



## Compartimentação morfológica de uma planície costeira dominada por mesomaré em Almofala – Ceará

### Morphological subdivision of a coastal plain dominated by mesotide of Almofala – Ceará

*Ponciana Freire de Aguiar* - Doutora em Geologia e Geoquímica; coordenadora do Laboratório de Análises Espaciais/LAENA/NAEA/UFP. E-mail: ponciana17@hotmail.com

*Maâmar El-Robrini* - Doutor em Physiographie des Océans et des Littoraux; coordenador do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros – GEMC/CNPq/UFP. E-mail: robrini@pesquisador.cnpq.br

*George Satander Sá Freire* - Doutor em Geologia; professor e pesquisador da UFC/Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA). E-mail:freire@ufc.br

*Juliana de Sá Guerreiro* - Doutoranda em Morfodinâmica Costeira Sydney University, Austrália; Mestre em Oceanografia, pesquisadora do GEMC/CNPq/UFP. University of Sydney. E-mail: julianaguerreiro@hotmail.com

#### Resumo

A zona costeira de Almofala, com uma faixa de 8 km de largura é condicionada por altas temperaturas (>25°C), pluviometria média de 1.172,21mm, ventos de 5.5m/s, mesomares de 1.48 m de amplitude e ondas de 0.56 m de altura. A compartimentação morfológica da Planície Costeira de Almofala foi realizada com base em dados de sensores remotos (Quick Bird, 2004; Landsat 5TM, 2006) para geração de MDT (Modelo Digital de Terreno) por interpolação de krigagem e de mapas temáticos (curvas de nível e declividade), em coleta de pontos X, Y e Z, e perfis topográficos com DGPS (Differential Global Positioning System) e sedimentologia. A planície costeira de Almofala possui o planalto costeiro com tabuleiros costeiros, incluindo tabuleiros litorâneos (8.031.957m<sup>2</sup>) e plataforma de abrasão (34.654m<sup>2</sup>); a planície costeira inclui a planície aluvial (planície de inundação e terraços com 944.912m<sup>2</sup>); planície estuarina (planície fluviolagunar/847.036m<sup>2</sup>, planície de intermaré/5.782.520m<sup>2</sup>, canais de maré e delta/66.696m<sup>2</sup>); e a planície arenosa (dunas fixas/eolianitas 13.879.382m<sup>2</sup>, dunas móveis/1.463.971 m<sup>2</sup>, praias de Almofala, da Barreira e de Torrões/837.031 m<sup>2</sup>).

#### Palavras-chave

Planície Costeira do Almofala. Unidades geomorfológicas. Mesomaré.

#### Abstract

The Almofala Coastal Plain include the Almofala, Barreira and Torrões Beachs, influenced by high temperatures (>25°C) and average rainfall of 1172.21mm, winds of 5.5m/s, mesotidal regime. The analysis of the morphological subdivision of the Coastal Plain of Almofala was performed, based on remote sensing data, topography and sedimentology analysis. The methodology consisted of: (a) collection of points X, Y and Z, and with DGPS (Differential Global Positioning System) topographic profiles, (2) analysis of the morphology MDT (Terrain Digital Model) by kriging interpolation (3) making of thematic maps (contour lines and slope), (4) collect and analysis of sediments samples, and (5) establishment of the geomorphological subdivision of the PCA. The Almofala Coastal Plain has: coastal plateau (8.031.957m<sup>2</sup>), an abrasion platform (34.654m<sup>2</sup>); floodplain (floodplain and terraces with 944.912m<sup>2</sup>); plain estuary (lagoon-fluvial plain, plain inter-tidal/5.782.520m<sup>2</sup> and delta/66.696m<sup>2</sup>) and sandy plain (sandy ridges/eolianites 13.879.382m<sup>2</sup>, beaches present/1.463.971m<sup>2</sup>, Almofala, Barreira and Torrões beaches/837.031m<sup>2</sup>).

#### Keywords

Almofala Coastal Plain. Morphological units. Mesotidal.

## INTRODUÇÃO

O arranjo geomorfológico das planícies costeiras é entendido através das relações entre as formas (SUMMERFIELD, 1991) e os processos atuantes (erosão, deposição e transporte de sedimentos) no continente (geologia, hidrografia) e na linha de costa (ondas, marés, correntes), originando, modificando e recriando as feições (KLEIN et al., 2001).

A identificação das unidades geomorfológicas da Planície Costeira de Almofala (PCA) foi baseada nas grandes unidades, unidades e subunidades, sedimentologia, processos dominantes atuais e históricos, topografia, modelagem de terreno digital (MDT) e sensoriamento remoto (SR), de acordo com Summerfield (1991), Davis Junior (1983, 1992), Souza Filho e El-Robrini (2000), Souza Filho (2000a,b), Silva Filho (2004), Costa e Souza Filho (2007), Callaghan et al. (2009), Yoshikawa et al. (2010) e Campos e Santos (2013).

A análise do relevo costeiro envolve diversas linhas de pesquisa: análise comparativa entre métodos de interpolação para a construção de modelos numéricos do terreno (KOZCIAK, 1999); predição de propriedades do solo, utilizando dados digitais de elevação (LAGACHERIE; VOLTZ 2000); avaliação e aplicação de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros de Bragança (SOUZA FILHO, 2000); geomorfologia da zona costeira de Bragança (SOUZA FILHO; EL-ROBRINI, 2000); RADARSAT-1 e Landsat-5 TM no mapeamento geomorfológico (SOUZA FILHO; PARADELLA, 2005); modelagem numérica de terreno (FELGUEIRAS; CÂMARA, 2006), Remote Sensing Techniques for Studying Coastal Ecosystems: an Overview (KLEMAS, 2011), variação da linha de costa na região da ilha dos Guarás-PA, através da Análise de Série Temporal de Imagens de Satélites (CONTI; RODRIGUES, 2011); bem como análise da compartimentação morfoopedológica das áreas (CAMPOS; SANTOS, 2013).

Atualmente, os estudos morfológicos enfatizam: a utilização de modelos digitais de elevação (MDE) na representação do relevo submerso e emerso na zona costeira amazônica (COSTA; SOUZA FILHO, 2007); a utilização de imagem de alta resolução espacial para o mapeamento de Monte Belo do Sul; a quantificação dos processos de erosão nas planícies costeiras (CALLAGHAN et al., 2009); e a análise geomorfológica de pântanos via sensoriamento remoto (SR) multitemporal e multiespectral com LIDAR e SIG (MILLETTE et al., 2010); geodésia de precisão aplicada a evolução morfodinâmica de curto prazo (SANTOS et al., 2014).

Até hoje os seguintes trabalhos foram realizados na PCA: estudo das unidades morfoestruturais do estado do Ceará (SOUZA, 1989); evolução tectono-sedimentar e o hábitat do óleo da Bacia do Ceará (COSTA et al., 1990); Bacia do Ceará (BELTRAMI et al., 1994); zoneamento geoambiental do Ceará (SOUZA, 1994); evolução geomorfológica da zona costeira cearense (SALES, 2002); atlas de geologia e recursos minerais do Ceará (CPRM, 2003); domínios morfoestruturais da plataforma continental do estado do Ceará (SILVA FILHO, 2004); e o mapeamento das unidades geoambientais da zona costeira cearense (MAIA; CAVALCANTE, 2005).

O SR e o MDT são ferramentas essenciais em mapeamentos geomorfológicos (JENSEN et al., 1998; BARRETO NETO et al., 1999; CÂMARA; MEDEIROS, 2000; TINÓS et al., 2014), por permitir tratar as variáveis de forma rápida e integrada em Banco de Dados Geográficos (BDGs). Os elementos de interpretação visual utilizados nas imagens (JENSEN, 1998; CÂMARA; MEDEIROS, 2000; FLORENZANO, 2002, 2008) foram: tonalidade, cor, textura, localidade (de certos alvos), forma (regular, irregular), objeto, posição (x, y) e a altura (z).

Este artigo revela duas grandes unidades (Planalto Costeiro e Planície Costeira), quatro unidades de relevo (Tabuleiros Costeiros, Planície Aluvial, Planície Estuarina e Planície Arenosa) e nove subunidades morfológicas (tabuleiros litorâneos, plataforma de abrasão, planície de intermaré, planície lagunar, canais de maré e delta, dunas fixas/eolianitas, dunas móveis, praias de Almofoala, da Barreira, de Torrões e calhas) da PCA, a partir de sensores remotos, MDT, topografia, sedimentologia, e mapeamentos (curvas de nível e declividade).

