



Avaliação ecológico-econômica do manguezal na foz do rio Açu/RN: o seqüestro de carbono e a importância da aplicação de práticas preservacionistas

Venerando Eustáquio Amaro^{1,2} & Josenberg M. Rocha Júnior¹

Recebido em 11 de dezembro de 2011 / Aceito em 24 de janeiro de 2012

Resumo

Este trabalho avalia a importância do ecossistema manguezal nos municípios de Macau, Porto do Mangue e adjacências, na foz do Rio Açu/RN, no contexto ecológico-econômico e segue investigativo na prospecção de áreas com potencial para projetos que envolvam reflorestamento e/ou restauração ambiental de florestas de manguezais, com foco no seqüestro de Carbono. O potencial ecológico dos manguezais foi avaliado com base no uso de imagens de satélite Landsat 5-TM e técnicas de processamento digital de imagem que indicaram áreas de planícies lamosas e areno-lamosas com potencial para projetos ambientais, caso inserido nas normas firmadas no Protocolo de Quioto para os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e o do Mercado de Carbono. Os resultados revelaram ainda uma área total de 14.723,75 hectares de atividade de carcinicultura e produção salineira que podem ser aproveitadas para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental sustentável da região, tendo em vista que mais de 60% dessa área, ou seja, cerca de 9.000 hectares podem ser aproveitados no plantio do gênero *Avicennia*, considerada a espécie que melhor seqüestra carbono atmosférico, atingindo valor médio de 59,79 toneladas/hectare de manguezal.

Palavras chave: Ecossistema manguezal, Economia Ambiental, Créditos de Carbono.

Abstract

This work evaluates the importance of the mangrove ecosystem in the municipalities of Macau, Porto do Mangue and adjacencies, in the Açu River mouth, in the ecological-economic context, and follows investigative exploration of potential areas for projects involving reforestation and/or mangroves forest environmental restoration, with a focus on carbon sequestration. Ecological potential of the mangroves was evaluated based on the Landsat-5 TM satellite imagery and digital image processing techniques that indicated areas of mud and sandy-mud flats with potential for environmental projects, if inserted in the rules of the Kyoto Protocol to Clean Development Mechanisms and the Carbon Market. The results revealed a total of 14,723.75 hectares area of shrimp farms and salt farms production activity that can be leveraged to sustainable environmental and socioeconomic development of the region, since 60% of this area, i.e. about 9,000 hectares, can be used in the planting of the Avicennia, considered the species that best capture atmospheric carbon average value, reaching 59.79 tons/ha of mangrove swamp.

Key words: Mangrove Ecosystem; Environmental Economy; Carbon Market.

1 – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal (RN), Brasil. E-mail: amaro@geologia.ufrn.br, josenbergrocha@hotmail.com; 2 - Laboratório de Geoprocessamento, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal (RN), Brasil

1. Introdução

O ecossistema manguezal recobre área de cerca de 181.000 km², aproximadamente 8% das linhas áreas costeiras mundiais e cerca de ¼ das linhas de costa tropicais do planeta (Spalding *et al.*, 1997). É reconhecido pela sua alta diversidade, produtividade biológica e relevância ecológica (Coelho JR., 1998). A biomassa e a diversidade de invertebrados por unidade de área de manguezais e planícies lamosas adjacentes é tão elevada que provavelmente mais de 75% dos peixes capturados comercialmente habitaram os manguezais em algum momento do ciclo de vida. Esses ecossistemas também agem naturalmente como barreira de controle da erosão costeira e na estabilização dos sedimentos finos na plataforma continental interna, diminuindo os efeitos da competência dos rios no carreamento de sedimentos. Também colaboram com a qualidade da água, absorvendo nutrientes orgânicos em situações eutróficas e aumentando a disponibilidade de solução salina e sedimentos para desintoxicar dos poluentes dos ecossistemas (Dasgupta & Mäler, 2003). Portanto, os manguezais atuam com um amplo conjunto de funções ecológicas regulatórias, físicas e biológicas. Apesar da importância socioeconômica e ecológica, a abrangência e a qualidade do ecossistema de manguezais estão em declínio em muitos lugares do mundo e por diversas razões (Ellison, 2002) e quadro similar se manifesta no Brasil e especificamente no Rio Grande do Norte (Amaro, 2002, Souto et al., 2006). Os exemplos de transformação dos manguezais em viveiros de camarão e de peixe são corriqueiros, o que contribui para a perda de área verde, enquanto a excessiva

coleta de madeira para carvão e lenha degrada a qualidade da floresta, com efeito devastador sobre o bem-estar das comunidades dependentes do manguezal (Acharya, 2002).

