tem procurado retratar os elementos constituintes e os necessários para a análise das mudanças da paisagem costeira como: a hidrologia, topografia, vegetação, recursos naturais, plano de gerenciamento costeiro, mapas de zonas úmidas e mapas de sensibilidade costeira produzidas em diversas escalas, assim como a integração destes com os processos oceanográficos, sedimentares e geomorfológicos que controlam a evolução da paisagem, e permitem avaliar as mudanças de contorno da linha de costa e examinar sobre o seu estado natural (física, química e biológica), procurando conhecer a integridade ambiental (mudanças naturais ou antrópicas) e os significados das mudanças (SOUZA FILHO, 2005; SOUZA FILHO et al., 2006).

Dessa maneira, nos últimos anos os manguezais estão demonstrando interesse global, pois há a necessidade de gerenciar os recursos naturais intrínsecos ao ecossistema, porém parece ser uma tarefa difícil, devido às dificuldades de acesso ao ambiente que, invariavelmente, requer aparelhos (geralmente de altos custos) e tempo. Entretanto, com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto, os trabalhos podem ser executados para a observação ou análise de dados históricos, inclusive em escala sinótica, pois os dados de satélite são de baixos custos. Além do mais, os avanços tecnológicos (hardware e software) propiciaram a utilização de técnicas de processamento das imagens que utilizam um vasto volume de informação (GIRI et al., 2000).

No Brasil a vegetação de manguezais apresenta ampla distribuição, indo desde o Estado do Amapá até o de Santa Catarina. Na região costeira amazônica, abrangem os Estados do Amapá,

Pará e Maranhão, manguezal estende-se da linha de costa até 40 km em direção ao continente, ao longo dos estuários (SPALDING et al., 1997). Portanto o trabalho será fundamentado na análise temporal, com a utilização do satélite Landsat pelo sensor TM entre o período de 1980-2000, tendo como objetivo a classificação, mapeamento e quantificação das mudanças ocorridas na floresta de manguezal, influenciada pelo regime de macromaré-semidiurna da costa Amazônica.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida na órbita 223 ponto 060 do satélite Landsat TM 5, precisamente na porção entre os meridianos de 48°20' W e 47°W e os paralelos de 0° a 1°S, próximo a Baía do Marajó (PA) e da cidade de São João de Pirabas (PA), compondo várias reentrâncias e ilhas em vários estuários da linha de costa que perfazem uma extensão de aproximadamente 120 km em linha reta .

Esta área está inserida na Zona Costeira Amazônica (ZCA), caracterizada por um relevo baixo (0 a 80m), ampla planície costeira (até 70 km de largura) e extensa plataforma continental adjacente, com aproximadamente 200 km de largura (SOUZA FILHO, 2005). A costa de manguezais da Amazônia está introduzida no cenário das regiões tropicais úmidas apresentando uma estação seca (julho a dezembro) e outra chuvosa (janeiro a maio), que se situa entre as latitudes de 15° nos hemisférios sul e norte, englobando menos que 25 % da superfície terrestre que são caracterizadas por elevadas e constantes precipitações (>1.500 mm/ano) altas temperaturas (>20°C) com pouca variabilidade térmica. (SOUZA FILHO, 2005; SOUZA FILHO et al., 2005).

A área está sujeita ao um regime de macromaré semidiurna, com variações em torno de 4 m (DHN, 2009) onde as condições meteorológicas, oceanográficas e geológicas permitem a instalação da vegetação de manguezal (BOULHOSA et al. 2005).