## **1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA NA PLANÍCIE COSTEIRA DE ALMOFALA**

A Planície Costeira de Almofoala (PCA), com 8 km de largura, localiza-se no município de Itarema (Nordeste, Brasil) (UTM: X1: 403000 E, 9673000N, X2: 412000E, 9679000N) (Figura 1) e está instalada na margem passiva do Ceará, com presença de falha inferida (NE-SW) na área continental, controlando o rio Aracatimirim (Figura 1) e falhas normais (E-W) na plataforma continental interna (Silva Filho 2004). Na PCA afloram duas grandes unidades geológicas: a Formação Barreiras do Neógeno (Mioceno/Plioceno), que se estendeu ao Quaternário

(Pleistoceno); e os Depósitos Quaternários (Holoceno) (BELTRAMI et al., 1994; CPRM, 2003).

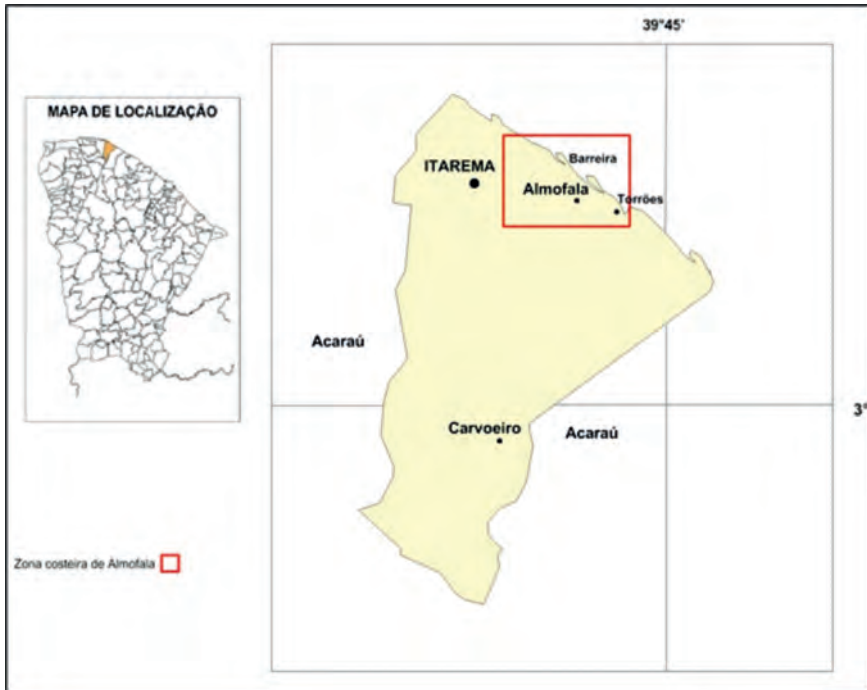
Segundo Souza (1989, 1994) e IBGE (2009), a PCA insere-se no Domínio Morfoclimático da Caatinga, das depressões intermontanas e interplanálticas semiáridas. O Domínio Morfoestrutural da área inclui: os sedimentos inconsolidados (Planalto Costeiro), com sequências da Formação Barreiras do Neógeno (Mioceno/Plioceno); e os Depósitos Quaternários (Holoceno) sedimentares (Planície Costeira), que se sobrepõem ao Embasamento Cristalino (Pré-Cambriano) – e este não aflora na PCA.

De acordo com Souza (1989, 1994), o relevo da PCA é sustentado por duas unidades geomorfológicas distintas: (a) O Planalto Costeiro ou Glacis Litorâneo (SOUZA, 1989), que inclui os Tabuleiros Costeiros, com Tabuleiros Litorâneos de Modelado de Aplainamento com uma superfície pediplanada constituída pelos terraços marinhos (formas de relevo de topo plano), elaboradas em sedimentos inconsolidados e conglomerados, limitadas por escarpas (SALES, 2002; MAIA; CAVALCANTE, 2005) e as plataformas de abrasão; a altitude dos tabuleiros litorâneos (com área de 8.066.611 m<sup>2</sup>) é relativamente baixa, contendo as maiores elevações (+30 m) e ocorrem na parte SW da área; (b) a Planície Costeira (SOUZA; 1989, 1994; SALES, 2002), que inclui a planície aluvial (planície de inundação e terraços com 944.912 m<sup>2</sup>); planície estuarina (planície fluviolagunar/847.036 m<sup>2</sup>, planície de intermaré/5.782.520 m<sup>2</sup>, canais de maré e delta/66.696 m<sup>2</sup>); e a Planície Arenosa, com areias médias (dunas fixas/eolianitas 13.879.382 m<sup>2</sup>, dunas móveis/1.463.971 m<sup>2</sup>, praias de Almofala, da Barreira e de Torrões/837.031 m<sup>2</sup>), conforme a Tabela 1.

A PCA é recortada pelo rio Aracatimirim, e o maior corpo d'água é o lagamar do Sargento, pertencente à sub-bacia da Bacia Hidrográfica Litorânea do Ceará. A drenagem tem um padrão dendrítico e paralelo com presença de córregos como o do Lamarão e o do Paná, com nascentes na Formação Barreiras e nos Depósitos Quaternários.

O clima na região da PCA caracteriza-se por temperaturas quentes, que excedem 25°C e pluviometria variando entre 800 mm a 1.600 mm, em média, classificado como tropical chuvoso e quente (AYOADE, 1986). A circulação é de leste (alísios), com ventos de direção preferencial de E (leste) e velocidade média de 5.5m/s (FUNCEME, 2010).

Figura 1 – Mapa de localização da Planície Costeira de Almofala (quadro vermelho).



Fonte: Aguiar (2011).

## 2 METODOLOGIA

Metodologicamente, a pesquisa constituiu-se em um estudo descritivo e explicativo, com identificação e quantificação das variáveis geomorfológicas e reavaliação sistemática da bibliografia e documentação pré-existente. Foram adquiridos documentos cartográficos da área: cartas topográficas da SUDENE de 1979 (Folha SA 24); mapa morfoestrutural do Ceará, na escala de 1:500.000 (CPRM, 2003); imagens de satélite Quickbird (2004) e do satélite Landsat (2006).

Foram realizadas duas campanhas de campo na PCA, para o mapeamento das unidades geomorfológicas: (1) de 10 a 15/02/2007 - reconhecimento de áreas, identificação de unidades e subunidades geomorfológicas, coleta de pontos de coordenadas com DGPS com latitude, longitude e altitude para elaboração dos perfis topográficos; (2) 10 e 11/05/2008 - realidade terreno do mapa geomorfológico na escala de 1/50.000.

## 2.1 AMOSTRAGEM DOS DADOS TOPOGRÁFICOS

Para a confecção do MDT (Figura 2) com dados espaciais vetoriais seguiu-se a seguinte sequência: aquisição de amostras (coordenadas e altitude); geração do modelo ou interpolação; e a aplicações dos dados. A amostragem (X, Y e Z) utilizada foi a semirregular, que preserva a regularidade (em uma direção pré-estabelecida) na direção x ou y, não necessariamente nas duas ao mesmo tempo.

A amostragem por perfis com coleta de dados com DGPS iniciou no LGMA, seguida de campo na área e tratamento dos dados em laboratório. O método utilizado “in situ” de perfilagem foi o stop” and “go”. Foram realizados 28 perfis transversais de comprimento variado – a cada 500 m na PCA e 200 m nos pontos. Foram estabelecidos cinco perfis aleatórios nas praias de Almofala, da Barreira e de Torrões. Foram confeccionados ainda cinco perfis, com distâncias de 5 m e 2 m nos pontos de cada perfil. O MDT (Figura 3) foi realizado nos campos de dunas recentes móveis e na praia de Almofala. A acurácia dos dados de alta precisão do DGPS foi de 0,5 cm. Dos 1.465 pontos aleatórios coletados pelo par de DGPS, somente 80 apresentaram inconsistência, num percentual de erro de apenas 5,5 %. No resultado da análise dos pontos obteve-se uma variância medindo 53.98%, enquanto o desvio padrão mediu  $\pm 5.9$ .

## 2.2 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

### 2.2.1 Geração de Modelagem Digital de Terreno (MDT) e de mapas temáticos

Nesta etapa foi gerado o MDT da PCA (Figura 2), cujo método utilizado para a interpolação dos nós do grid foi o da krigagem, baseado na investigação do comportamento das “variáveis regionalizadas” (SILVA FILHO, 2004; BAPTISTA et al., 2006). Após concluir o refinamento da grade original, iniciou-se a elaboração dos MDTs e do mapa de declividade mediante o uso do aplicativo Surfer 8. Foram adotados os valores sugeridos pela Embrapa (1979), com intervalos de: 0-3% (relevo plano); 3-8% (relevo suave ondulado); 8-20% (relevo ondulado); 20-45% (fortemente ondulado); e >45% (relevo montanhoso). Foi confeccionado o MDT de parte da praia de Almofala (Figura 3) – de dunas frontais, estirâncio e pós-praia – através da criação de um grid, com dados de altitude coletados com uso do aplicativo Surfer 8.0.

