

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA DE PAIVA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DOS MANGUEZAIS DO COMPLEXO ESTUARIANO DE
PARANAGUÁ A PARTIR DE IMAGENS SPOT**

**PONTAL DO PARANÁ
2011**

CAROLINA DE PAIVA SILVA



**CARACTERIZAÇÃO DOS MANGUEZAIS DO COMPLEXO ESTUARINO DE
PARANAGUÁ A PARTIR DE IMAGENS SPOT**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Oceanografia, habilitação em Gestão Pesqueira do Curso de Oceanografia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof^o. Dr. Maurício A. Noernberg

PONTAL DO PARANÁ
2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE:
UFPR / SIBI - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar

S381c Silva, Carolina de Paiva
Caracterização dos manguezais do complexo estuarino de Paranaguá a partir de
imagens SPOT. / Carolina de Paiva Silva. – Pontal do Paraná, 2012.
31 f.; 29 cm.

Orientador: Dr. Maurício Almeida Noernberg

Monografia (Graduação) – Curso de Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor
de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Manguezais. 2. Imagens SPOT. 3. Complexo Estuarino (Paranaguá, PR) .
I. Título. II. Henry Louis Spach. III. Jorge Eduardo Kotas. IV. Universidade
Federal do Paraná.

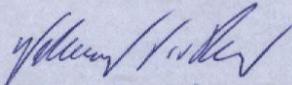
CDD 551.47

TERMO DE APROVAÇÃO

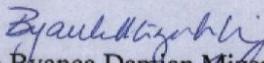
Carolina de Paiva Silva

“Caracterização dos Manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá a partir de Imagens SPOT”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



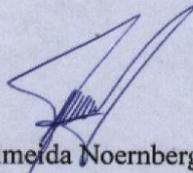
Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula-UFPR



Dra. Byanca Damian Mizerkowski-CEM



Msc. Luis Francisco Ditzel Faraco-ICMBIO



Prof. Dr. Mauricio Almeida Noernberg-CEM/UFPR
Presidente

Pontal do Paraná, 16 de dezembro de 2011.

*Aos meus pais por
fazerem com que tudo
pudesse existir e sobreviver.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Maurício Noernberg pela oportunidade, espaço e material cedido para a realização desse trabalho, assim como sua paciência e tempo que tantas vezes o fiz perder. Ao Luiz Francisco Faraco pelas imagens cedidas e pelo apoio financeiro (Instituto HSBC Solidariedade) que me acompanharam esse último semestre. A Nathalia Moreira por toda a atenção e pelos campos compartilhados onde percebemos um novo lado de nós mesmas em baixios lamacentos.

A Janaína Bumber, minha guru acadêmica, que no meio de sua eterna crise de identidade conseguiu me direcionar na minha vida universitária fazendo com que eu me tornasse uma pessoa melhor, mas nunca uma aluna melhor! Aos meus queridos amigos em Pontal – representados aqui por Josi (por todas as horas), Deyse (por todas as forças), Marina (por todas as letras) e Ana (por todas as alegrias e referências), que em meio as nossas lágrimas, surtos e tudo o mais que completa a vida pontalense, encheram minha vida de risos – e quantos risos!

A minha família pela força, incentivo e visitas no verão. Aos meus professores que me ensinaram pensar de forma oceanográfica e a todos que retiraram o melhor de mim para a conclusão desse trabalho.

Aos computadores “GFM 23” e “o da salinha gelada” do Laboratório de Física Marinha que executaram esse trabalho com todas as suas dificuldades de se relacionar comigo e entender a necessidade de pelo menos ficarem ligados quando eu precisava deles. Mas acima de tudo, eles me fizeram entender que é difícil achar a sanidade em tempos de monografia.

E a Joss Stone, Eric Clapton, a banda Foo Fighters e a trilha de Country Strong por estarem presentes em todo tempo nessa monografia.

*A gente encontra a próprio estilo quando
não consegue fazer as coisas
de outra maneira.
Paul Klee*

RESUMO

Estudos que aplicam sensoriamento remoto a manguezais se tornaram comuns na última década, mas somente com sensores de alta resolução espacial atuais se tem obtido resultados mais detalhados desses ambientes. O objetivo desse trabalho é avaliar a distribuição dos manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá a partir de imagens SPOT. Para isso, foram usadas quatro imagens multiespectrais do satélite SPOT entre os anos de 2004 e 2010, onde foi realizada uma classificação a partir do cálculo do NDVI para a separação de áreas de manguezais das demais áreas, e posteriormente uma classificação não supervisionada para a análise das diferenças nos bosques dos mangues, que apresentou cinco classes de vegetação. A imagem de 2004 foi corroborada com dados de campo. Os manguezais do CEP ocupam uma área de 240km². A imagem de 2004, com os dados em campo, mostram que as classes predominantes no estuário são as de mangue alto e mangue fechado, onde se encontra-se o co-domínio de espécies e predomínio de *L. racemosa*. Esses bosques se distribuem nas margens externas do manguezal. O mangue aberto e o sem vegetação apresentam as menores concentrações e se distribuem no interior dos bosques. A outra classe se distribui pelo limite superior do manguezal e é caracterizada pela presença de espécies de transição. A análise temporal não apresentou resultados relevantes, possivelmente por diferenças das condições ambientais e radiométricas na aquisição das imagens.

Palavras-chave: manguezal, imagens SPOT, distribuição espacial.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	12
2.1	Geral	12
2.2	Específicos	12
3	MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1	Área de estudo	13
3.2	Dados e Processamento	14
4	RESULTADOS	18
5	DISCUSSÃO	24
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES	27
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1 INTRODUÇÃO

Manguezais são ecossistemas de transição entre o oceano e o continente, se distribuem ao longo de costas abrigadas, como no interior de baías e ao longo de rios. Estão sujeitos a inundações de maré, alta salinidade e pouca quantidade de oxigênio devido ao solo ser predominantemente fino. Ocupam regiões tropicais e subtropicais em todos os oceanos. No Brasil, ocorrem desde o litoral norte no Oiapoque (4°30'N) até Laguna (28°30'S) no estado de Santa Catarina (SCHAEFFER-NOVELI *et al.*, 1990). A purificação e armazenamento de água, a recarga e descarga de aquíferos, a retenção de contaminantes, além de ser base de cadeias alimentares estuarinas e marinhas, são funções geradas “gratuitamente” pelos manguezais (DUGAN, 1992).

Nas últimas décadas, é considerável o número de estudos que aplicam técnicas de sensoriamento remoto a manguezais, cuja resposta espectral característica da vegetação facilita a classificação desses ambientes. O sensoriamento remoto tem se mostrado apropriado para o mapeamento e monitoramento de áreas úmidas, no entanto não gera resultados tão detalhados quanto os estudos de campo (OZESMI & BAUER, 2002). Com o surgimento de sensores de alta resolução espacial nas últimas décadas, como o SPOT, tem-se obtido resultados mais detalhados da vegetação, como diferentes tipos de bosques no trabalho de RASOLOFOHARINORO *et al.* (1998) no manguezal da Baía Mahajamba – Malásia. Para fazer a identificação de espécie de manguezal, é necessário sensores de altíssima resolução espacial (<1m) como IKONOS e QUICKBIRD, apresentados nos trabalhos de DAHDOUH-GUEBAS *et al.* (2005) no Sri Lanka e WANG *et al.* (2004) em Punta Galeta – Panamá.