Ao se avaliar as diferentes estratégias de gestão de manguezais em países em desenvolvimento é crucial que os usos e valores socioeconômicos e ecológicos dos manguezais sejam identificados e estimados, sobretudo com foco no interesse imediato das comunidades locais (Schaffer-Novelli *et al.*, 2000). O ecossistema de manguezal possui valores decorrentes do seu caráter produtivo e protetivo, que oferecem às comunidades costeiras grande variedade de bens e serviços tangíveis e intangíveis (Vannucci, 2004). Por causa de análises de mercados imperfeitos, os valores ecológico-econômicos associados ao ecossistema de manguezal, como aqueles discutidos acima, são susceptíveis de serem negligenciados em função dos valores comissionados aos terrenos e produtos decorrentes do uso dos terrenos. Para Acharya (2002) os valores ecológico-econômicos associados aos ecossistemas de manguezal são negligenciados nos países em desenvolvimento, onde são considerados ecossistemas de baixo valor porque deles são oriundos poucos bens de comercialização direta e o resultado disso é a conversão para outros usos do solo, como opção mais atraente para muitos governos e comunidades. Contudo, sabe-se das dificuldades em atribuir valores monetários para recursos ambientais, em particular para mensurar os valores de não-uso (Cummings & Harrison, 1995). Entretanto, a atribuição de valores de usos e serviços diretos e indiretos do ecossistema pode ser muito

útil para estabelecer as transações físicas e ecológicas que tornam tais usos possíveis e, mesmo que parcialmente, mensurar benefícios socioeconômicos derivados desses usos (Barbier & Twilley, 1991; Ruitenbeek, 1992; Acharya, 2002).

1.1. Localização da Área Estudo

A área em estudo compreende o litoral dos municípios de Macau e Porto do Mangue, localizados na Subzona Salineira do Rio Grande do

Norte (RN), várzea terminal do Rio Açú. Distante 180 km da capital, Natal, limitando-se a norte como Oceano Atlântico, a sul com os municípios de Pendências, Afonso Bezerra e Alto do Rodrigues, a leste com Guamaré e Pedro Avelino e a oeste com os municípios de Carnaubais e Porto do Mangue (Fig. 1), mais precisamente entre as coordenadas UTM Latitude 9.436.430,073N e Longitude 749.236,805E no limite Guamaré e Latitude 9.438.051,069N e Longitude 787.626,103E no limite Diogo Lopes, com o *Datum*SAD-69.