### 2.2.2 Mapeamento geomorfológico na Planície Costeira de Almofala

Os componentes temáticos do Mapa Geomorfológico (Figura 5) foram elaborados a partir de imagens de satélite Quick Bird (2004) e da interpretação

visual das imagens Landsat 5 (TM) (2006), por observação das variações texturais, da homogeneidade dos temas e contatos morfológicos, para individualização das unidades (MAIA; CAVALCANTE, 2005; SALES, 2002). As unidades e subunidades geomorfológicas foram digitalizadas na escala de 1:50.000 e checadas em campo. As imagens Quickbird foram utilizadas na ortorretificação das imagens Landsat no aplicativo PCI 9.1. Em seguida, as imagens foram salvas no formato \*.pix, importadas no Aplicativo ArcGis 8.3. Posteriormente, foi realizada a interpretação visual da composição colorida das bandas 453, seguida da 457 (RGB) do satélite Landsat (2006). A altura utilizada na ortorretificação das imagens Landsat foi a dos perfis coletados em campo com DGPS. O erro residual do registro foi de 0,789 pixels. A compartimentação geomorfológica da PCA teve como base a integração dos planos de informação em um BDG: (1) interpretação de mapas da bibliografia citada; (2) MDT, mapa de curvas de nível e de declividade. Foram utilizados os aplicativos Surfer 8 e Arcview 8.9.

### **3 ANÁLISE DO MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) NA PCA**

O MDT da PCA evidenciou os principais elementos de relevo, como os tabuleiros litorâneos com +30 m de altitude (Figura 2) e as dunas fixas com mais de 20 m de altitude seguem o sentido da parte interna da PCA (até 2 km). As altitudes mais baixas ocorrem na planície estuarina do Aracatimirim com 0,50 m. A planície aluvial do córrego Lamarão inicia em altitude de 18 m, recortando os tabuleiros litorâneos, desaguando no rio principal com altitude de 2 m a leste da área de pesquisa.

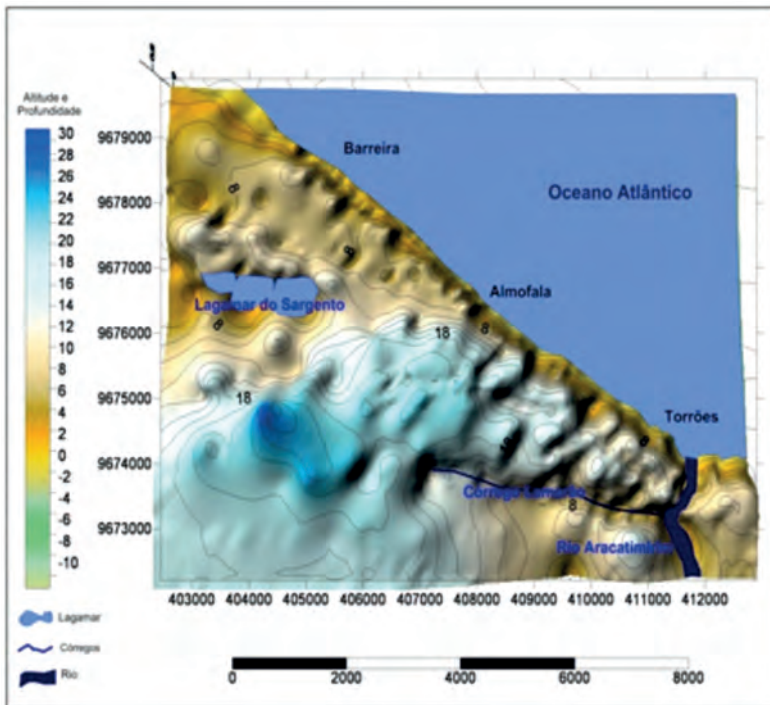
A planície lagunar do Lagamar do Sargento (Figura 5) indica altitudes < 5 m (Figuras 2 e 5). A planície estuarina da praia da Barreira, com altitudes entre 3 e 5 m, formou-se pelo barramento de canais de marés. O contato entre as dunas das praias de Almofala e de Torrões (Figura 3) é marcado por uma quebra de relevo abrupta, com altas declividades, representando as escarpas de praia. Em outras localidades são seguidas por eolianitos existentes ao longo destas duas praias, chegando a ultrapassar altitudes > 15 m. A plataforma continental interna da PCA se desenvolve até a profundidade de -10 m. Próximo à linha de costa, as menores profundidades ocorrem na foz do rio Aracatimirim, nas calhas do delta do estuário, variando de 0,50 a -2 m entre os bancos arenosos (Figuras 2 e 5).

Maia e Cavalcante (2005) e Sales (2002) estudaram corredores eólicos em diversas praias cearenses: de Beberibe e do Futuro, em Fortaleza; de Paracuru e de Pecém. Nas praias de Almofala e de Torrões os corredores de deflação eólica no MDT (Figura 2) apresentam um relevo baixo (3 m). Esses valores seguem a

parte interna da PCA, nos eolianitos e dunas fixas, relacionado a um corredor de circulação dos ventos alísios.

A acurácia final das posições do DGPS variou de 0-5 cm. A acurácia de mapas altimétricos gerados com dados do DGPS variou de 5 cm a 2 m, sendo consideradas boas acurácias se comparadas a levantamentos realizados por métodos convencionais. A maior parte da PCA apresenta-se com relevo plano (classe de 0-3%) (Figura 4), incluindo grande parte dos tabuleiros litorâneos (Figura 5), quase toda a planície estuarina da praia da Barreira e pequenas áreas da planície arenosa. O relevo suavemente ondulado (3-8%) localiza-se em: grande parte das dunas fixas, parte dos tabuleiros litorâneos e a planície lagunar do Sargento (Figuras 4 e 5). O relevo ondulado (8-20%) localiza-se em uma pequena área de dunas, em pequenas áreas distribuídas nas escarpas de praia, escarpas de dunas e margens do córrego Lamarão. O relevo fortemente ondulado (20-45%) está localizado no contato entre a praia e os eolianitos formam escarpas de praia e dunas com morfologia bem preservada. Nas praias de Almofala, da Barreira de Torrões ocorre relevo plano (0-3%).

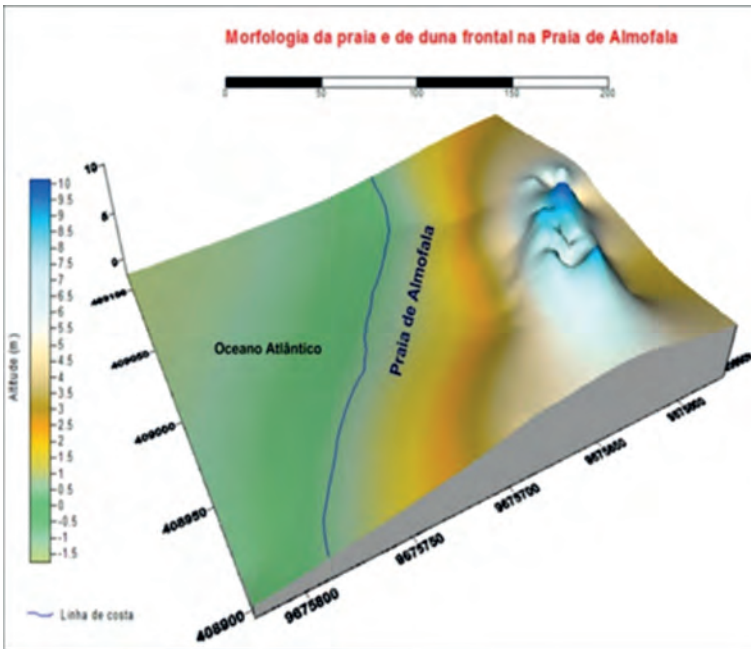
Figura 2 - Modelo Digital de Terreno integrado a Batimetria e topografia da PCA. As curvas estão em metro (m).



Fonte: Aguiar (2011).