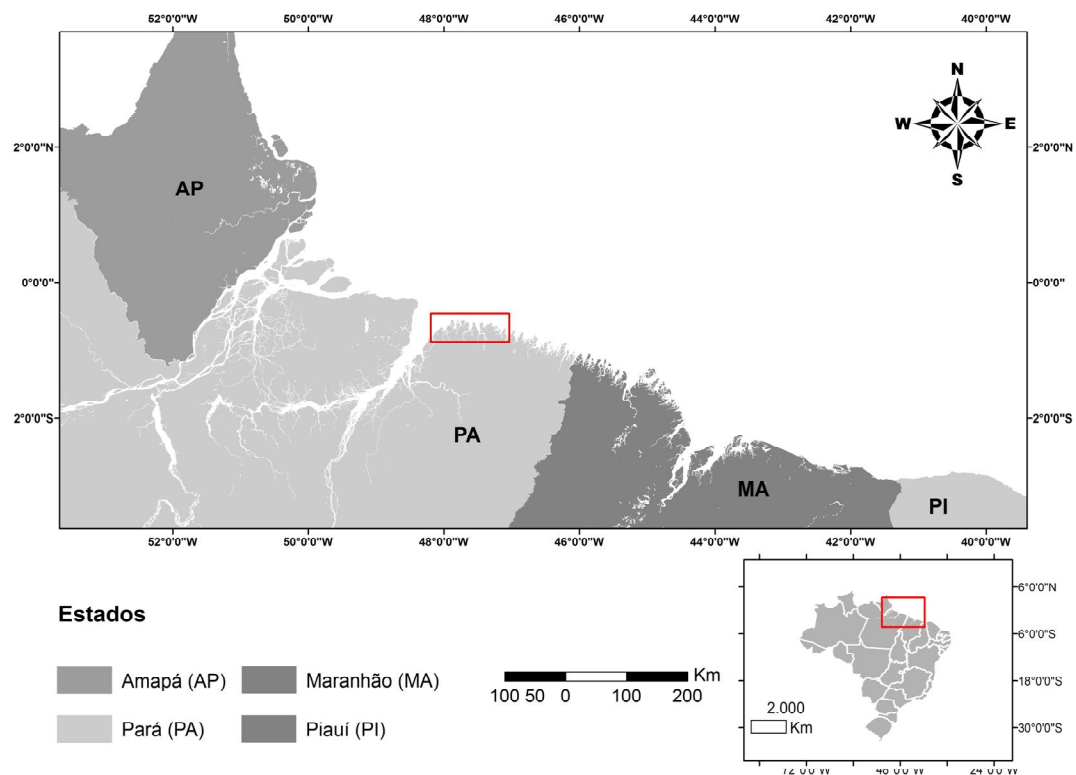


FIGURA 01 – Mapa de localização da área de estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DOWNLOAD E SELEÇÃO DE IMAGENS

O trabalho de pré-processamento iniciou no Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT), onde as imagens dos dados do sensor remoto TM Landsat 5 foram obtidas através de download do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2009), no seu catálogo de imagens que estão sob domínio público. Duas imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 foram baixadas, referentes a órbita/ponto: 223/060. Além disso, foi realizado o download da imagem orthoretificada do ano de 2004 no site do Projeto Global Land Cover Facility (GLCF, 2009) para auxiliar a orthoretificação das imagens (brutas), assim como a obtenção da imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) na área da órbita/ponto listada, pelo site da National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2009). A Tabela 01 sintetiza as características das imagens processadas.

TABELA 01 – Características das imagens processadas.

Plataforma	Sensor/bandas	Aquisição dos dados	Resolução espacial (m)	Tamanho do pixel (m)	Formato da imagem
Landsat 5	TM/1-5,7	07/1984	30 X 30	30 X 30	16-bits
Landsat 5	TM/1-5,7	07/2008	30 X 30	30 X 30	16-bits
Landsat 7	ETM+/1-5,7	09/2004	30 X 30	30 X 30	16-bits

A escolha das imagens dos sensores ópticos foi baseada naquelas com a menor cobertura de nuvens.

3.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

As imagens foram projetadas utilizando o sistema de coordenadas *Universal Transversal de Mercator* – UTM, que é adotada pela Associação Geodésica Internacional. O Datum utilizado foi o WGS 84. A zona escolhida foi a 22, de 48° e 54 °W, assim como o ROW

foi o M (devido estar no Hemisfério Sul e situado entre os paralelos de 0° e 8° S que englobam a cena do trabalho).

A correção atmosférica das imagens foi realizada com base na metodologia de redução de histograma, proposta por Jensen (1996).

Após esta correção, as bandas apresentavam-se, invariavelmente mais escuras, devido a retirada da influência atmosférica como aerossóis e nuvens que promoveram mais radiação ao sensor orbital.

A orthorectificação foi feita a partir do modelo orbital de satélite de Toutin (Toutin's Model) que é um rigoroso modelo que compensa as distorções conhecidas para calcular a posição e orientação do sensor no momento que a imagem foi obtida. (MANUAL DO SOFTWARE PCI, 2009). Este processamento foi realizado carregando a imagem submetida à correção atmosférica, assim como as imagens ORTHO e SRTM. Estas imagens corrigem horizontalmente (nas dimensões X e Y) e verticalmente (dimensão z), respectivamente. Sendo que a imagem SRTM é correspondente ao Modelo Digital de Elevação (DEM). Portanto, as imagens foram corrigidas espacialmente posteriori da obtenção dos pontos de controle, sendo que foram coletados 12 e 10 pontos para as cenas de 1984 e 2008 respectivamente e para se ter o maior êxito na escolha desses, o seu valor de "*root mean square*" (RMS) ficou inferior a 1 pixel como padrão no registro da cena, apresentando acurácia de 0.99 para 1984 e 0.98 para 2008.