Aliados aos sensores, técnicas de processamento de dados são desenvolvidas para melhorar os resultados espectrais da vegetação. A aplicação de métodos de classificação como o da Máxima Verossimilhança ou da Mínima Distância tem permitido discriminar a vegetação de mangue de outros ecossistemas, obtendo dados como de densidade do bosque e de mudanças em função das atividades humanas ou de eventos naturais (BLASCO *et al.*, 1994). GREEN *et al.* (1998) considera que a

acurácia dos métodos de classificação chega a 73%, bem superior a interpretação visual, que não atinge 45%.

Adicionalmente, índices de vegetação que visam explorar as propriedades espectrais da vegetação têm sido propostos, especialmente nas regiões do visível e infravermelho próximo. Estes índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos da iluminação da cena, declividade da superfície e geometria da aquisição que influenciam os valores de reflectância da vegetação (PONZONI & SHIMABUKURO, 2010). Destes, o mais conhecido é NDVI – *Normalised Difference Vegetation Index*, proposto por ROUSE *et al.* (1973).

No Brasil, diversos sensores e técnicas são aplicados no estudo de manguezal, são muito comuns os trabalhos com imagens LANDSAT com resolução espacial de 30m, como os de CUNHA-LIGNON (2006 e 2011) no estado de São Paulo e de COSTA (2006) em Cururupu – MA. Aliar sensores como de microondas e multiespectrais trazem importantes respostas nesse ecossistema, como o visto na análise temporal de COHEN & LARA (2003) na Amazônia. Estudos que utilizam imagens SPOT têm aumentado no país. MOURA & CANDEIAS (2011) aliaram dados LANDSAT e SPOT para avaliar mudanças em manguezais de Itamaracá – PE. Espinoza e Rosa (2009) aplicaram imagens QUICKBIRD e fotografias aéreas para calcular a evolução temporal do manguezal do Rio Tavares – SC.

No Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) os trabalhos anteriores são os de KRUG *et al.* (2007), que analisa a variação temporal ao longo de 20 anos, e NOERNBERG *et al.* (2004), que faz a caracterização física do complexo; ambos utilizaram LANDSAT - 30m. O trabalho de HERZ (1991) caracteriza os mangues com imagens microondas e NAIZOT (1993) aplica imagens multiespectrais SPOT para caracterizar manguezais e marismas. A aplicação de uma melhor resolução nesse trabalho permitirá dados mais detalhados desses manguezais.

Uma restrita variedade de espécies arbóreas de manguezal é encontrada nas Américas, onze espécies, enquanto na Ásia são mais de sessenta (LACERDA, 2001). No estado do Paraná, que está muito próximo ao limite sul de distribuição geográfica do ecossistema na costa do Atlântico, ocorrem somente as espécies *Rhizophora*

mangle (Linnaeus, 1753) (mangue vermelho), *Avicennia schaueriana* (Stapfand Leechman, 1939) (mangue preto) e *Laguncularia racemosa* (Gaertn, 1807) (mangue branco). Apesar da pouca variedade de espécies, não se torna mais fácil a identificação delas através do sensoriamento remoto devido às respostas espectrais da *R. mangle* e da *L. racemosa* serem muito parecidas (HERZ, 1991). Torna-se fundamental a aplicação de técnicas de processamento para o estudo do manguezal.

Segundo MARTIN (1992), as espécies se distribuem no CEP em bosques mono específicos, com predominância superior a 70% de uma espécie, e pluri específicos, com dominância conjunta de duas espécies. Os bosques são dominados por *R. mangle* nas bordas externas, enquanto os dominados por *L. racemosa* se concentram nos interiores. *A. schaueriana* tende a não dominar bosques e se estabelece em bosques mais estruturados.

Áreas de manguezais são visadas para atividades humanas em aterros, moradia e principalmente fazendas de camarão. Na intenção de conter essas atividades, foram transformadas em áreas de proteção permanente – APP, para que se mantenham suas funções ecológicas. O litoral paranaense sofreu um grande crescimento urbano nas últimas décadas, no entanto, KRUG *et al.* (2007) estimaram a variação do manguezal no Complexo Estuarino de Paranaguá em função das atividades humanas num período de vinte anos, e as perdas de manguezal foram pouco significativas e concentradas no município de Paranaguá, que possui maior desenvolvimento urbano e atividade portuária.

Atualmente, muitas especulações são feitas quanto às respostas do ecossistema diante das possíveis mudanças climáticas. No entanto, de forma geral, tais ambientes sofrerão efeitos positivos e negativos, em que o balanço dependerá de fatores específicos de cada região (SAENGER, 2002). Tais mudanças, naturais ou não, podem gerar grandes impactos no manguezal, por isso a necessidade de promover estudos que analisem esses ambientes desde sua caracterização até trabalhos que testem seu grau de resiliência aos mais diversos impactos. Analisar como os bosques de mangue se distribuem em uma área como o CEP, nos permitirá entender como ocorrem os processos de retração e progradação do manguezal.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a distribuição espacial do Manguezal do Complexo Estuarino de Paranaguá por meio de técnicas de Processamento Digital de Imagem em imagens SPOT-5.

2.2 Específicos

- Definir área total de manguezal para todo o Complexo e por município.
- Testar diferentes métodos de classificação supervisionada e não-supervisionada, para o levantamento das áreas de manguezal.
- Avaliar mudanças no manguezal e na estrutura do bosque ao longo de seis anos (com quatro imagens SPOT).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) está localizado em 25°30`S 48°25`W no estado do Paraná (Fig. 1), sendo um importante estuário na região sul do Brasil que se conecta com o estuário de Cananéia-Iguape através de canais de maré. Ocupa uma área de aproximadamente 551,8km², onde se encontram ambientes como baixios, que cobrem uma área que representa 24,6% do estuário, e manguezais, que ocupam 295,5km² ao longo do estuário (NOERNBERG *et al.*, 2006). Pode ser dividido em dois eixos principais:

i) setor leste-oeste (cerca de 40km de extensão) que inclui as Baías de Paranaguá e Antonina, é onde estão as maiores cidades do estuário, Paranaguá e Antonina, caracterizadas por uma atividade portuária intensa, e os municípios de Morretes e Pontal do Paraná.

ii) setor norte-sul (30km de extensão), com as Baías de Laranjeiras e Guaraqueçaba. Essa é a porção considerada bem preservada, com extensas áreas de mata atlântica e manguezais (NOERNBERG *et al.*, 2008). Parte de suas áreas são unidades de conservação, como o Parque Nacional do Superagui (33.988ha) e a Estação Ecológica de Guaraqueçaba (4.835ha de área com predominância de ambientes de mangue).