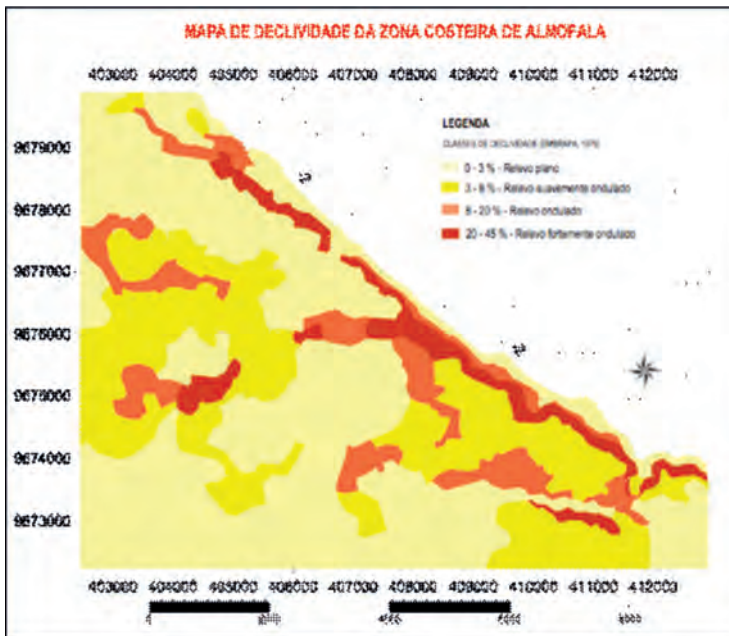


Figura 3 - Modelo Digital de Elevação na planície arenosa de Almofala (praia e duna).



Fonte: Aguiar (2011).

Figura 4 - Mapa de Declividade da Planície Costeira de Almofala.



Fonte: Aguiar (2011).

#### 4 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA NA PCA

Duas grandes unidades geomorfológicas foram identificadas na PCA (Figura 5): o Planalto Costeiro, com uma superfície de 8.066.611m<sup>2</sup>, cerca de 24,22% da área total; e a Planície Costeira, com área de 25.271.014 m<sup>2</sup>, cerca de 75,78% da área. A PCA integra duas unidades geomorfológicas que ocorrem em toda a costa cearense, segundo Souza (1989, 1994), Sales (2002) e IBGE (2009): Planalto Costeiro com tabuleiros litorâneos; e a Planície Costeira. No litoral norte do Brasil, como na ilha de Marajó, predominam os Planaltos Rebaixados da Amazônia (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003) com altitudes de até 20 m. O Planalto Costeiro cearense, esculpido em sedimentos inconsolidados e conglomerados, pode se expor em superfícies pediplanadas, limitadas por escarpas que chegam a ultrapassar os 100 m de altitude (SOUZA, 1989; SALES 2002; MAIA; CAVALCANTE, 2005). Na PCA, os tabuleiros litorâneos apresentam-se em altitudes que ultrapassam pouco mais de 30 m de altitude (Figura 5).

A área possui um arranjo geomorfológico original: planalto costeiro com tabuleiros costeiros (Tabela 1), incluindo tabuleiros litorâneos (8.031.957 m<sup>2</sup>) e plataforma de abrasão (34.654 m<sup>2</sup>); planície aluvial (planície de inundação e terraços com 944.912 m<sup>2</sup>); planície estuarina (planície fluviolagunar/847.036 m<sup>2</sup>, planície de intermaré/5.782.520 m<sup>2</sup>, canais de maré e delta/66.696 m<sup>2</sup>); e planície arenosa, com areias médias (dunas fixas/eolianitos 13.879.38 2m<sup>2</sup>, dunas móveis/1.463.971 m<sup>2</sup>, praias de Almofala, da Barreira e de Torrões/837.031 m<sup>2</sup>).

Na Planície Costeira na ilha de Marajó, dominada por macromaré (>3.5 m) e alta pluviometria, formam-se extensas planícies aluviais, estuarinas e arenosas, fortemente influenciadas por processos fluviais e marinhos (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003). Na PCA, dominada por mesomaré (1.48 m) e baixa precipitação, registram-se a formação de planícies aluviais (terraços, planície de inundação), planícies estuarinas (paleomangues, deltas, planícies lagunares e de intermaré) e planícies arenosas (dunas e eolianitos, com altitudes maiores que 20 m, praias, epaleomangues), com predomínio de ondas, correntes e ventos, a exemplo das praias de Arpoeira e Ponta Grossa, no Ceará (SOUZA, 1989, 1994; SALES, 2002).

Tabela 1 - Grandes unidades, unidades e subunidades geomorfológicas da PCA.

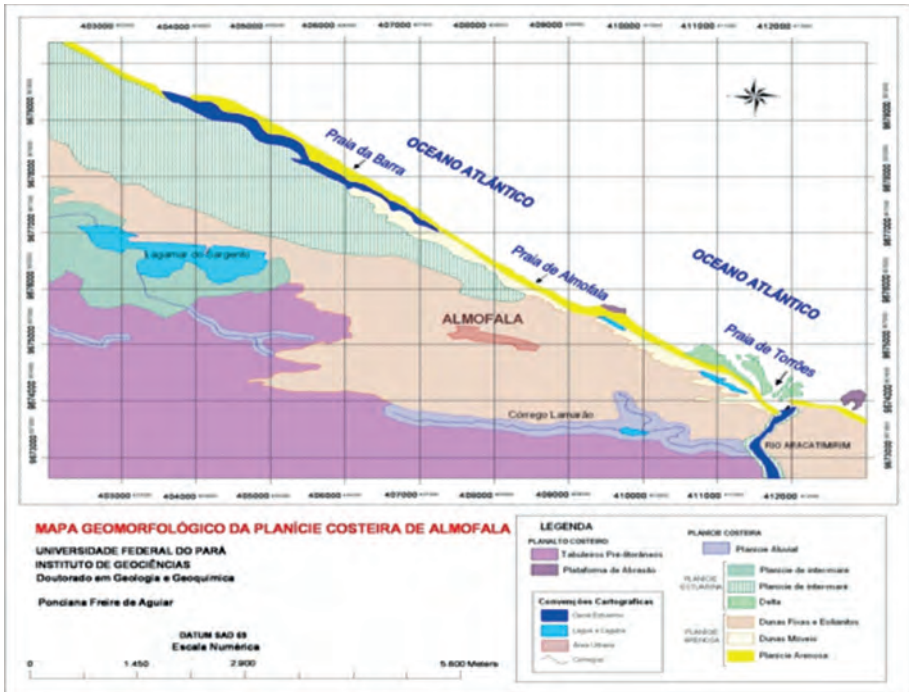
Grandes Unidades/ Unidades Geomorfológicas	Subunidades	Área (m <sup>2</sup> )	%
Planalto Costeiro		8.066.611	24,22
Tabuleiros Costeiros	Tabuleiros litorâneos	8.031.957	24.11
	Plataforma de abrasão	34.654	0.1
Planície Costeira		25.271.014	75,78
Planície Aluvial		944.912	2.83
Planície Estuarina	Planície de intermaré	5.782.520	17.34
	Planície lagunar	1.449.466	4.35
	Canais de maré e delta	66.696	0.2
	Dunas fixas/colianitos	13.879.382	41.63
Planície Arenosa	Dunas móveis	1.463.971	4.39
	Praias de Almofala, Torrões e da Barreira	837.031	2.51
	Calhas estuarinas/lagunas	847.036	2.54
Total das Unidades		33.337.625	100

#### 4.1 PLANALTO COSTEIRO

A grande unidade do Planalto Costeiro da PCA, com altimetria entre 10 a 35 m, inclui a unidade de relevo Tabuleiro Costeiro (SOUZA, 1989, 1994; IBGE, 2009), com superfície de aplanção e topo plano (tabuleiros litorâneos), testemunhando os sedimentos da Formação Barreiras (Figura 6a). A cobertura detrítica ocorre em zonas tabuliformes periféricas às Depressões Sertanejas, e em contato com o litoral. O Planalto Costeiro, com uma superfície de 8.066.611 m<sup>2</sup> (24,22 %), é recoberto por areia fina (5,9%) a areia muito fina (2,9%). Nas praias de Almofala e de Torrões ocorrem plataformas de abrasão esculpidas nos sedimentos da Formação Barreiras, isoladas no estirâncio, entre as escarpas de praia e a linha de costa, e sofrem processo de erosão por solapamento (FREIRE e CAVALCANTI, 1998; MORAIS, 2003; SILVA FILHO, 2004). Estas plataformas de abrasão testemunham a antiga presença do Planalto Costeiro nas praias de Almofala e de Torrões, com recuo de, respectivamente, 5.075 m e 2.900 m.