A calibração das imagens foi realizada a partir da conversão dos valores de níveis digitais (ND) para reflectância, isto é, obter os valores físicos que representem a interação que a radiação interagiu com os alvos. Este procedimento faz-se necessário, devido à análise multitemporal que, invariavelmente, realiza comparações entre vários sensores, como pode ser observado na literatura em: Luiz et al. (2003); Carvalho Junior et al. (2005).

Este processamento foi executado utilizando um script desenvolvido por Carlos Souza Junior do IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia), no qual foi cedido para auxiliar a execução deste trabalho. Neste algoritmo foi necessário ajustar os valores de coeficiente de calibração radiométrica (Gain e offset) de acordo com Chander et al. (2009).

O método empregado para segmentar e classificar as imagens Landsat (1984 e 2008) foi realizado no software Definiens Developer. Este foi baseado em "*samples*" (amostras) que é utilizada por diversos autores, como Dissanska. et al. (2009), no qual aplicou-se uma classificação automática supervisionada baseada em objetos. Dessa maneira, estas tiveram que ser testadas preliminarmente buscando-se avaliar a segmentação e obter o melhor resultado de classificação devido às diversas possibilidades de configuração no programa. Diante disso, os

testes ocorreram em relação aos parâmetros que precisavam ser ajustados no “software” como peso das bandas para segmentar, escala de parâmetro, *shape* (forma textura) e *compactness* (compactação). Portanto, após esses testes na árvore de processos (“*process tree*”) foi inserido um processo pai (“*Apend New*”) descrito como segmentação 223060, escolhendo o algoritmo “segmentação multiresolução”, dando peso 1 para as bandas 3, 4 e 5 dos anos de 1984 e 2008, pois estas detalhavam melhor o manguezal, assim como os valores de *shape* 0,1 (intrinsecamente brilho 0,9), *compactness* 0,3 (intrinsecamente suavidade 0,7) e a escala de parâmetro 10. Após a segmentação, foi criado dois processos filhos (“*insert child*”) em níveis abaixo da hierarquia de processos, sendo o nível 1 correspondente a imagem de 1984 e o nível 2 a imagem de 2008.

Após isso, foram criadas as classes: planícies e cordões arenosos 84 e planícies e cordões arenosos 08 (estas relacionadas a praias, dunas, barras arenosas, planície costeira, em que a resposta espectral é espectralmente semelhante); manguezal 84 e manguezal 08; massa d’água 84 e massa d’água 08; planalto costeiro 84 e planalto costeiro 08; solo exposto 84 e solo exposto 08.

Para poder classificar as imagens, computou-se os histogramas do brilho e das médias das bandas 3, 4 e 5 para 1984 e 2008 de acordo com o intervalo indicado no próprio software como mostrado na Figura 02 abaixo, que definiu bem os manguezais, pois testes preliminares na classificação supervisionada indicaram melhor discriminação para a média destas bandas.