O clima da região é considerado subtropical úmido com máxima precipitação nos meses de verão, temperatura média de 21,5°C e taxa anual de precipitação de 2435,8mm (VANHONI & MENDONÇA, 2008). O predomínio é de ventos ENE, E, ESSE, SE com média de 4m/s.

Na região predomina o regime de micromaré, apresentando marés semidiurnas com desigualdades diurnas e forte assimetria nas elevações e correntes de maré. As correntes de vazante são superiores às de enchente (MARONE & CAMARGO, 1994).

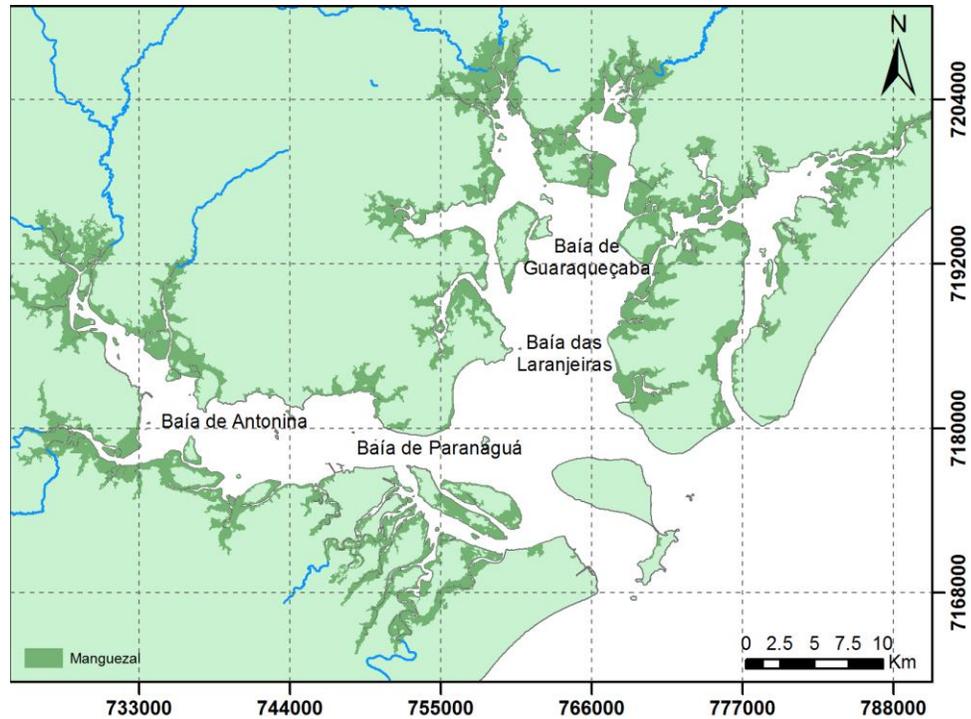


Figura 1 – Complexo Estuarino de Paranaguá.

3.2 Dados e Processamento

Foram usadas quatro imagens do sensor HRG (*High Resolution Geometric*) do Satélite SPOT 5 (*Satellite Pour l'Observation de La Terre*) adquiridas através do Projeto “*Assessing the Vulnerability of Mangroves and Fisher folk to Climate Change: the special case of coastal protected areas*” submetido ao programa *Planet Action*. Esse sensor gera dados multiespectrais e pancromáticos e cobre uma faixa de 360km². Esse estudo usou dados multiespectrais com 10m de resolução espacial e os seguintes comprimentos de onda: 0,50 - 0,59 μm (banda 1), 0,61 - 0,68 μm (banda 2), 0,79 - 0,89 μm (banda 3), 1,58 - 1,75 μm (banda 4).

As imagens foram escolhidas por não apresentarem cobertura de nuvens na região de interesse. A primeira imagem é de 08 de maio de 2004, cobre uma área que compreende a Baía de Antonina, Paranaguá, Laranjeiras e parte de Guaraqueçaba. As demais abrangem as Baías de Guaraqueçaba, Laranjeiras e arredores das cidades de Paranaguá e Pontal do Paraná. Estas são de 11 de março de 2005, 12 de julho de

2010 e 09 novembro de 2010. Na tabela 1 estão descritas as condições ambientais e radiométricas na aquisição das imagens.

Tabela 1. Condições ambientais e radiométricas das imagens.

Imagem	Altura de Maré (m)	Média de precipitação de 10 dias (mm)	Ângulo de Elevação do sensor (°)	Sensor
Maio/2004	0,25	0,94	38,5	HRG1
Março/2005	1,77	0,34	56,7	HRVIR2
Julho/2010	0,85	0,04	34,9	HRG2
Novembro/2010	1,1	0,25	65,2	HRG2

Todas as imagens são pré-processadas a nível 1B, com correção radiométrica para minimizar a influência das diferenças de sensibilidade dos detectores elementares do instrumento de visualização. Também com correção geométrica para corrigir as distorções da imagem causadas pelos efeitos sistemáticos da curvatura e rotação da Terra, permitindo a medição de distâncias e áreas de superfície e geração de dados para a criação de mapas (<http://brasil.spotimage.com/web/pt/2006-niveis-de-pre-processamento-e-precisao-da-localizacao.php>).

O processamento (Figura 2) foi realizado no software ENVI 4.2, onde foi feita uma correção atmosférica para minimizar os efeitos dos gases atmosféricos na resposta dos objetos, pelo método do Pixel Escuro de CHAVEZ (1988). Foi feito um registro (Imagem-Imagem) para cada imagem em relação a imagem de julho de 2010, com erro inferior a um pixel (10m). Foi aplicado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, NDVI – *Normalised Difference Vegetation Index*, que ressalta as propriedades da vegetação através do cálculo da razão entre a subtração da banda do Infravermelho-próximo da do vermelho pela adição de ambas as bandas.

Foi aplicada uma classificação supervisionada sobre um mosaico de duas imagens (2004 e 2010, por elas apresentarem os resultados mais próximos devido às semelhanças na obtenção das imagens) para abranger o estuário inteiro, visando

separar a área ocupada por manguezais das demais áreas. Nessa técnica o usuário insere informações que delimitam cada área, sendo assim, é aplicada para regiões conhecidas e com diferenças visuais na imagem. Através do método da Máxima Verossimilhança foram separadas quatro classes: manguezal, vegetação não-inundável, água e areia (solos expostos e áreas urbanas). Tal método é o mais comum nas análises de vegetação e foi o que apresentou excelentes resultados. Ele considera que cada classe em todas as bandas é distribuída normalmente e calcula a probabilidade do pixel pertencer a cada classe (RICHARDS, 1993).

Após a classificação da Máxima Verossimilhança, foi criada uma máscara do vetor manguezal obtido, para que se seguisse a classificação no interior do manguezal. Então, sobre o produto do NDVI, aplicou-se uma classificação não-supervisionada que é utilizada na classificação de áreas onde não se reconhecem padrões ou em áreas desconhecidas. O método usado foi o *K-means* que realiza uma análise de agrupamento em função da distância euclidiana (MATHER, 2004). Obteve-se a separação em cinco classes, considerando três classes de manguezal, uma classe de cursos de água e baixa densidade vegetal e outra de vegetação de transição.