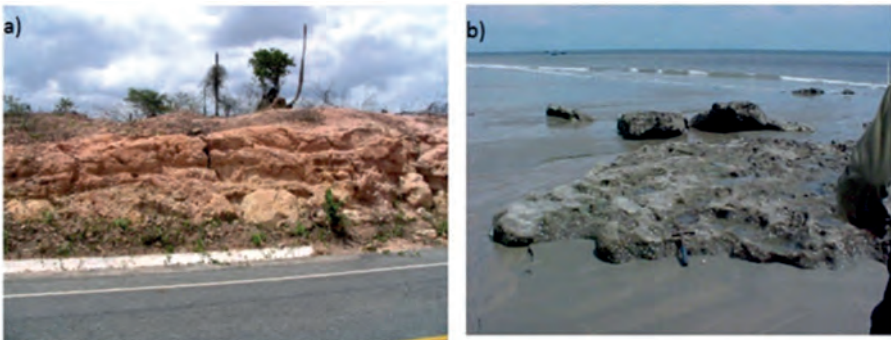
A Plataforma de Abrasão (Figura 6b) está sobreposta ao cristalino maciço (Pré-Cambriano) e ocorre em toda a extensão da PCA na linha de costa, nas coordenadas: (1) X=409500 e Y=9674000 na praia de Almofala; (2) X= 412500E e Y= 9675500N na praia de Torrões. A plataforma de abrasão ocupa uma área de 34.654 m<sup>2</sup>, que equivale a aproximadamente 0,1% da área total.

Figura 5 - Mapa das Unidades e Subunidades Geomorfológicas da Planície Costeira de Almofala (NW do Ceará).



Fonte: Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. Elaboração: Ponciana Aguiar.

Figura 6a-b - Afloramento da Formação Barreiras, Planalto Costeiro na estrada de Itarema, com superfície plana (a); ocorrência de Plataforma de abrasão na praia de Almofala, esculpida nos sedimentos da Formação Barreiras (b).



Fonte: Documentação fotográfica dos autores.

## 4.2 PLANÍCIE COSTEIRA

A grande unidade da Planície Costeira representa a maior parte da área, com 25.271.014 m<sup>2</sup> (75,78% da área total) (Tabela 1, Figura 5) e inclui: a planície aluvial (2,83% da área total); a planície estuarina (21,89%), incluindo a planície lagunar, planície de intermaré, canais de maré e delta; e a planície arenosa (48,53% da área), constituída por dunas fixas e eolianitos, dunas móveis, praias e cordões litorâneos.

### 4.2.1 Planície Aluvial

A planície aluvial da PCA (Figura 5) é plana, com acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas (SOUZA, 1989, 1994; IBGE 2009); inclui as planícies de inundação e os terraços de várzeas atuais. A planície aluvial soma uma área de 944.912 m<sup>2</sup> e bordeja o rio Aracatimirim, e os córregos do Lamarão e do Paná, onde se dispõem areias finas (8,8%) e areia média (2,9 %) (Figura 5). Segundo Suguio (1999), os depósitos de inundação constituem os níveis mais baixos existentes na planície aluvial, correspondendo aos antigos depósitos de enchente, enquanto os terraços de várzea são recobertos por material colúvio-aluvionar, formando rampas.

### 4.2.2 Planície Estuarina

De acordo com Souza (1989, 1994) e IBGE (2009), a Planície Estuarina ou planície fluviomarinha é plana, resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha, sujeita a inundações periódicas, incluindo: planície fluviolagunar, planície de intermaré (manguezais), canais de marés, e deltas ocorrem nas baixadas litorâneas, próximo às desembocaduras fluviais e canais de marés (Figuras 5 e 7).

#### 4.2.2.1 Planície Fluviolagunar

A Planície Fluviolagunar (Figura 5) é plana, resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha, de acordo com Souza (1989, 1994) e IBGE (2009), podendo comportar canais anastomosados, paleomeandros (oxbow lakes) e diques marginais, em setores sob o efeito de rios/córregos e de inundações periódicas (influência das marés) e sazonais (de janeiro a abril) (Figura 5). A Planície Fluviolagunar (Lagamar do Sargento) recobre uma área de 1.449.466 m<sup>2</sup> (4,35% do total da área) na parte interna oeste da PCA. Esta feição é constituída por terrenos de baixa altitude (< 5 m), compostos de areia média (8,8 %) e areia fina (2,9 %).

#### 4.2.2.2 Planície de Intermaré ou Estirâncio

A Planície de Intermaré da PCA (Figura 5) abrange uma superfície de 5.782.520 m<sup>2</sup> (17,34% da área total) incluindo as adjacências da praia da Barreira e as margens do estuário do rio Aracatimir (3,73%). Esta planície é ocupada por manguezal e sofre influência fluviomarinha, sendo constituída por silte grosso (8,8%) e areia muito fina (2,9%) (Figura 7a,c). Ocorrem extensas áreas de mangue, soterradas por dunas na margem direita do estuário do rio Aracatimir e na praia de Almofala afloram paleomangues (UTM 9679760N e 407870E) (Figura 7b).

Figura 7 - Planície Estuarina do rio Aracatimir (a); Paleomangue na praia de Almofala (b); e Planície Estuarina na praia da Barreira (c).



Fonte: Documentação fotográfica dos autores.

#### 4.2.2.3 Delta

O Delta abrange uma superfície de 66.696 m<sup>2</sup> (0,2% da área total) e ocorre na foz do rio Aracatimir com presença de três ou mais braços rasos, separados por bancos arenosos de foz de canal, originados por sedimentação, que ficam expostos na baixamar, em regime de mesomaré (1,48 m).

#### 4.2.3 Planície Arenosa

A Planície Arenosa corresponde a uma área plana de 1.463.971 m<sup>2</sup>, resultante de acumulação de sedimentos marinhos que englobam dunas, restingas, praias, cordões litorâneos; e ocorrem nas baixadas costeiras sob a influência de processos de agradação marinhos por diversos agentes climáticos (vento) e hidrodinâmicos (ondas, correntes e marés) (SOUZA 1989, 1994; FRANÇA e SOUZA FILHO, 2003; LI et al., 2008; IBGE, 2009).

##### 4.2.3.1 Cordões Arenosos de Dunas

Os Cordões Arenosos de Dunas (em m<sup>2</sup> - 15,3 km<sup>2</sup>) compreendem uma superfície de acumulação com depósitos arenosos ondulados, gerados por

processos eólicos, com cristas que podem ultrapassar a altura de 30 m. Na PCA, os ventos transportam os sedimentos marinhos do estirâncio por processos de saltação e arrasto, até a zona de pós-praia, na parte interna (2 km), como ocorre na costa sudeste do Brasil (BIGARELLA et al., 2005).

Esses cordões arenosos apresentam estratificações plano-paralelas e cruzadas (SOUZA, 1989, 1994; MAIA; CAVALCANTE, 2005; IBGE, 2009). Possuem formas (barcanas, parabólicas, transversais, longitudinais e reversas) que variam em função do estoque de sedimentos costeiros, processos eólicos e direção do vento (BIGARELLA et al., 2005).

As dunas fixas ocupam a maior porção da superfície da PCA, com 13.879.382 m<sup>2</sup> (41,62%) da área total. As dunas móveis ocupam uma área de 1.463.971 m<sup>2</sup> (4,39%). Essas dunas e os eolianitos são formados por areia fina (14,7 %) e areia muito fina (8,8 %).

Os lençóis dunares (sand sheet) na PCA são formados por dunas transgressivas, com formas transversais, sem face de deslizamento; o regime de vento predominante é unimodal de quadrante E, com feições planas pouco onduladas e terminações parabólicas. As dunas longitudinais ou lineares estão dispostas em paralelo à direção do vento principal, em formas alongadas (Figura 8), pelo vento de direção preferencial E, e por ventos de ESSE, em regime de vento unimodal.

Figura 8 - As setas amarelas indicam as dunas longitudinais alongando-se para a parte interna da praia de Almofala.



Fonte: Documentação fotográfica dos autores.

As dunas parabólicas estão dispostas na PCA nos formatos em “U” ou “V”, com o lado côncavo orientado para barlavento, na direção preferencial de transporte eólico de seus sedimentos, estando distribuídas sobre a planície de deflação por ventos de SE.

As dunas transversais da PCA são originadas por ventos unidirecionais, com a face de deslizamento voltada para a direção do vento. Geralmente estão perpendiculares ao vento dominante E, constituindo um conjunto de dunas barcanas ativas e transgressivas. Essas faces de deslizamentos voltadas para a direção do vento ocorrem, por exemplo, nas dunas transversais da ilha de Santa Catarina (BIGARELLA et al., 2005).