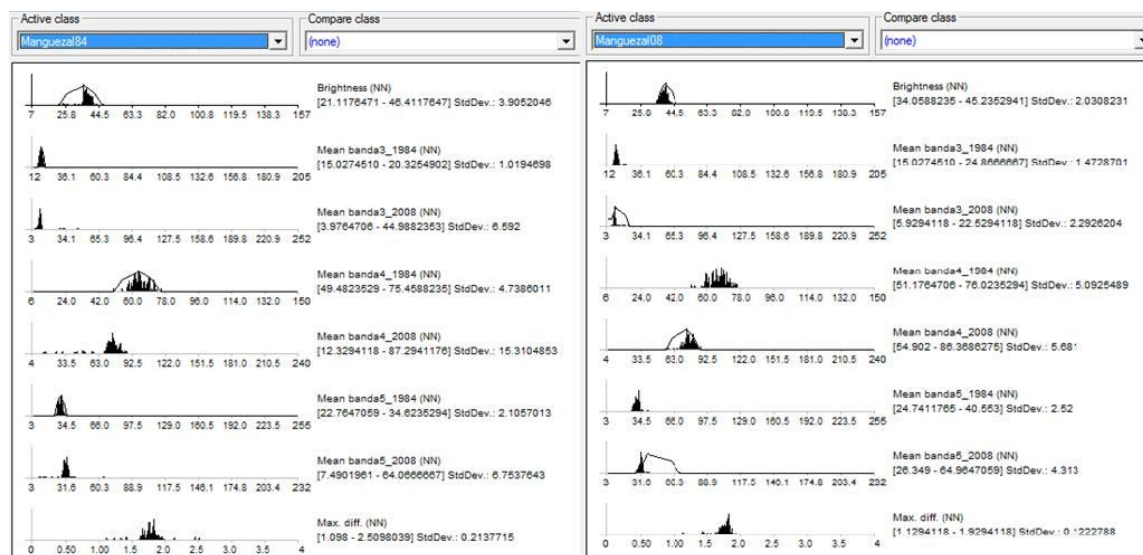


FIGURA 02 – Computação do histograma para cenas de 1984 e 2008 utilizando as médias das bandas 3, 4, 5 e brilho que melhor definiram os manguezais.

Foram coletadas amostras para cada classe distinta, sendo que as classes manguezal 84/08, tiveram a mesma quantidade de amostras, semelhantemente com as demais classes (planície e cordões arenosos 84/08, massa d'água 84/08, planalto costeiro 84/08 e solo exposto 84/08) e em seguida foi executada a classificação. Posteriormente, foram criadas mais três classes referentes ao manguezal, descritas como acreção, erosão e sem alteração. Estas foram estabelecidas para o manguezal com as seguintes condições:

- Acreção (Manguezal 84=0 e Manguezal 08=1);
- Erosão (Manguezal 84=1 e Manguezal 08=0);
- Sem Alteração (Manguezal 84 =1 e Manguezal 08=1).

Assim, foi possível quantificar os valores das áreas de manguezal em km², referentes à acreção, erosão e sem alteração a partir dos objetos mapeados. Em seguida, na etapa pós-classificação, foram usadas ferramentas de edição e agregação das classes, para solucionar possíveis confusões e erros de mapeamentos, procurando homogeneizar as classes para a melhor visualização em seu aspecto final.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade da segmentação para a obtenção dos resultados mostrou-se eficaz, satisfazendo com a própria visualização da imagem, podendo-se delinear as classes sugeridas de acordo com a Figura 03.

No procedimento de contagem de amostras percebeu-se que o grau de pertinência da determinação das classes (massa d'água 84/08; planície e cordões arenosos 84/08; manguezal 84/08; solo exposto 84/08 e planalto costeiro 84/08) foi alto para todas elas, ficando acima de 0,9, indicando que a análise automática supervisionada indicou êxito. Os valores mínimos encontrados, possivelmente são decorrentes da confusão na resposta espectral, em que pequenas faixas do espectro eletromagnético estejam em intersecção com diferentes amostras, isto é, parte de uma classe comportando-se como se fosse outra. A qualidade desta classificação pode ser entendida, observando seus valores médios em que estiveram por volta de 0,5 com desvios aproximados de 0,2 para mais ou para menos, representando sua confiabilidade (Tabelas 02 e 03).

TABELA 02 – Características gerais das amostras da cena de 1984.

Estabilidade da classificação					
Classificação	Objetos	Média	Desvio P.	Mínimo	Máximo
Massa d'água 84	4577	0,5528250	0,2011262	0,1005232	0,9158321
Planícies e Cordões arenosos 84	755	0,4808034	0,2282326	0,1011816	0,9316464
Manguezal 84	2013	0,5138316	0,2136293	0,1007936	0,9246318
Solo Exposto 84	936	0,4185258	0,2142701	0,102	0,9388575
Planalto Costeiro 84	4204	0,4705133	0,2096336	0,1	0,953

TABELA 03 – Características gerais das amostras da cena de 2008.

Estabilidade da Classificação					
Classificação	Objetos	Média	Desvio P.	Mínimo	Máximo
Massa d'água 08	3174	0,6063535	0,1968570	0,1024634	0,9574786
Planícies e Cordões arenosos 08	1069	0,503	0,2388293	0,101	0,9594733
Manguezal 08	3507	0,4777836	0,1903858	0,1002243	0,9241405
Solo Exposto 08	1475	0,4243224	0,2285968	0,1	0,946
Planalto Costeiro 08	3864	0,5377845	0,2285968	0,1005535	0,946

As classificações foram avaliadas quanto a sua acurácia (exatidão do processo), sendo sumarizadas pelo seu índice kappa que é derivado da matriz confusão (Tabelas 04 e 05).