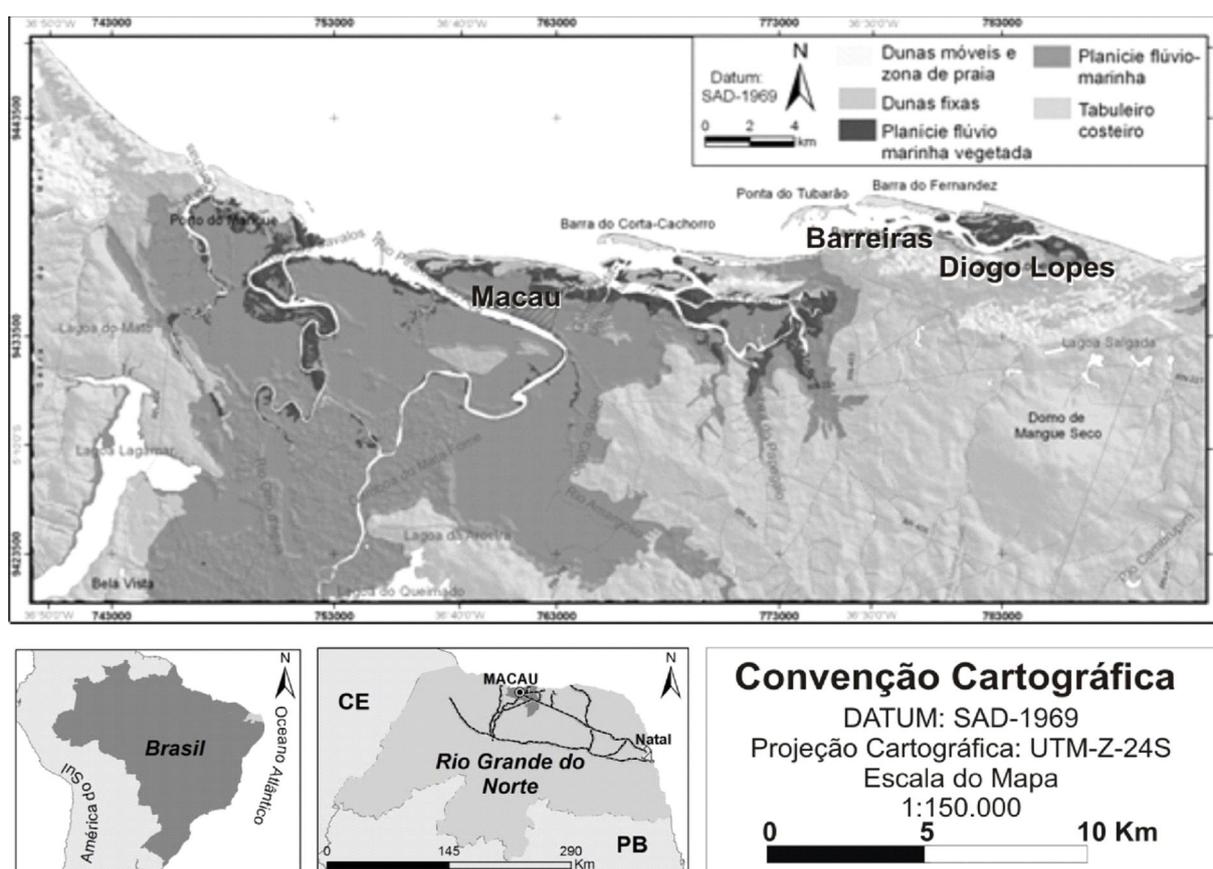


Fig. 1. Localização da área de estudo entre os municípios de Porto do Mangue e Macau/RN. No mapa ainda foram representadas as unidades geomorfológicas simplificadas, segundo a proposta de Valentim da Silva et al. (2010).

2. Caracterização Geral da Área de Estudo

2.1. Contexto Geológico

A área situa-se no contexto geológico da Bacia Potiguar, localizada no extremo nordeste brasileiro, que possui uma área de 49.000 km², dos quais 26.500 km² estão submersos (Soares *et al.*,

2003). A geologia consiste de rochas sedimentares e ígneas, sendo aflorantes as rochas das Formações Tibau, Barreiras e Potengi, que representam uma sedimentação flúvio-marinha regressiva e localmente as rochas ígneas da Formação Macau (Pessoa Neto *et al.*, 2007). A sequência mais nova é composta por sedimentos recentes eólicos, aluvionares, linhas

de *beachrocks* em diversas posições da linha de costa e da plataforma continental, e um importante sistema de ilhas de barreiras arenosas/lamosas paralelas à geometria do litoral e que abrigam as áreas onde se depositam os sedimentos lamosos em condições de mar aberto e estuarinas (Angelim *et al.*, 2006). Esta última sequência predomina na região. A sedimentação holocênica tem sido controlada pela variação do nível do mar, pelo padrão de transporte eólico e das correntes litorâneas ao longo da costa. Alguns autores descrevem-na como unidades compostas por sedimentos que participam nos processos de sedimentação atuais em sistemas deposicionais como leques aluviais, praias, dunas móveis, barras arenosas, planícies de maré e ilhas barreiras (Farias, 1997; Stattegger *et al.*, 2006).

2.2. Contexto Geomorfológico

Na compartimentação do relevo na área foram identificadas: dunas fixas e móveis, depressão interdunar, tabuleiros costeiros, falésia, planícies flúvio-estuarinas e planícies de maré (Valentim da Silva & Amaro, 2008). Segundo Silva (1991), a paleogeografia de unidades pleistocênicas e os movimentos tectônicos recentes exercem um controle sobre a sedimentação holocênica na região, formando o sistema de ilhas barreiras que dividiram a sedimentação estuarina da sedimentação de mar aberto, devido à variação lateral dos principais canais fluviais. A planície de maré a leste da cidade de Macau foi depositada sobre os depósitos rasos do Pleistoceno (3 a 7 m), o que pode ser a razão para a falta de deposição flúvio-estuarina significativa na região. A figura 1 apresenta ainda o mapa das unidades geomorfológicas simplificadas para a área de estudo, desenvolvido por Valentim da Silva *et al.* (2010), composto com imagens topográficas do *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM* (Rabus *et al.*, 2003), aqui apresentado como base de análise para as discussões subsequentes e *Revista de Geologia, Vol. 25 HIDROSEMA - UFRN, 2012*

sobretudo para comparação com as interpretações oriundas do tratamento digital das imagens orbitais.