As dunas barcanas, com forma de meia-lua, possuem a face convexa orientada para o sentido do vento dominante, oposto ao da duna parabólica, como nas dunas de Canoa Quebrada-CE (MAIA, 1998; MAIA; CAVALCANTE, 2005). Na PCA, as barcanas estão dispostas transversalmente aos ventos de E, formando feições transgressivas e coalescentes evoluindo em dunas barcanoides, formada pela justaposição de dunas barcanas, tendo maior disponibilidade de sedimentos em períodos secos do ano.

Os Eolianitos são dunas fixas antigas na PCA, cimentadas por carbonato de cálcio, com forma piramidal, dispostas obliquamente à direção dos ventos de E. No estuário do Aracatimirim (Figura 9a), os eolianitos formam escarpas ativas por solapamento marinho. Na praia de Almofala (Figuras 9b e 9c), os eolianitos estão em contato direto com um antigo canal de maré que se transformou em lago por fechamento de barra em médio período. Os eolianitos da praia de Almofala (Figura 9d) são formados por truncamentos, estratificações do tipo laminar plano-paralela e cruzada em médio e baixo ângulos, indicando cristas de dunas retas e mudanças na direção de fluxo de vento em longo período (MAIA, 1998). A morfologia piramidal dos eolianitos (Figuras 9a e 9c) é bem preservada e as altitudes chegam a  $\pm 30$  m. Notam-se a escarpa de eolianito com 1 m de altitude (Figura 9b).

No sistema duna-praia de Torrões (Figuras 10 e 11), a formação da escarpa de praia pelos eolianitos marca o fim da zona de praia e o início das dunas fixadas por carbonato de cálcio sobrepostas por dunas móveis, e na parte interna os eolianitos afloram novamente (Figura 10), recobertos e fixados por vegetação (Figura 10).

As dunas frontais são móveis e adquirem formas variadas em bordas de praia (Figura 13a). Na praia de Almofala, essas dunas dispõem-se transversais à linha de costa e perpendicular à direção dos ventos predominantes de E, fortes e constantes.



Figura 9 - Eolianitos na praia de Torrões (a); eolianitos na praia de Almofala (b); eolianitos em contato com a lagoa abandonada na praia de Almofala (c); detalhe de eolianito na praia de Almofala formando escarpas de praia (d).



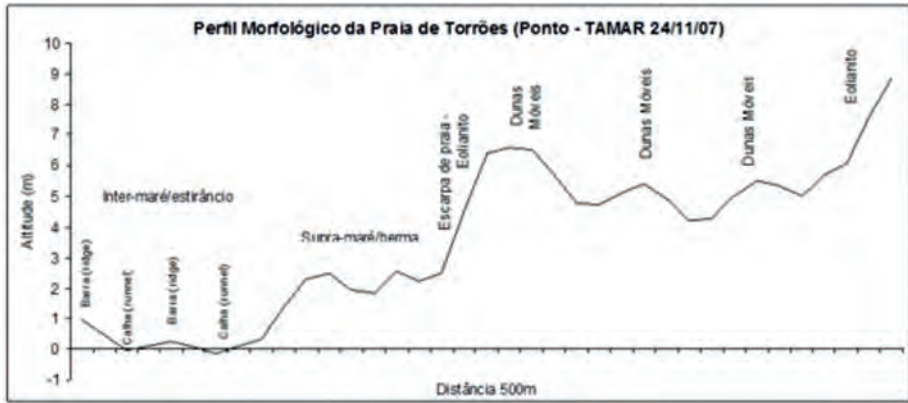
Fonte: Documentação fotográfica dos autores.

Figura 10 - Eolianitos na parte interna da PCA (a); escarpa de eolianito (b); e com morfologia piramidal (c).



Fonte: Documentação fotográfica dos autores.

Figura 11 - Perfil morfológico do sistema praia-duna superficial da Praia de Torrões, próximo ao Projeto TAMAR.



Na praia de Almofala têm-se sistemas de dunas frontais na parte leste (Figura 12) e na parte oeste (Figura 12), dispostas transversalmente à linha de costa, com relevo suavemente ondulado nas dunas móveis, e relevo plano nas praias (Figura 5).

Figura 12 - Dunas frontais na praia de Almofala, parte leste.



Fonte: Documentação fotográfica dos autores.

#### 4.2.3.2 Cordões Arenosos de Praia

A praia é constituída por um prisma arenoso recente e contínuo nas praias de Almofala e de Torrões, em forma de sistema de barras (rigdes), seguidas de

calhas (runnel), enquanto na praia da Barreira dispõe-se sobre o cordão litorâneo, desde a linha de maré baixa (LMB) até a linha de maré alta (LMA), sendo a base das dunas móveis formadas por areia fina no estirâncio (11,8 %) e areia média (17,6 %) na zona de pós-praia.

As praias na PCA ocupam 837.031 m<sup>2</sup> (2,51%) da área total. Nas praias da Barreira, de Almofala e de Torrões foram identificadas as zonas: de backshore, foreshore e shoreface (REINECK; SINGH, 1980), que se diferenciam pelas características morfológicas e granulométricas, tempo de exposição subaérea ou de inundação e dinâmica.

A zona de backshore (supramaré ou pós-praia) (Figura 13c) estende-se desde o limite entre as dunas (escarpas de praia) até a LMA, e permanece a maior parte do tempo seca, exposta ao vento, exceto nas marés altas excepcionais, quando o vento remobiliza os sedimentos mais finos para o suprimento das dunas. As zonas de backshore das praias da PCA formam cordões arenosos (cristas arenosas) que ultrapasam 2 m de altitude, alongados e semirretos chamados de berma delimitados pela escarpa de praia e o início da zona de foreshore (Figura 13c).

A zona de foreshore ou de intermaré (ou estirâncio) (Figura 13c) estende-se da LMA até a LMB. As correntes longitudinais formam uma ou mais barras e calhas, expostas durante a maré baixa. A intensidade e direção do vento e a exposição subaérea deslocam as areias para a zona de backshore na baixamar, engordando a faixa praial.

Em 2007, observaram-se sistemas de barra e calha bem desenvolvidos nas praias da Barreira e de Torrões (Figuras 13b-c), e escarpas de praia em Almofala (Figura 13a). Esses sistemas evoluem por crescimento e progradação de flechas arenosas, e do desenvolvimento e emergência de barras arenosas offshore que migram na direção do continente. Ocorrem em toda a extensão do litoral de Itarema (SALES, 2002). Na praia da Barreira, o cordão arenoso favoreceu a sedimentação lamosa e a formação de manguezais entre a barreira e o continente.

A zona de shoreface ou de inframaré estende-se abaixo da LMB e inclui as zonas de arrebentação e de surfe, estando sempre submersa. É constituída por sistema de barras e calhas longitudinais cuja formação está associada à arrebentação das ondas e às correntes longitudinais (REINECK; SINGH, 1980).

Na zona de foreshore na quadra de estiagem (junho a novembro), a atuação dos ventos, ondas, correntes e marés (SOUZA FILHO, 2000) favorecem os sistemas de barra e calha. Na quadra chuvosa (Figura 14a), ocorre um maior aporte de sedimentos dos rios e de atuação da maré (Figura 14b), permitindo a formação de linhas de maré nas calhas na praia de Torrões, medindo cerca de 20 e 40 cm (Figura 14c).

No início da praia da Barreira tem-se uma berma na área pós-praia, e na zona de intermaré um sistema barra e calha (Figura 14). Na praia destacam-se terraços, dunas móveis do tipo frontal, berma, e sistema barra e calha na zona de intermararé (Figura 14).

Segundo Klein e Menezes (2001), estágios reflectivos são observados em praias semiexpostas, com grande quantidade e alta mobilidade de sedimentos subaéreos devido aos processos de progradação e retrogradação, exibindo perfis praias convexas com areias médias, como na praia da Barreira (Figura 14).

Figura 13a-c - Zona de inframaré (ou estirâncio) com linhas de maré e escarpa na praia de Almofala (a); Estirâncio com sistema de barra e calha na praia da Barreira (b); Zonas de supramaré e de inframaré com sistema de barra e calha na praia de Torrões (c).



Fonte: Documentação fotográfica dos autores.

Figura 14a-c - Praia de Almofala, com destaque para a zona de intermaré (a) e (b); linhas de marés expostas no estirâncio da praia de Almofala (b) e na praia de Torrões (c).



Fonte: Documentação fotográfica dos autores.

Formam-se estágios dissipativos em praias semiexpostas, com perfis côncavos a lineares, como na praia de Ipanema-RJ (KLEIN; MENEZES, 2001). Na praia de Almofala (Figuras 14a-c), a berma e o sistema de barra e calha em baixo declive também formam estágios dissipativos com areias finas, que em condições de baixamar podem formar pequenas barras em estágios de terraços de baixamar.