A validação em campo foi realizada para a imagem de 2004, por esta ter apresentado os melhores resultados de classificação. No campo foram identificados todos os espécimes e medidos sua altura e circunferência na altura do peito – CAP (1,3m) em quadrats de 25m² nas três classes de manguezal, foram feitos dois pontos em cada classe, um na Ilha das Peças, e outro na Ilha da Cotinga. Nas demais classes, a validação foi visual. Foi utilizado o software Microsoft Excel para os cálculos de densidade. Para a criação de mapas foi utilizado o software SPANS 7.1.

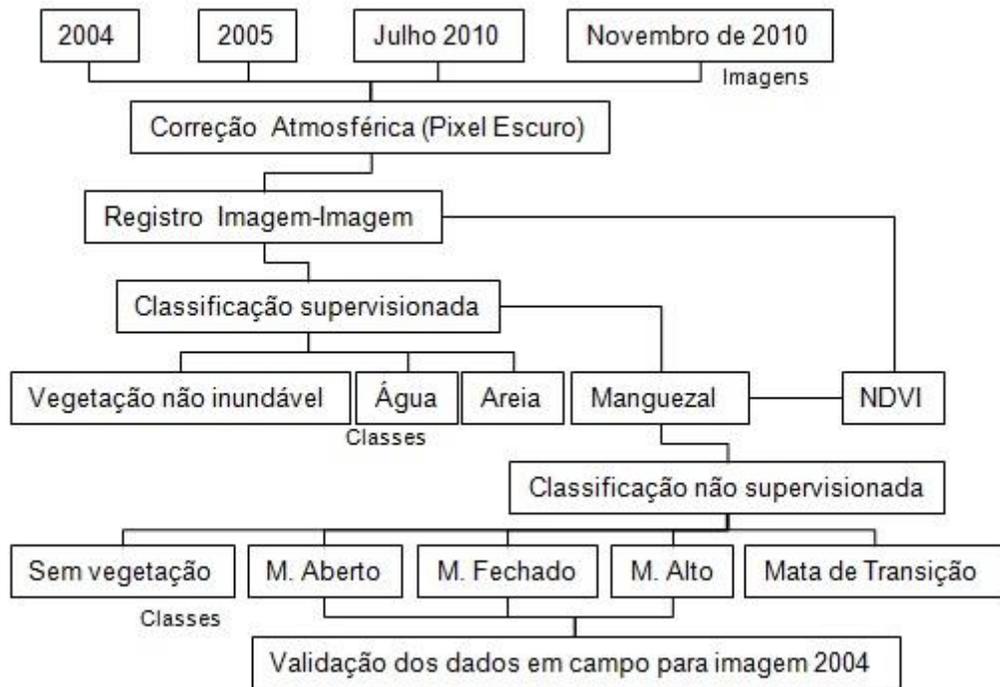


Figura 2 – Organograma das etapas do processamento digital.

4 RESULTADOS

A partir do resultado da classificação supervisionada para o mosaico de todo o estuário, a área de vegetação inundável no Complexo Estuarino de Paranaguá apresentou uma área de 240km². O município de Guaraqueçaba apresenta a maior área de manguezal do estuário com 123,6km², seguido pelo município de Paranaguá, 63,6km², Antonina 41,8km², Morretes, 11,2km² e Pontal do Paraná, 11,5km². Apesar da resolução espacial, não foi possível fazer a separação das áreas de marismas das áreas de manguezal.

Para a classificação não-supervisionada o manguezal foi dividido em cinco classes: sem vegetação, mangue aberto, mangue fechado, mangue alto e mata de transição. As classes da imagem de 2004 foram corroboradas em campo, onde encontrou-se: a classe sem vegetação compreende pequenos rios e áreas com solo exposto no interior do manguezal, que não foram identificados na classificação supervisionada que separava o manguezal de outros ambientes, e regiões com indivíduos juvenis com altura inferior a 1m. Entre os diferentes tipos de bosques de mangue, encontramos variações na densidade, altura e predomínio de espécie. O mangue aberto apresentou densidade de 0,24 indivíduos/m², com plantas entre 3 – 7m de altura e predomínio de *Rhizophora mangle*. A classe mangue fechado teve densidade de 0,36 indivíduos/m² e altura entre 2 – 5m, com predomínio de *Laguncularia racemosa*. Já o mangue alto foi o único com presença da *Avicennia schaueriana*, e sem predomínio de espécie, ou seja, trata-se de um bosque misto, com densidade de 1,04 indivíduos/m² e a altura das árvores varia de 4 a 8m.

Ainda para a imagem de 2004, as classes dominantes são mangue alto e mangue fechado, que representam 36,33 e 26,63% respectivamente. Seguidas por mata de transição, com 21,81%, mangue aberto - 11,95% e sem vegetação com 3,28%. A classe sem vegetação se distribui em manchas no interior dos bosques, geralmente ocorre uma gradação de áreas pouco densas para bosques densos, como pode se observar na figura 3, a mancha sem vegetação no interior do bosque rodeada pelo mangue aberto e ao leste da ilha há uma gradação por todas as classes até a

mata de transição. O mesmo padrão ocorre com o bosque mangue aberto (Fig. 4). Os tipos de vegetação mais densos: o mangue fechado, mangue alto e a mata de transição se distribuem nas margens externas do manguezal tanto em direção ao mar quanto a terra. Em alguns manguezais a mata de transição está presente no limite superior do mangue. No entanto, a mata de transição não ocorre em todos os manguezais, em certas regiões a transição entre o manguezal e a vegetação não inundável ocorre a partir do mangue alto ou mangue fechado.