TABELA 04 – Matriz confusão para classificação da imagem Ladsat 5 de 1984.

Matriz confusão baseada em amostras						
Classe/ Amostra	Massa d'água 84	Planícies e Cordões arenosos 84	Manguezal 84	Solo Exposto 84	Planalto Costeiro 84	Soma
Massa d'água 84	52	0	0	0	0	52
Planícies e Cordões arenosos 84	0	49	0	1	0	50
Manguezal 84	0	0	67	0	0	67
Solo Exposto 84	0	0	0	46	0	46
Planalto Costeiro 84	0	0	0	0	69	69
Não Classificado	6	5	4	7	8	30
Soma	58	54	71	54	77	
Acurácia do Produtor	0,8965517	0,9074074	0,9436620	0,8518519	0,8961039	
Acurácia do Usuário	1	0,98	1	1	1	
Kappa por Classe	0,876	0,8898709	0,9283800	0,8264234	0,8668434	
Acurácia Total	0,9012739					
Kappa	0,8788188					

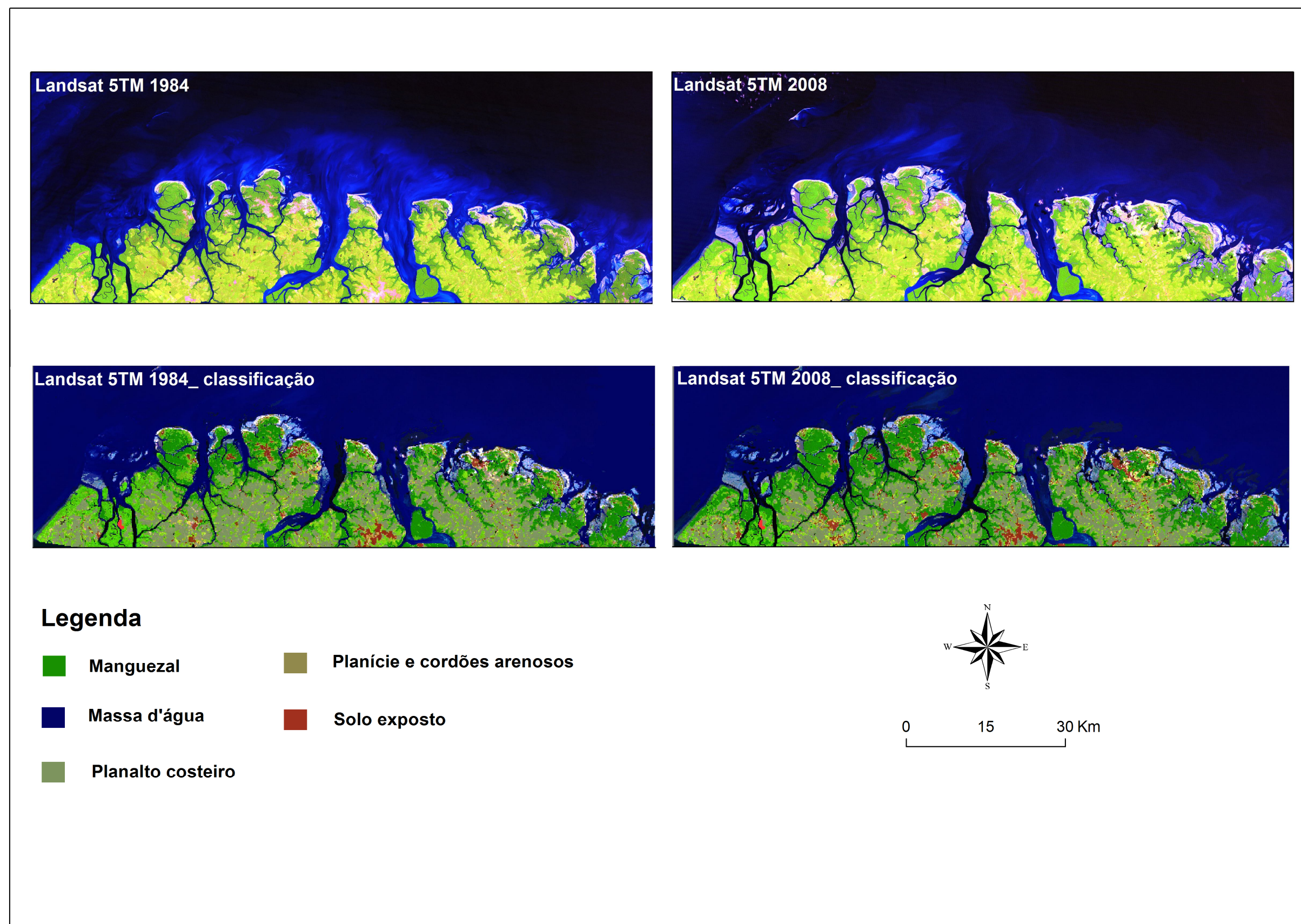


FIGURA 03 – Comparação entre as classificações de 1984 e 2008.