Nas praias de Icapuí, no litoral leste (CE), o sistema duna-praia dispõe-se em cordões arenosos e nas praias observa-se a formação de sistemas de barra e calha que podem ocorrer sobrepostos a cordões litorâneos (SALES, 2002), como nas praias da PCA. Na praia de Torrões as escarpas de praia (eolianitos) são seguidas de dunas móveis do tipo frontal, berma, e barras e calhas na zona de intermaré.

As praias da PCA possuem uma inflexão de costa com direção NW-SE, que permite a deposição de sedimentos finos, condicionadas por declividades suaves e ondas pequenas, como ocorre nas praias de Arpoeira, em Acaraú; e Ponta Grossa, em Icapuí (SALES, 2002).

## 5 DISCUSSÕES

A origem e morfologia de ecossistemas costeiros e marinhos têm sua gênese vinculada às mudanças climáticas e às variações do nível do mar no Quaternário (Pleistoceno/Holoceno), quando ocorreu a formação da maior parte das áreas costeiras do Brasil (SUGUIO, 1999).

Na zona costeira cearense, o Planalto Costeiro é sobreposto às rochas do embasamento cristalino, entretanto, a Planície Costeira está esculpida nos sedimentos do Planalto (BELTRAMI et al., 1994; MAIA, 1998; SALES, 2002; SILVA FILHO, 2004; MAIA; CAVALCANTE, 2005; AGUIAR, 2005; SALES; PEULVAST, 2007).

A compartimentação geomorfológica da PCA evidenciou domínios morfológicos e as principais formas do relevo, bem como processos denudacionais associados, revelando o quadro geomorfológico atual, com unidades e subunidades.

A integração de imagem de alta resolução a MNT (grade regular) para o planejamento urbano de Monte Belo do Sul, por Farina et al. (2007), permitiu uma ótima análise do relevo. Silva Filho (2004) realizou um MNT utilizando grade regular, integrando a costa cearense à sua margem continental oceânica, obtendo bom êxito quanto à morfologia, na identificação de padrão da drenagem e entalhes, declividade e geração de curvas de nível. Assim, os MDTs são úteis na morfologia de dunas (PEREIRA, 2007), para o seu monitoramento e medição da sua migração sobre a área urbana, de alto risco ambiental. Neste estudo, o MDT na PCA foi muito útil na identificação das unidades e subunidades geomorfológicas.

Os processos de deposição, erosão e sedimentação da Formação Barreiras do Neógeno (Mioceno/Plioceno), com a deposição dos sedimentos sob as formas de leques aluviais até o Quaternário (Pleistoceno) (AGUIAR, 2005), com os rios e córregos esculpindo atualmente as formas de topo plano (tabuleiros com altitudes  $\pm 30$  m). As mudanças de clima (transgressões e regressões) condicionaram as formas de relevo atuais da PCA, com atuação dos processos de erosão, deposição e retrabalhamento de sedimentos na costa (CALLAGHAN et al., 2009).

As planícies estuarinas de Soure e Salvaterra, na ilha de Marajó-PA, não ultrapassam altitudes de 4 m (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003). A plataforma continental interna do Norte do Brasil é delimitada pela isóbata de 20 m, entretanto, a plataforma continental interna da PCA vai até a isóbata de -10 m.

Ao longo da costa cearense encontram-se, pontualmente, rochas de praia (beach rocks), como em Fortaleza e Paracuru, que são corpos arenosos de geometria tabular e cimentação calcítica, em desembocaduras fluviais atuais ou pretéritas (MAIA, 1998). Na PCA, a plataforma de abrasão é esculpida em sedimentos da Formação Barreiras, tabular e cimentada por calcificação.

A Planície Fluviolagunar sofre influência das marés, inundando periodicamente e sazonalmente (de janeiro a abril). Contudo, está em transição para Planície Fluviolacustre devido à comporta construída no canal de maré que liga a Laguna Salgada ao mar (que integra o Lagamar do Sargento). A comporta é aberta e fechada para fins particulares, causando a salinização do solo e da água, e a morte de espécies da fauna e flora.

Formam-se extensas planícies de intermarés em áreas com alta influência de processos fluviais e marinhos, e presença de canais de maré de climas tropicais úmidos, como ocorre na Costa Norte do Brasil (SOUZA FILHO;

PARADELLA, 2005; FRANÇA e SOUZA FILHO, 2003). A influência do clima tropical chuvoso na PCA, em comparação com a Costa Norte do Brasil, propicia o desenvolvimento de áreas menores de planícies de intermarés, pela menor influência dos rios.

Os cordões arenosos de dunas, que ocupam a maior área da PCA (41% da área total), migraram no século passado e as dunas soterraram parte da área urbana. Os cordões dunares arenosos na parte interna da PCA incluem as dunas fixas por carbonato de cálcio (eolianito) ou vegetação e ultrapassam 20 m de altitude, os quais se formaram em condições de clima seco e fortes ventos (BIGARELLA et al., 2005).

As praias de Almofala e de Torrões (com estágios dissipativos) possuem características peculiares se comparadas com a maioria das praias do estado Ceará, como a Prainha, em Aquiraz (com alta inclinação de ondas e declividade acentuada, areias médias a grossas, e praias expostas de estágios intermediários a refletivos) (MAIA; CAVALCANTE, 2005). As praias da PCA, como as de Arpoeira, em Acaraú; e Ponta Grossa, em Icapuí (SALES, 2002), possuem uma inflexão de costa com direção NW-SE que permite a deposição de sedimentos finos, condicionada por declividades suaves e ondas pequenas.

Nas praias da PCA ocorrem sistemas de calhas e barras na zona de intermaré, sendo mais expressivas nas praias de Almofala e Torrões. Bermas aparecem nas zonas de supramaré das três praias. A subunidade de praia é a parte mais rebaixada.

Atualmente, as principais mudanças morfológicas que ocorrem em zonas costeiras envolvem as atividades humanas (uso e ocupação) ou processos naturais de recuo ou avanço da linha de costa, condicionados pelos fatores geológicos e agentes hidrodinâmicos e oceanográficos, acentuados por eventos extremos (El Niño e La Niña, tempestades, ciclones e ressacas), como na praia do Balneário Piçarras (KLEIN e MENEZES, 2009). Na PCA, as mudanças atuais respondem aos mesmos processos, no entanto, não ocorrem ciclones na região e nas praias predominam o recuo da linha de costa, criando zonas de acentuada erosão “hot spot”.

## CONCLUSÕES

O arranjo geomorfológico da área engloba: Planalto Costeiro, com tabuleiros costeiros, incluindo tabuleiros litorâneos (8.031.957 m<sup>2</sup>) e plataforma de abrasão (34.654 m<sup>2</sup>); planície aluvial (planície de inundação e terraços com 944.912 m<sup>2</sup>); planície estuarina (planície fluviolagunar/847.036 m<sup>2</sup>, planície de

intermaré/5.782.520 m<sup>2</sup>, canais de maré e delta/66.696 m<sup>2</sup>); e planície arenosa, com areias médias (dunas fixas/eolianitos 13.879.382 m<sup>2</sup>, dunas móveis/1.463.971 m<sup>2</sup>, praias de Almofala, da Barreira e de Torrões/837.031 m<sup>2</sup>).

Os tabuleiros litorâneos ultrapassam a unidade com maior altitude (30 m) e em seguida vêm as dunas com 20 m de altitude. As altitudes mais baixas ocorrem nas praias.

O mapeamento da compartimentação geomorfológica da PCA por integração de dados de sensoriamento remoto, MDTs, topografia em SIGs, permitiu caracterizar e analisar a morfologia da PCA.

A Planície Costeira de Almofala constitui-se de planalto costeiro, recoberto por areias finas a muito finas (tabuleiros e plataforma de abrasão); planície aluvial (planície de inundação e terraços); planície estuarina (planície fluviolagunar, planície de intermaré, canais de maré e deltas); e planície arenosa com areias médias (cordões arenosos de dunas, praias atuais e terraços arenosos).