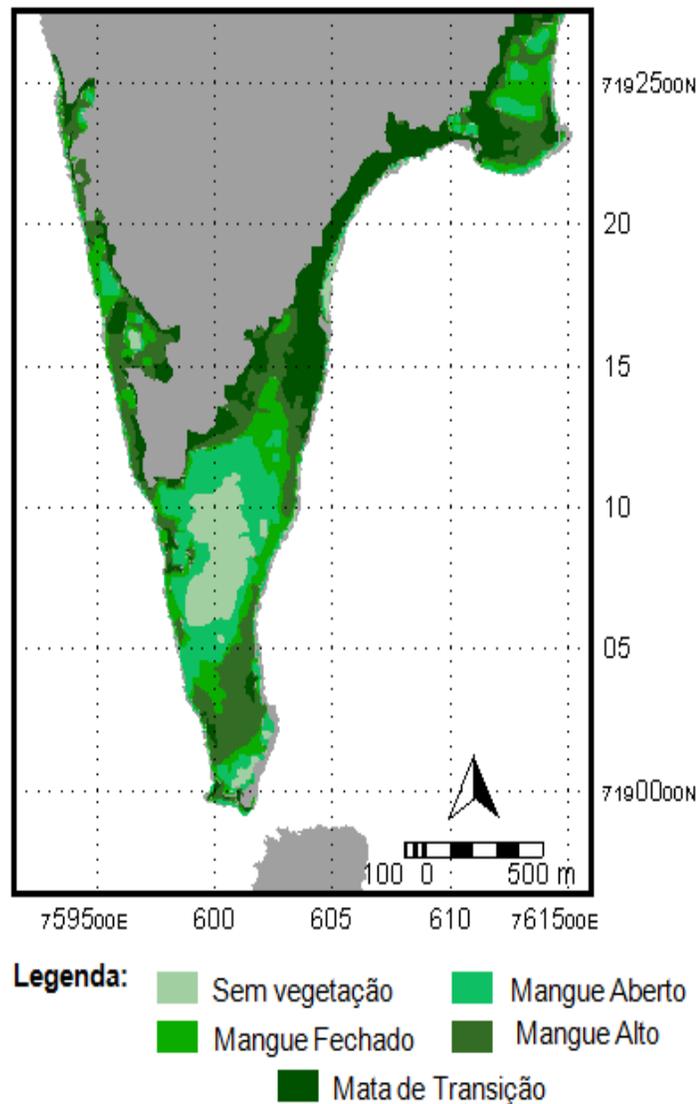


Figura 3 - Distribuição e manchas da classe sem vegetação.

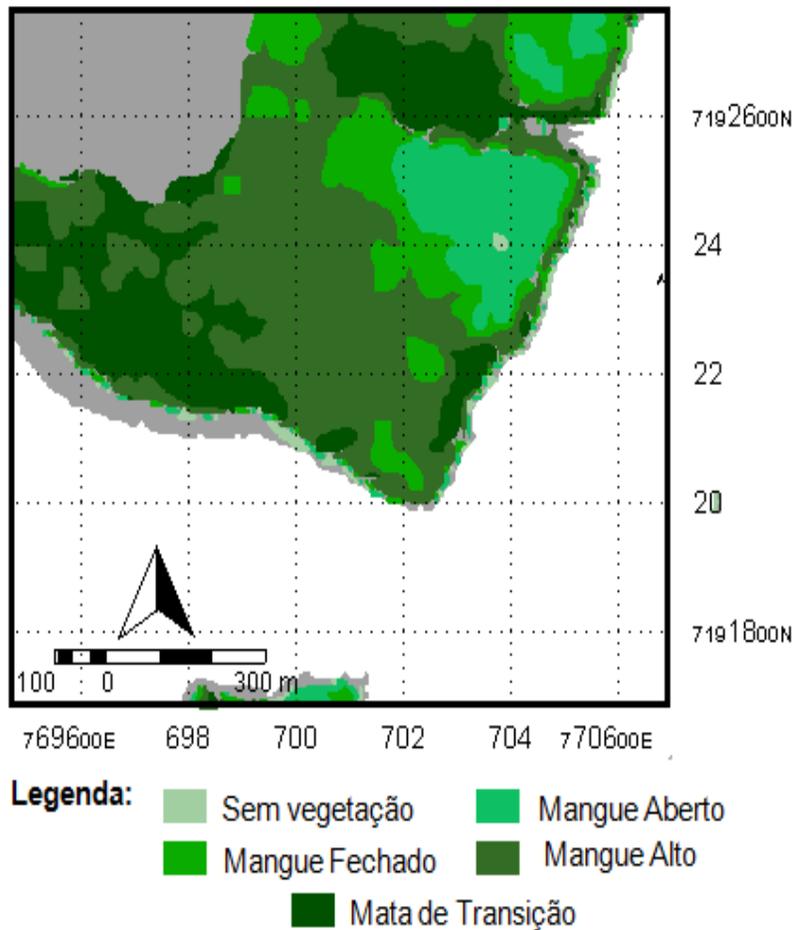


Figura 4 – Distribuição em manchas da classe mangue aberto.

Quanto à variação temporal, a classificação *k-means* apresentou variações em alguns manguezais quanto à sua distribuição, como se houvesse uma evolução na densidade e altura do manguezal, não refletindo a realidade. Podemos observar na Fig. 5, com exceção da imagem de julho/2010, um padrão na evolução dos tipos de mangue. Enquanto em 2004 o predomínio é de mangue aberto, nos anos seguintes ocorre um crescimento do mangue fechado em direção ao mangue aberto, sugerindo um crescimento na cobertura foliar, e altura das plantas. A imagem de 2004 e a de julho de 2010 apresentam o mesmo padrão na disposição das classes, mas diferentes tipos de mangues para cada local.