TABELA 05 – Matriz confusão para classificação da imagem Ladsat 5 de 2008.
Matriz confusão baseada em amostras

Classe/ Amostra	Massa d'água 08	Planícies e Cordões arenosos 08	Manguezal 08	Solo Exposto 08	Planalto Costeiro 08	Soma
Massa d'água 08	57	0	0	0	0	57
Planícies e Cordões arenosos 08	0	51	0	0	0	51
Manguezal 08	0	0	62	0	0	62
Solo Exposto 08	0	0	0	47	0	47
Planalto Costeiro 08	0	0	0	0	73	73
Não Classificado	1	3	9	7	4	24
Soma	58	54	71	54	77	
Acurácia do Produtor	0,9827586	0,9444444	0,8732394	0,8703704	0,948	

A Figura 03: Comparação entre as classificações de 1984 e 2008.

Usário					
Kappa por Classe	0,979	0,9336713	0,842	0,8475517	0,9323166
Acurácia Total	0,9235669				
Kappa	0,9057706				

A classificação gerada praticamente não apresentou erro de inclusão, somente para a classe planície e cordões arenosos 84, mesmo assim esta classificação apresentou um bom resultado (0,98) indicado pela acurácia do usuário. As demais classes tiveram um desempenho excepcional ficando com índices 1. O significado desta acurácia indica que os pixels classificados para estas classes tanto de 1984 e 2008 condizem com a realidade da classe em um possível experimento de campo. Entretanto as matrizes confusões (1984 e 2008) indicaram um pequeno erro relativo à omissão, principalmente devido às amostras que não tiveram classificação nas classes sugeridas no trabalho. A análise estatística dessas matrizes pode ser percebida pela acurácia do produtor que tiveram valores entre 0,85 e 0,98, mostrando-se muito boas para a classificação de manguezais, principalmente para a cena de 1984, no qual foi a melhor classe classificada daquele ano. Sendo que em 2008, para o manguezal, este índice decresceu e os possíveis motivos para isso foi devido à expansão urbana que têm resposta espectral semelhante ao solo exposto ou mesmo a detecção de árvores de manguezal recentes.

O índice kappa sintetiza a classificação, sendo um coeficiente que varia de 0 a 1 derivado da matriz confusão que reduz de forma proporcional os erros gerados no processo de classificação. Portanto a imagem de 1984 que teve os índices kappa para as classes variando entre 0,8264234 e 0,9283800 demonstra que teve elevada redução dos erros ficando entre 82 à 92% para elas ou analisando a classificação como um todo que teve seu índice kappa com 0,8788188, isto é, relevando-se em 87% a precisão da classificação. Analogamente, assim como a imagem de 1984 a de 2008 mostrou-se como uma ótima classificação, pois os índices por classes ficaram de 0,842 a 0,979 e o kappa geral com 0,9057706 (90,5%).

O processo de classificação automática supervisionada para a análise temporal de 24 anos para os manguezais da cena 223060 do satélite LandSat 5 TM constatou que a área desta vegetação sem alteração correspondeu 488,786400 km² (76%), sendo que o restante das áreas correspondentes na análise temporal ficaram submetidas aos processos de mudanças costeiras como a acresção com 101,686500 km² (16%) e erosão 48,415500 km² (8%). Com estas detecções, foi possível gerar um mapa de classificação das mudanças ocorridas em relação aos manguezais como mostrado na Figura 04.

Observou que os manguezais tiveram um ganho de área de 53,271000 Km² (10%), em parte nos setores mais internos dos estuários. Isto pode ser atribuído a intrusão marinha estuário acima que saliniza as águas interiores, favorecendo a expansão dos manguezais. Esta tendência ao aporte das águas oceânicas favoreceu ao processo de erosão costeira que combinados com a ação da maré e das ondas colaborou para remoção do sedimento.