2.3. Contexto Fisiográfico

O clima apresenta duas estações pluviométricas bem definidas: período de seca (agosto-dezembro), quando a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se afasta da costa provocando a ausência de chuvas e surgimento de ventos mais fortes; e um período chuvoso (janeiro-abril), com maior incidência de chuvas nos meses de março a abril associada ao deslocamento para sul da ZCIT e formação dos ventos mais brandos. A pluviometria anual é baixa e irregular, atingindo uma média de aproximadamente 601,8mm/ano (IDEMA, 1999).

A temperatura do ar é elevada ao longo do ano, com valor máximo de 36°C, valor médio de 27°C, e valor mínimo de 20°C, conforme mostra a figura 2.

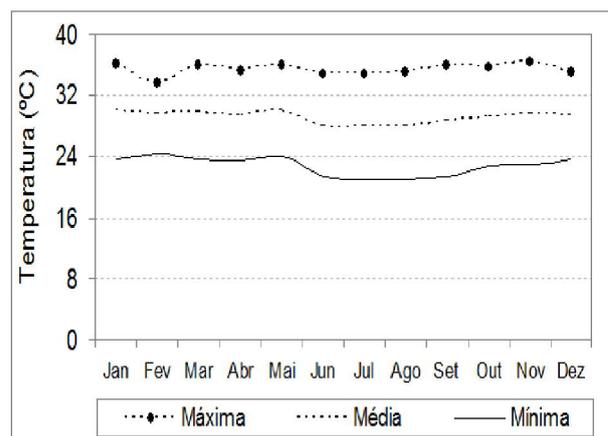


Fig. 2. Médias mensais das temperaturas com base em dados da Estação Meteorológica de Macau para 2011. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2011).

Os ventos provenientes de sudeste e de leste de abril a setembro apresentam velocidades variadas com médias de 9,0 m/s a 12,2 m/s, sendo os meses de abril e agosto os que apresentam as maiores velocidades (12,2 m/s), enquanto nos meses de

outubro a março os ventos provenientes de nordeste, apresentam velocidades com médias de 10,0 m/s, conforme mostra a figura 3. Os processos hidrodinâmicos atuantes são determinados por ondas de energia moderada, junto à costa e acompanhando as principais direções dos ventos, com alturas de 50 a 118 cm e período entre 4 e 8 segundos (Matos *et al.*, 2011) e regime de mesomarés semidiurnas, com máxima de 2,9 m durante maré de sizígia e mínima de 0,43 cm durante maré de quadratura (Vital *et al.*, 2008).

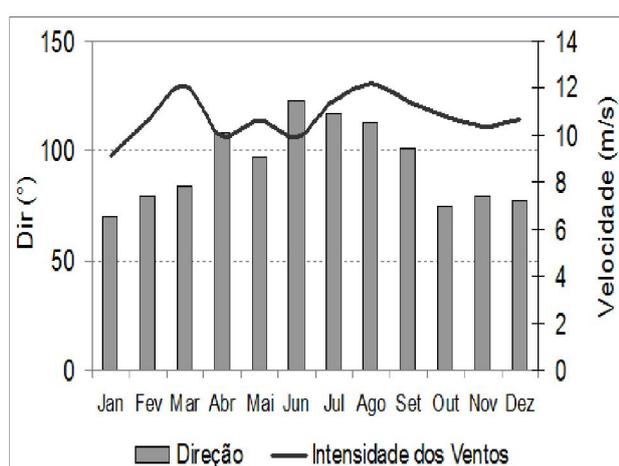


Fig. 3. Médias das velocidades e das principais direções dos ventos com base em dados da Estação Meteorológica de Macau para 2011. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2011).

3. Estratégia Metodológica

O processamento das imagens do Landsat 5-TM do dia 09/08/2009, imageada sob condições de maré baixa, destacou características das unidades geoambientais locais, explorando especificamente a vegetação de manguezal, as áreas ocupadas pela indústria da carcinicultura e salinas. O mapa foi desenvolvido a partir de processamento digital das imagens realizado no *software* ER-Mapper 7.1[®] e a quantificação das áreas no *software* ArcGIS 9.2[®]. A partir de pontos de controle coletados com *Ground Position System* (GPS), a imagem foi georreferenciada e submetida a processamentos

estatísticos, onde se destacam as imagens resultantes da Análise por Principais Componentes (PC), integradas por método de combinações coloridas das bandas multiespectrais em sistemas de cores *Red-Green-Blue* (RGB). A aplicação das composições coloridas avaliou os diferentes usos industriais, antrópicos e naturais, além de definir as composições mais adequadas para o mapeamento e caracterização geoambiental, com base na resposta espectral dos alvos e na análise estatística das imagens, como variância, covariância, correlação e decorrelação entre bandas e razão de bandas multiespectrais.