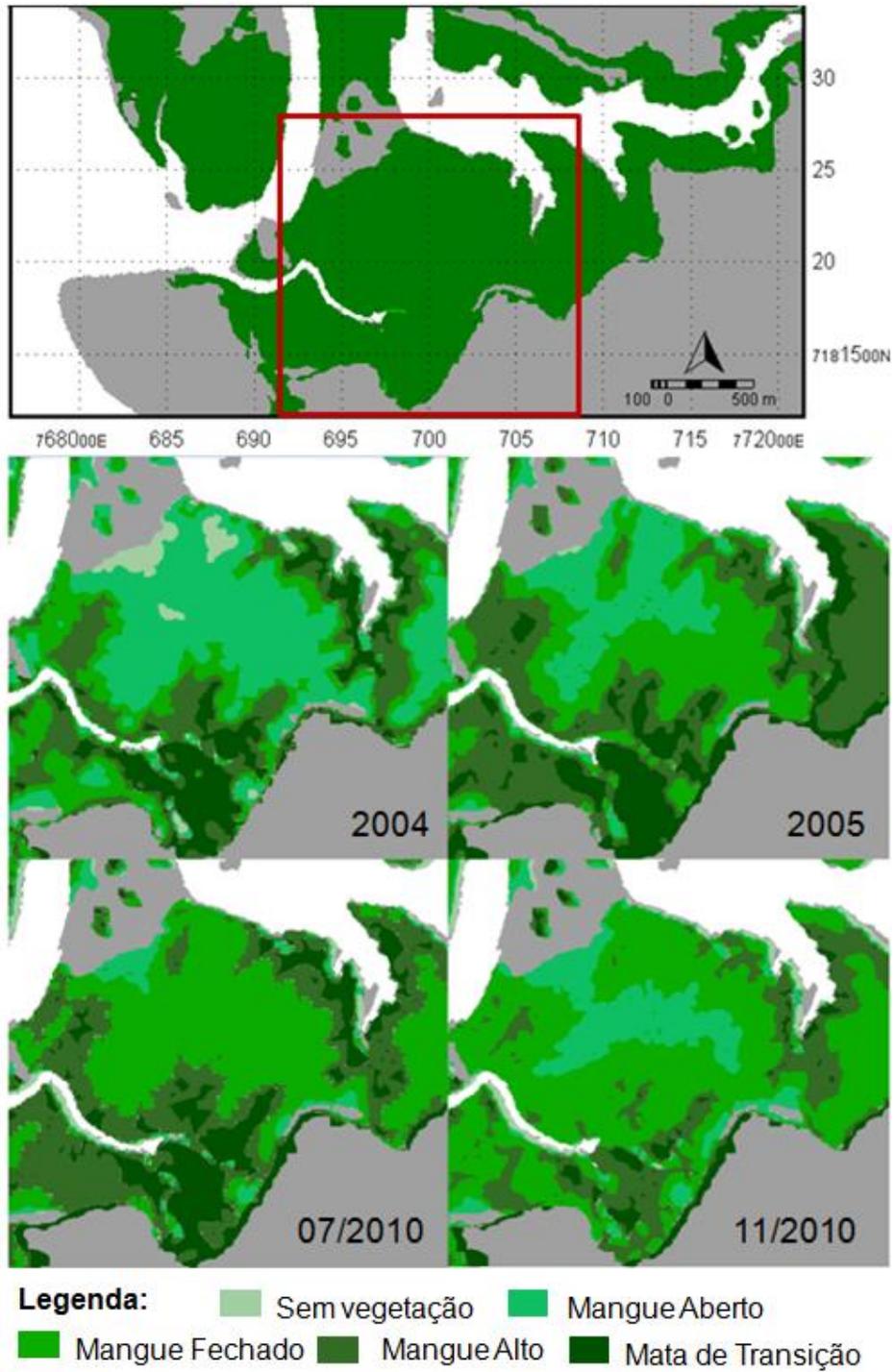


Figura 5 – Detalhe da Ilha das Peças que apresenta crescimento do manguezal.

Outros ambientes apresentam o padrão inverso ao de crescimento, ou diferenças que impossibilitam sugerir padrões na variação da estrutura ao longo desses anos. A Fig. 6 mostra um detalhe da Ilha das Peças, onde, apesar do domínio de mangue aberto, não conseguimos inferir como ocorrem as suas mudanças. Esse é o resultado encontrado na maior parte da baía.

Podemos observar tais diferenças nas classificações de cada imagem quando comparamos as duas imagens do ano de 2010, elas possuem quatro meses de diferença (julho a novembro), o que para um bosque de manguezal apresentaria poucas mudanças na distribuição da sua estrutura, mas as diferenças na obtenção de cada uma delas geram diferentes resultados (Fig.5).

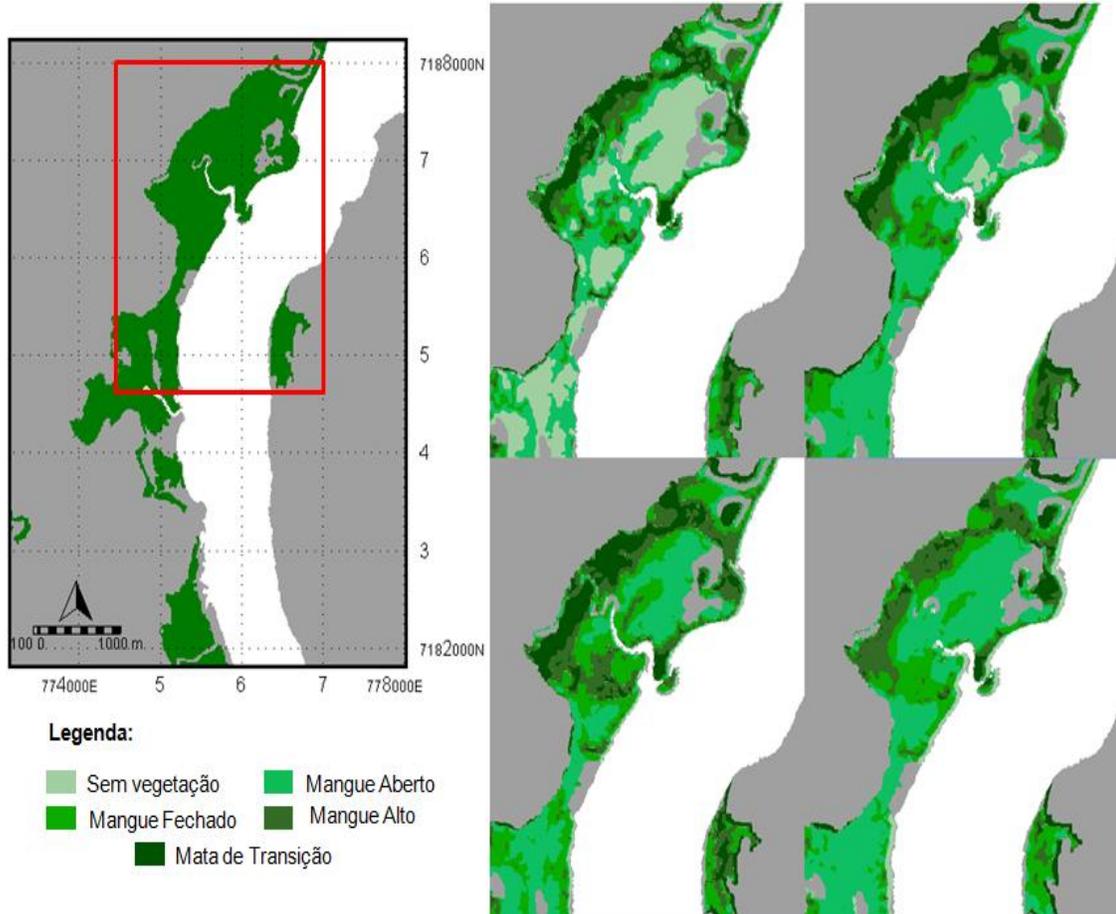


Figura 6 – Detalhe que não apresenta padrão na distribuição do manguezal.

Quanto à variação espacial ao longo dos anos, apresenta resultados que não estão diretamente relacionadas a diferenças na área do manguezal. A partir de um recorte em comum para todas as imagens em uma região na Baía de Laranjeiras, foi encontrado 113km² de áreas de manguezais para a imagem de 2004, para a de 2005, 127,7km², a primeira de 2010 apresenta 113,4km² de mangue, enquanto a última, 121,3km².

5 DISCUSSÃO

O uso de uma imagem SPOT com resolução espacial 10m foi suficiente para a separação de áreas de manguezal de outros ecossistemas no Paraná, assim como para outros lugares na literatura. No entanto, GREEN *et al.* (1998) não conseguiu resultados relevantes para imagens SPOT com 20m de resolução espacial no mapeamento de mangues no Caribe, provavelmente por serem manguezais muito específicos e diferentes de outros do mundo, e a resolução espectral do sensor não consiga obter as respostas necessárias daquele ambiente.

Com uma imagem LANDSAT de 1999 com 30m de resolução NOERNBERG *et al.* (2006) encontraram 295,5km² de vegetação inundável, 55,5km² a mais que nesse trabalho. Essa diferença ocorre devido à diferente resolução espacial dos sensores, quanto maior a resolução melhor as áreas serão separadas dentro de cada pixel. Sendo assim, não se pode dizer que houve uma redução da área de manguezal no CEP e sim que essa era superestimada em função da resolução espacial do sensor. As imagens LANDSAT não conseguem separar completamente as áreas de manguezal, como podemos observar na Figura 7, que mostra as áreas classificadas como manguezal por ambas as imagens. A Ilha da Cottinga, por exemplo, na imagem LANDSAT é considerada inteira como manguezal, enquanto a SPOT consegue separar o mangue das demais áreas.