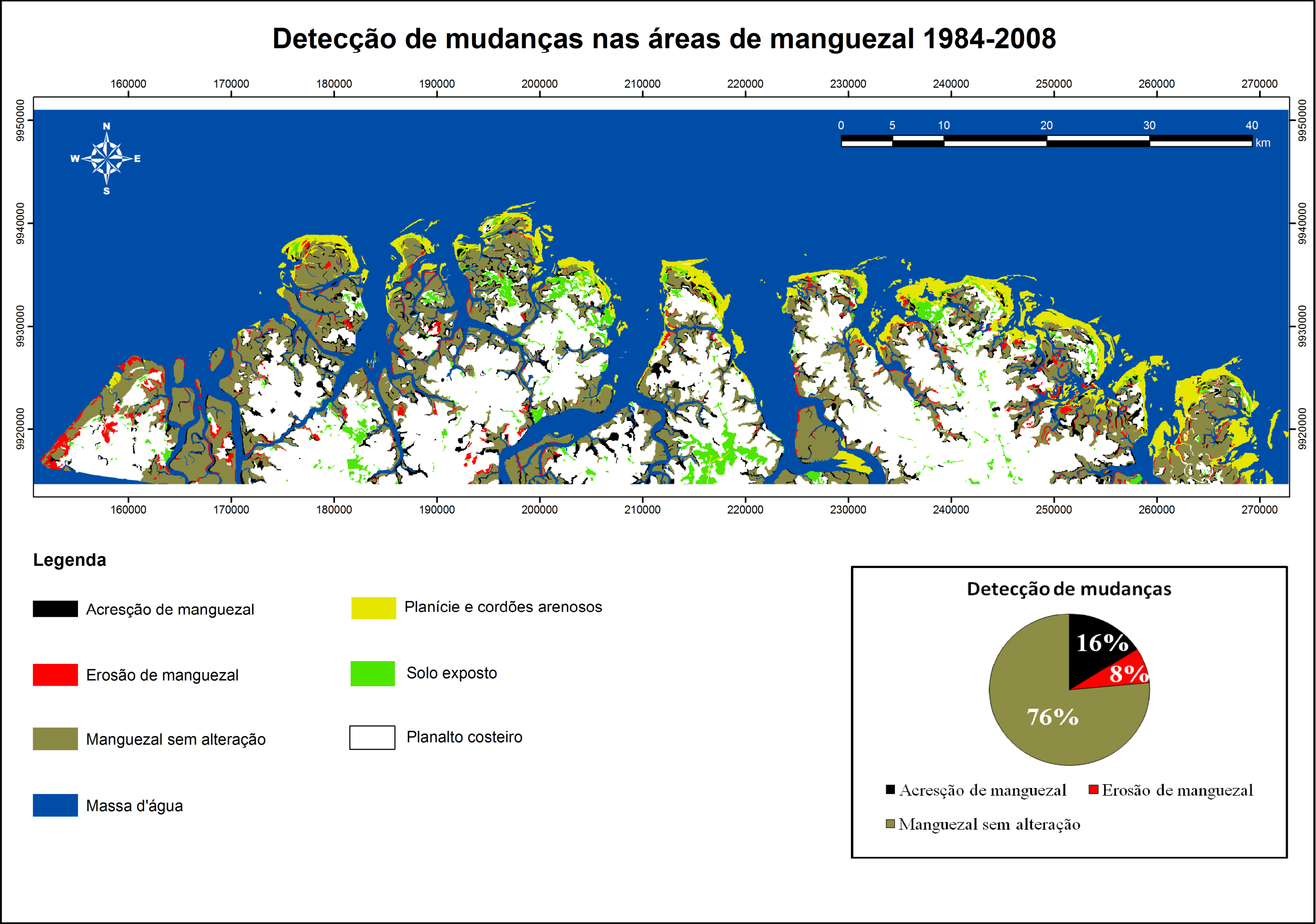


FIGURA 04 – Detecção de mudança na análise temporal 1984-2008.

5 CONCLUSÃO

O sensoriamento remoto mostrou-se como uma ferramenta eficaz para a avaliação das mudanças costeiras para análise de séries temporais, pela análise das características de reflectância que é captada pelos sensores. Este trabalho expôs uma análise temporal para as detecções de mudanças ocorridas ao longo de 24 anos, de 1984 a 2008, a partir de imagens do satélite Landsat 5 sensor TM de resolução espacial 30m, com destaque para as árvores de manguezal que são caracterizadas como bioindicadores, como descrito por Souza Filho, P. W. M *et al.* 2006, em relação a diversos processo e fenômenos que a costa da região amazônica está submetida.