A partir da quantificação da floresta de manguezal foram feitas a avaliação ecológico-econômica, sugerindo-se o enquadramento no conceito de restauração ecológica (Jordan *et al.*, 1987; Clewell & Rieger, 1997; Hobbs & Harris, 2001, Lewis III, 2001).

4. Resultados e Discussões

4.1. Quantificação do Ecossistema Manguezal na Área de Estudo

A análise e interpretação das imagens digitais foram essenciais na delimitação e quantificação em área da vegetação de manguezal existente na área de estudo, que deverá ser incorporada ao princípio de restauração ecológica-econômica e potencial para sequestro de carbono. Os estudos foram baseados na identificação visual das diferentes respostas espectrais entre os diversos elementos das imagens multiespectrais do Landsat 5-TM de 07/08/2009 em condições de baixa-mar.

As imagens decorrentes da transformação matemática por Análise por Principais Componentes (PC) apenas das bandas do espectro refletido (bandas 1-5 e 7) em composições coloridas no sistema de cores RGB tornam-se uma ótima ferramenta de análise das unidades geoambientais, sobretudo do ecossistema manguezal, devido à *Revista de Geologia, Vol. 25 HIDROSEMA -UFRN, 2012*

não-correlação das bandas entre si, com base na contribuição de cada banda para uma principal componente em função dos autovetores individuais e a da variância marcada pelos autovalores correspondentes (Pichiotti *et al.*, 1997). Como o objetivo maior do trabalho foi realçar a vegetação de manguezal, e sua relação quanto às demais unidades geoambientais, a análise estatística da imagem e interpretação visual das imagens resultantes

destacou as composições R(PC5) G(PC3) B(PC4) e R(PC4)*(-1) G(PC3) B(PC5) como aquelas que melhor realçaram as diferenças entre as unidades de paisagem, com destaque para os manguezais que aparecem em verde oliva e as planícies lamosas e areno-lamosas em azul ciano nessa última (Fig. 4), delineando também os limites entre as demais unidades geoambientais na região estuarina e adjacências.