Para a separação de manguezal e marisma, ou mesmo a identificação ao nível de espécie, é apropriado a aplicação de imagens com resolução espacial de 2,5m ou 1m. WANG *et al.* (2004) indica que a discriminação da acurácia em espécies de manguezal não é possível com satélites convencionais, mas satélites de altíssima resolução (“*Very High Resolution*” VHR), como IKONOS ou QUICKBIRD, são apropriados para tal. Do ponto de vista espectral é quase impossível separar espécies de manguezal (BLASCO, 1998), isso ocorre devido às semelhantes respostas das espécies *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*. Por isso, são encontradas principalmente diferenças quanto a densidade e altura dos bosques.

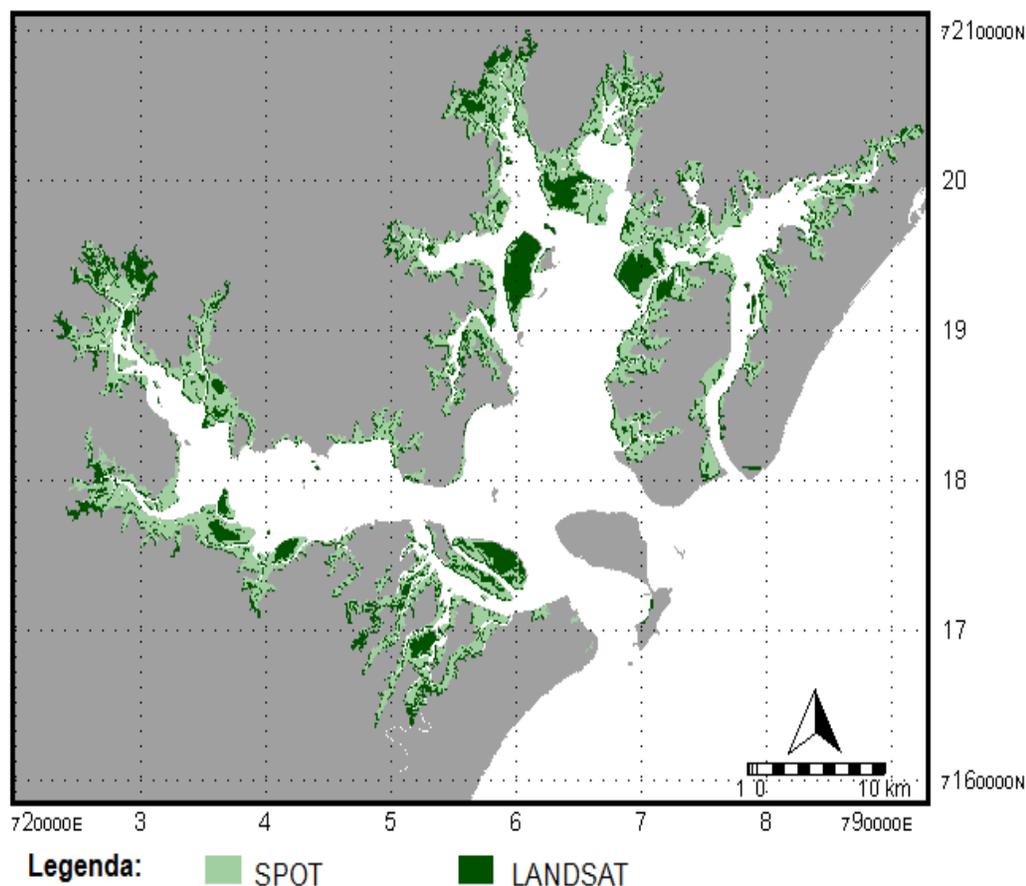


Figura 7 – Comparação das áreas de manguezal obtidas através da imagem SPOT (mosaico 2004 e 2010) e LANDSAT do trabalho de Noernberg *et al.* (2006).

Como as classes mais abundantes são mangue alto e mangue fechado, a espécie mais abundante no estuário é *L. racemosa*, assim como o encontrado por MARTIN (1992) para o CEP. ESPINOZA & ROSA (2010) encontraram *A. schaueriana* como espécie mais abundante no manguezal do Rio Tavares em Santa Catarina, devido à tolerância que essa espécie apresenta a temperaturas baixas e solos arenosos.

Segundo MARTIN (1992) e a literatura para outros manguezais, a espécie *R. mangle* tende a se concentrar nas bordas do manguezal por se mostrarem mais tolerantes a inundação, enquanto *L. racemosa* se desenvolve no interior dos bosques. Apesar disso, nesse trabalho verificamos o padrão contrário, o mangue aberto, dominado por *R. mangle*, se concentrou nos interiores enquanto o mangue fechado,

dominado por *L. racemosa*, ocupa as bordas, CUNHA-LIGNON (2006) também encontrou essa inversão em Cananéia-Iguape.

A análise temporal das quatro imagens se mostrou ineficiente devido as diferenças ambientais e do sensor na aquisição das imagens. A resposta espectral do manguezal é influenciada pela maré e o solo (BLASCO, 1998). A imagem de 2005 foi a que apresentava a maior amplitude de maré e a que obteve mais áreas classificadas como manguezal, enquanto que com maré mais baixa (2004) apresentou a menor quantidade de área ocupada por manguezais. No entanto, a imagem de 2004 foi a que obteve as melhores respostas quanto aos diferentes tipos de bosques de manguezal enquanto a de 2005 obteve os piores resultados.

Segundo OZESMI & BAUER (2002), a melhor estação para a detecção de manguezais é no final do verão e início do outono, quando a vegetação está madura. O fato das imagens pertencerem a diferentes estações também pode ter influenciado nas diferentes respostas da vegetação. No entanto, as imagens de 2010 possuem características muito semelhantes na hora da obtenção como: altura de maré, estação do ano (final de inverno e primavera) e precipitação média dos dias anteriores, só apresentam diferenças significativas no ângulo de elevação do sensor, o que foi suficiente para gerar diferentes respostas na área de manguezal e nos tipos de bosque através da classificação por *k-means*.

Segundo PONZONI & SHIMAKUCURO (2010), o método de correção atmosférica que foi aplicado, de CHAVEZ (1988), é criticado por assumir uma correção homogênea para toda a cena, e por considerar somente o espalhamento, desprezando a absorção, o que pode, também, ter gerado respostas insatisfatórias. No entanto, esse método foi aplicado por depender somente de dados da própria imagem, diferente de outros modelos que poderiam melhorar a qualidade desses resultados.