Como os manguezais são encontrados em lugares que apresentam água salobra, o valor líquido de acréscimo em áreas de manguezal (53,271000 km²), reflete que ocorreu uma salinização das águas interiores devido uma intrusão marinha, que pode ser explicado por uma fase transgressiva do oceano atlântico, de tal maneira que esta condição possa indicar a fenômenos como mudanças climáticas ou eventos tectônicos ou neotectônicos que está elevando o nível do mar.

A técnica utilizada da classificação supervisionada baseada em amostras pode extrair informações muito importantes, principalmente quando consideradas a agilidade de mapear as classes, que neste trabalho foram cinco (massa d'água, planície e cordões arenosos, manguezal, solo exposto e planalto costeiro), em relação as mudanças sofridas com o tempo. Portanto nota-se que a utilização desta classificação pode fornecer informações de caráter qualitativo como também quantitativo a partir de boas interpretações dos resultados que podem ser considerada como valores de referência (background) para entradas ou mesmo calibragem em modelos matemáticos e desta maneira fazer estimativas para intervalos de tempos futuros.

Assim, sugere-se que haja continuidade ou mesmo ampliação das análises espaciais e temporais para a costa amazônica, procurando sempre qualificar a melhor metodologia de trabalho a ser empregada nas etapas de (pré) processamento(s) e a integração de informações das diversas linhas de pesquisa como meteorológica, oceanográfica, geológica, assim como dados de sensores remotos e os trabalhos em campo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. M. M.; SOARES, M. L; G.; KAMPEL, M. Monitoramento de uma área de manguezal na região metropolitana do Rio de Janeiro através de Técnicas de Sensoriamento Remoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA - CBO, 3.; CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE OCEANOGRAFIA – ICIAO, 1., '2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: AOCEANO, 2008. 1 CD-ROM.

BOULHOSA, M. B. M.; SOUZA FILHO, P. W. M. Uso de imagens SRTM e Landsat ETM+ 7 para o mapeamento geomorfológico dos ambientes costeiros do nordeste do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia: INPE, **Anais...**, p. 16-21, 2005.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.L.; HELDER, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 all sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.893-903. 2009.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). **Tábuas de maré para 2009 para o porto de Belém e a Cidade de São Luis**. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>>. Acesso em: 14 ago. 2009.

DISSANSKA, M.; BERNIER, M.; PAYETTE, S. Object-based classification of very high resolution panchromatic images for evaluating recent changes in the structure of patterned peatlands. **Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 2, p. 189-215, 2009.

GIRI, C. et al. Monitoring mangrove forest dynamics of the sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 73, p.91-100. 2007.

GLOBAL LAND COVER FACILITY (GLCF). **Imagem Orthoretificada**. Disponível em: <<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>> Acesso em: 18 jun. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Imagens brutas**. Disponível em:<<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em: mai. 2009.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing. A Remote sensing perspective**. 2nd. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 1996. (Upper Saddle River, 07458).

CARVALHO JÚNIOR, O. A. et al. A. Processamento e análise de imagens multitemporais para o perímetro de irrigação de Gorotuba (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia: INPE, **Anais...**, 2005, p.473-480.

LUIZ, A. J. B. et al. Reflectância a partir do número digital de imagens ETM+. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, Belo Horizonte: INPE, **Anais...** 2003, p. 2071-2078.

MAIA, L. P. et al. Atlas dos manguezais do nordeste do Brasil. Avaliação das áreas de manguezais dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. [S.l:s.n]. 2007.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) **Imagens SRTM**. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 22 mai. 2009.

MANUAL DO SOFTWARE PCI GEOMATICS, versão 10.2, 2009.

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamentos e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 427-435. 2005.

SOUZA FILHO, P. W. M. et al. Zona Costeira Amazônica: o cenário regional e os indicadores Bibliométricos em C&T In: SOUZA FILHO, P. W. M. et al. **Bibliografia da Zona Costeira da Amazônia**. Belém: MPEG, 2005. Capítulo 1, p.9-20.

SOUZA FILHO, P. W. M.; MARTINS, E. DO S. F.; COSTA, F. R. Using mangrove as a geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: A remote sensing data approach. **Ocean & Coastal Management**, v. 49, 2006, p. 462-475.

SPALDING, M. D.; BLASCO, F.; FIELD, C. D. World Mangrove Atlas. **The international Society for Mangrove Ecosystems**, Okinawa, Japan, p.178, 1997.

THEVAND, A.; GOND, V. Uso do Sensoriamento remoto ótico para a compreensão da dinâmica dos manguezais no contexto Amazônico. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia: INPE, 2005, **Anais...** p.3387-3394.