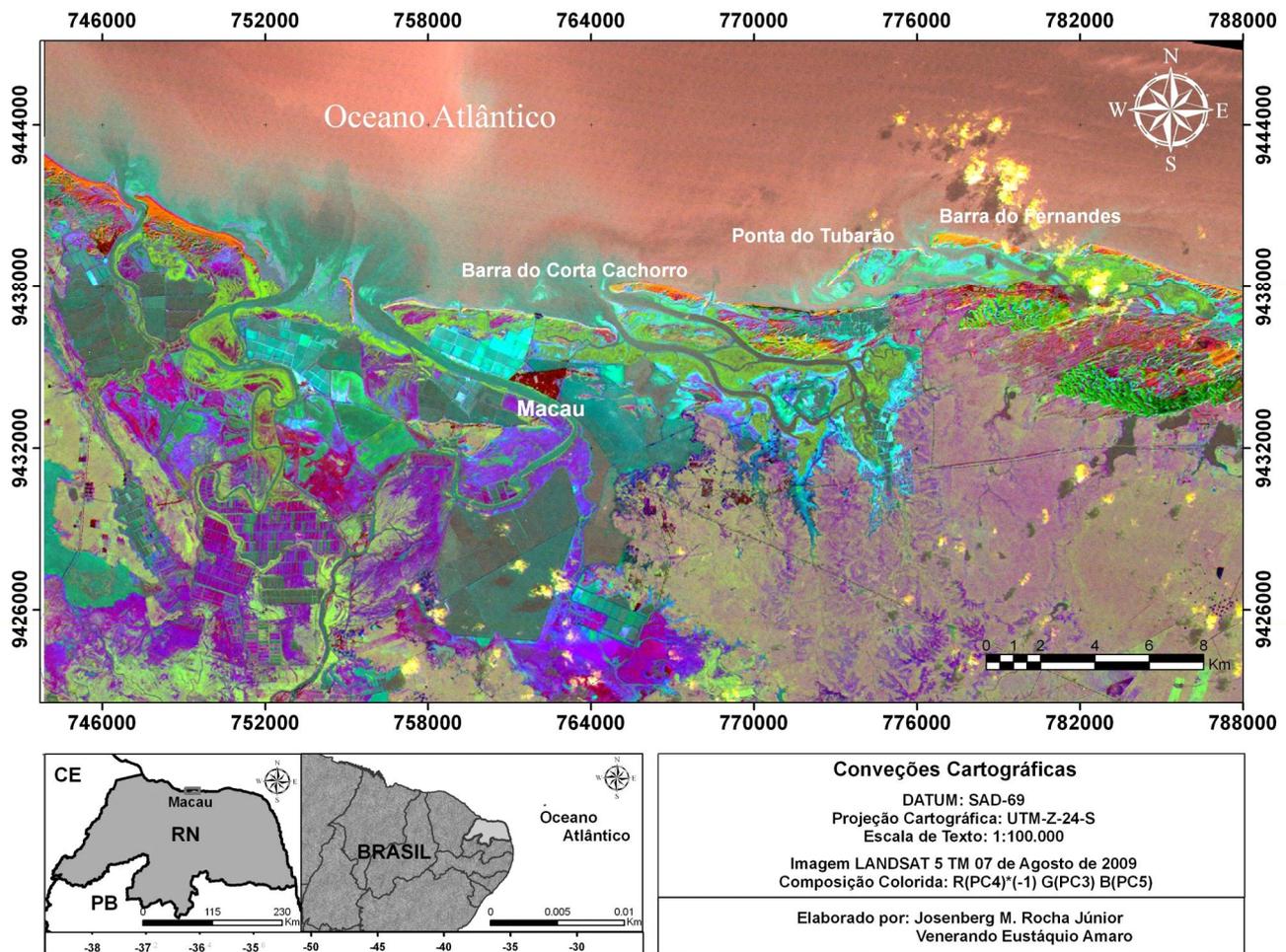


Fig. 4. Destaque do manguezal em verde oliva e as planícies lamosas e areno-lamosas em azul ciano na composição colorida R(PC4)*(-1)G(PC3)B(PC5) do Landsat 5-TM, além da delimitação das demais unidades geoambientais. Data do imageamento: 09/08/2009, em condições de baixa-mar.

A área de manguezal no ano de 1998 era de 2.082,05 hectares (Amaro, 2002). Em 2001 a área ocupada pelo ecossistema de manguezal no Município de Macau era de 3.568,00 hectares, e em 2004 uma área de cerca de 2.313,05 hectares (Souto, 2004). Para o ano de 2009, conforme delimitação de limites propostos pelas imagens

Revista de Geologia, Vol. 25 HIDROSEMA - UFRN, 2012

orbitais, a área de manguezal é de 2.473,70 hectares. Portanto, o balanço final de área de manguezal desde 1998 até 2009 indica uma flutuação entre perda e ganho, mas com balanço final de acréscimo de 2.082,05 hectares para 2.473,70 hectares (Fig. 5). A distribuição do manguezal na região é dada predominantemente nas áreas lamosas e areno-

lamosas das faixas de planície de maré e flúvio-estuarina (Fig. 6).

Dessa forma, extrapolando os resultados encontrados na distribuição das espécies de manguezal encontrados por Costa (2009), a Reserva de Desenvolvimento Sustentável da Ponta do Tubarão (RDSPT, estuário de Diogo Lopes até a Praia da Soledade) possui uma área aproximadamente 530,18 hectares representando 4,4% de sua área total, sendo 61,2% de *Avicennia* e 38,8% de *Rhizophora mangle*.

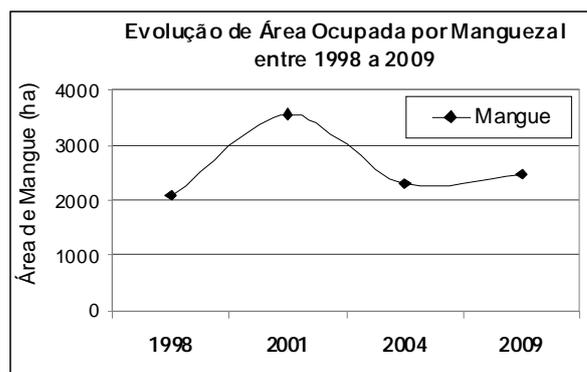


Fig. 5. Evolução da área ocupada por manguezal no Município de Macau entre os anos de 1998 a 2009.