As variações encontradas na área de manguezal na baía de Laranjeiras não podem ser associadas a variações reais, mas em relação à imagem de 2004 e a de julho de 2010, podemos sugerir que o manguezal permaneceu estável. Assim, permanece o padrão que KRUG *et al.* (2007) encontraram de 1985 a 2005.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Os manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá somam um total de 240km², e se distribuem por todo o estuário. Neste trabalho foram identificadas cinco classes dentro do manguezal, sendo três delas tipos de bosques de mangue, um bosque de transição e o outro considerado sem vegetação, o que se mostra válido já que não havia estudos semelhantes no estuário. A classe sem vegetação se distribui no interior dos bosques, com um padrão gradual de aumento de densidade em direção às bordas. No entanto, para uma identificação mais detalhada, é recomendado o uso de resoluções espaciais melhores.

O método utilizado não se mostrou adequado para a análise temporal. Devem ser usadas imagens com as mesmas características para tal, mas como no estado do Paraná a cobertura de nuvens é um grande limitante na qualidade das imagens, seria improvável conseguir imagens com tais características, especialmente por satélites comerciais como o SPOT ou os de altíssima resolução que não tem a aquisição automática de todas as áreas, mas sim através de programação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLASCO, F.; JANODET, E.; BELLAN, M. F. Impacts of coastal hazards on mangroves in the Bay of Bengal. **Journal of Coastal Research**, v. 12, p. 277–88, 1994.

BLASCO, F.; GAUQUELIN, T.; RASOLOFOHARINORO, M.; DENIS, J.; AIZPURU, M.; CALDAIROU V. Recent advances in mangrove studies using remote sensing data **Marine Freshwater Research**, v. 49, p. 287–96, 1998.

CHAVEZ JR, P. S.; An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459–479, 1988.

COHEN, M. C. L; LARA, R. J. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: Application of GIS and remote sensing techniques. **Wetlands Ecology and Management** , v. 11, p. 223–231, 2003.

COSTA, M. R. P. ; ALCÂNTARA, E. H. ; AMORIM, A. J. E. ; MOCHEL, F. R. Avaliação das potencialidades e fragilidades das áreas de manguezal para a implementação do ecoturismo usando ferramentas de sensoriamento remoto em Cururupu - MA, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 22, p. 237-243, 2006.

CUNHA-LIGNON, M. Variação espaço-temporal de bosques de mangue. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, III, 2006, Aracaju. **Anais do III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Aracaju : EMBRAPA, 2006.

CUNHA-LIGNON, M. ; KAMPEL, M. ; MENGHINI, R. P. ; CINTRON, G. ; SCHAFFER--NOVELLI, Y. ; DAHDOUH-GUEBAS, F. Mangrove Forests Submitted to Depositional Processes and Salinity Variation Investigated using satellite images and vegetation structure surveys. **Journal of Coastal Research**, v. 1, p. 344-348, 2011.

DAHDOUH-GUEBAS, F.; HEITTIARACHCHI, S.; LO SEEN, D.; BATELAAN, O.; SOORIYARACHCHI, S; JAYATISSA, L.P.; KOEDAM, N. Transitions in ancient inland freshwater resource management in Sri Lanka affect biota and human populations in and around coastal lagoons. **Current Biology**, v. 15, p. 579-586, 2005.

DUGAN, P.J. Conservación de humedales: un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias. Gland, Suíça: IUCN, 1992.

ESPINOZA, H. C. F.; ROSA, M. M. P. T. Evolução Temporal da Cobertura Vegetal do Manguezal do Rio Tavares (Florianópolis-SC). Empregando Técnicas de Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIV, 2009, Natal. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2009, p. 2705-2712.

GREEN, E. P.; CLARK, C. D.; MUMBY, P. J.; EDWARDS, A. J.; ELLIS, A. C. Remote sensing techniques for mangrove mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 5, p. 935–956, 1998.

HERZ, R. **Os manguezais do Brasil**. São Paulo: IOUSPCIRM, 1991.

KRUG, L. A.; LEÃO, C.; AMARAL, S. Dinâmica espaço-temporal de manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá e relação entre decréscimo de áreas de manguezal e dados sócio-econômicos da região urbana do município de Paranaguá - Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIII, 2007, Florianópolis. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 2007, p. 2753-2760.

LACERDA, L. D. **Mangrove Ecosystems- Function and Management**. Berlin: Springer, 2001

MARONE, E.; CAMARGO, R. Marés meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. **Nerítica**, Curitiba, v. 8, p. 73-85, 1994.

MARTIN F. **Etude de L'Ecosysteme Mangrove de La Baie de Paranagua (Parana, Bresil)**: Analyse des Impacts et Propositions de Gestion Rationnelle. Tese (doutorado em biologia), Universidade de Paris VII, Paris, França, 1992.

MATHER P. M. **Computer Processing of Remotely Sensed Images**. 3. Ed. England: Wiley, 2004.

MOURA, A. R.; CANDEIAS, A. L. Uso de geotecnologias para o gerenciamento ambiental dos manguezais do sistema estuarino de Itamaracá-PE. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XV, Curitiba, 2011. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba: INPE, 2011.

NAIZOT, T. Géographie de La Baie de Paranaguá (Parana, Brésil): Apport des Données satellitaires a L'Étude des Marais a Mangroves. Tese (doutorado em Geografia), Paris, França, 1993.

NOERNBERG, M. A.; ANGELOTTI R.; CALDEIRA G. A.; RIBEIRO DE SOUSA A. F. Determinação da Sensibilidade do Litoral Paranaense à Contaminação por óleo Brazil. **Journal Aquatic Science Technology**, v.2, n.12, p. 49-59, 2008

OZESMI, S. L.; BAUER, M.E. Satellite remote sensing of wetlands. **Wetlands Ecology and Management**, v.10, p. 381–402, 2002.

PONZONI, F. J. E; SHIMABUKURO Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

RASOLOFOHARINORO, M.; BLASCO, F.; BELLAN, M. F.; AIZPURU, M. A remote sensing based methodology for mangrove studies in Madagascar. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 10, p. 1873–1886, 1998.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Nova York: Springer, 1993

ROUSE J. W.; HAAS R. H.; SCHELL J. A.; DEERING D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE 1 SYMPOSIUM, 3, 1973. Washington: Sec A,1973, v. 1, p. 309-317.

NOERNBERG, M. A.; LAUTERT, L. F. C.; ARAÚJO, A. D.; MARONE, E.; ANGELOTTI, R.; NETTO JR, J. P. B.; KRUG, L. A. Remote sensing and GIS integration for modelling the Paranaguá Estuarine Complex –Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 1627-1631, 2006

SAENGER, P. Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation. Kluwer Academic Publishers/The Society for Mangrove Ecosystems/International Tropical Timber Organization, Dordrecht, The Netherlands/Okinawa, Japan, 2002.

SHAEFFER-NOVELLI, Y.; CITRÓN-MOLERE, G.; ADAIME, R.; CAMARGO, T. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries**, v.13, n.2, p. 204-218,1990

SPOT IMAGEM. Disponível em: <http://brasil.spotimage.com/web/pt/2006-niveis-de-pre-processamento-e-precisao-da-localizacao.php>. Acesso em: 15/10/2011

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 49-63, 2008.

WANG, L.; SOUSA, W. P.; GONG, P.; GREGORY S. Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama Biging **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 432–440, 2004