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR P. F. Zoneamento Geoambiental no Litoral Leste do município de Beberibe-CE. 2005. 157f. **Dissertação** (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.
- AGUIAR, P. F. Morfologia e dinâmica de médio (1958-2011) e curto (2007) períodos da planície costeira de Almofala, Itarema, Ceará, Brasil. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará, 179p. 2011.
- BAPTISTA, P.; BASTOS L.; BERNARDS, C.; TABORDA, R. Morphodynamics of Exposed Sandy Beaches. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, v. 39, p. 355-359, 2006.
- BARRETO NETO, A. A.; MOREIRA, E. C.; SILVA, A. B. Metodologia para avaliação dos erros em bancos de dados espaciais para uso em sistemas de informações georeferenciadas (SIG). In: **Gis Brasil 99**, 1999, Salvador. Anais... Salvador: FatorGIS, 1999. v. 1, p. 1-4.
- BELTRAMI, C. V.; ALVES L. E. M.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Ceará. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 117-126, 1994.
- BIGARELLA, J. J.; KLEIN, A. H. DA F.; MENEZES, J. T.; VINTÉM G. Sub-Tropical Coastal Dunes: examples from Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 1, p. 113-137, 2005.
- CALLAGHAN, D.; RENASINGHE, R.; SHORT, A. Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. **Coastal Engineering**, v. 5, p. 90-93, 2009. DOI:10.1016/j.coastaleng.2008.10.003



CAMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2000.

CAMPOS, A. C.; SANTOS, G. M. dos. Compartimentação Morfopedológica da Sub-bacia do Córrego Tamanduá em área de Cerrado no Parque Ecológico Altamiro de Moura Pacheco, Goiânia – GO. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2. 2011. **Anais...** Londrina, 2013.

CONTI, L. A.; RODRIGUES, M. Variação da linha de costa na região da ilha dos Guarás-PA através de análise de série temporal de Imagens de Satélites. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, p. 922-937, 2011.

COSTA, I.G. da C.; BELTRAMI, C.V.; ALVES, L.E.M.. A evolução tectono-sedimentar e o habitat do óleo da Bacia do Ceará. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 65-74, 1990.

COSTA, F. R.; SOUZA FILHO, P. W. M. Utilização de modelos digitais de elevação na representação do relevo submerso e emerso na Zona Costeira Amazônica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2485-2492.

CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Atlas de Geologia e Recursos Minerais do Ceará: Sistemas de Informações Geográficas-SIG. Mapas na escala 1:500.000. Brasília: CPRM; Fortaleza: CNPq, 2003. I CD-Rom.

DAVIS Jr., R. A. **Depositional System: a Genetic Approach to Sedimentology** Geology. New Jersey: Prentice Hall, 1983. 669p.

\_\_\_\_\_. **Depositional System: an introduction to Sedimentology and Stratigraphy**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992. 604p.

FARINA, F.C.; AHLERT, S.; DURANTI, R.R.; SILVA, T.P.; FAGUNDES, C.L. Utilização de imagem de alta resolução espacial para o mapeamento do município de Monte Belo do Sul, RS. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. INPE. 2007. p. 515-521.

FELGUEIRAS, C. A.; CAMARA, G. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: DPI, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 15 ago. 2010.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

\_\_\_\_\_. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANÇA, C. F. de F.; SOUZA FILHO, P. W. M. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (PA), em imagem Landsat. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 127-136, 2003.

FUNCEME-Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Meteorologia e Oceanografia. Fortaleza: FUNCEME, 2010. Disponível em: <<http://www.funceme.br/DEMETS/index.htm>>. Acesso em: 10 set. 2010.

FREIRE, G. S. S.; CAVALCANTI, V. M. M. **Cobertura sedimentar quaternária da plataforma continental do Estado do Ceará**. Fortaleza: DNPM/LGMA; UFC, 1998. 42p.

FREIRE, G. S. S.; MORAIS, J. O. Plataforma Continental do Ceará. In: CAMPOS, A. A. et al. (Coords.). **A Zona Costeira do Ceará: diagnóstico para a gestão integrada**. Fortaleza: AQUASIS, 2003. 293p.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Geomorfologia. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2009. 188p. (**Manuais Técnicos em Geociências**, n. 5).

JENSEN, J. J.; HALLS, J. N.; MICHEL, J. A systems approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil contingency planning and response. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 64, n. 10, p. 1003-1014, 1998.

KLEMAS, V. Remote Sensing Techniques for Studying Coastal Ecosystems: an overview. **Journal of Coastal Research**, v. 27, n. 1, p. 2-17, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.2112/jcoastres-d-10-00103.1>.

KLEIN, A. H. F. ; ARAUJO, R. S. ; POLETTE, M. ; SPERB, R. M. ; FREITAS, D. ; SPROVIERI, F. C. ; PINTO, F. T. 2009. Ameliorative strategies at Balneário Piçarras Beach - Brazil. In: A.T. Williams; A. Micallef. (Org.). **Beach Management Guidelines: Principles and Practice**. London: Earthscan Publisher, 2009, v. , p. 241-255.

LAGACHERIE, P., and VOLTZ, M. Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area and digital elevation data: a conditional probability approach. **Geoderma**, 97, 187-208, 2000.

LI, R.; DESHPANDE, S.; NIU, X.; LEE, I-C.; WU, B. **Multi-dimensional geospatial data integration for coastal change analysis**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, v. 37, n. 8, p. 1311-1316, 2008.

KLEIN, A. H. da F.; MENEZES, J. T. de. Beach Morphodynamics and Profile Sequence for a Headland Bay Coast. **Journal of Coastal Research**, v. 17, n. 4, p. 812-835, 2001.

KOZCIAK, S.; ROSTIROLA, S. P.; FIORI, A. P. Análise comparativa entre métodos de interpolação para construção de modelos numéricos do terreno. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 47, p. 19-30, 1999.

MAIA, L. P. Processos costeiros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-BRASIL): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral. 1998. 269f. **Tese** (Doutorado) – Universidade de Barcelola, Barcelona, 1998.

MAIA, L. P.; CAVALCANTE, V. M. M. **Mapeamento das Unidades Geoambientais da Zona Costeira do Estado do Ceará**. Programa Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira, Estado do Ceará. Fortaleza: SOMA/SEMACE/LABOMAR, 2005. 226 p.

MILLETTE, T. L.; ARGOW, B. A.; MARCANO, E.; HAYWARD, C.; HOPKINSON, C. S.; VALENTINE, V. Salt Marsh Geomorphological Analyses via Integration of Multitemporal Multispectral Remote Sensing with LIDAR and GIS. **Journal of Coastal Research**, v. 26, n. 5, p. 809-816, 2010.

PEREIRA, C. Q. Modelagem numérica do terreno (MNT) a partir de dados levantados com receptores GPS e estação total em área sujeita a processos erosivos costeiros. Projeto Cartográfico. Rio de Janeiro: UERJ, 2007. 60 p.

REINECK, H-E.; SINGH, I. B. **Depositional Sedimentary Environments**. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1980. 543 p.

SANTOS, A. L. S. dos; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T. Geodésia de precisão aplicada à análise da evolução morfodinâmica de curto prazo na ilha barreira do Corta Cachorro, litoral do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.15, n.3, p. 425-442, 2014.

SALES, V. C. C. Évolution Géomorphologique de la Zone Côtière le L'état du Ceará, Nord-Est Du Brésil: du Long Terme au Court Terme. 2002. 513f. **Tese** (Doutorado). Paris: Université Paris-Sourbonne, Paris, 2002.

SALES, V. de C.; PEULVAST, J-P. Evolução Morfoestrutural do Relevo da Margem Continental do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 20, p. 1-21, 2007. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>.

SILVA FILHO, W. F. da. Domínios morfoestruturais da Plataforma Continental do estado do Ceará. Orientador: Iran Carlos Stalliviere Corrêa. 2004. 288f. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SILVA, M., NASCIMENTO, C. P., COUTINHO, C. A., ALMEIDA, A. C., VENTURIRI, A., ESQUERDO, J. C. D. M. A transformação do espaço amazônico e seus reflexos na condição atual da cobertura e uso da terra. Belém, **Novos Cadernos NAEA**, Vol. 16, No 1 (2013), p. 229-248

SOUZA, M. J. N. de. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 1, p. 73-91, 1989.

SOUZA, M. J. N. de. Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In: Ceará - Projeto Áridas: Grupo I - Recursos Naturais e Meio Ambiente. Fortaleza: Secretaria de Planejamento; Fundação Cearense de Meteorologia, 1994. v. 2. p.183-206.

SOUZA FILHO, P. W. M. Avaliação e aplicação de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, Norte do Brasil. 2000. 236f. **Tese** (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2000.

SOUZA FILHO, P. W. M.; EL-ROBRINI, M. Coastal zone geomorphology of the Bragança Area, Northeast of Amazon Region, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 518-522, 2000.

SOUZA FILHO, P. W. M.; PARADELLA, W. R. Use of RADARSAT-1 Fine Mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 31, p. 214-224, 2005.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**: (passado + presente = futuro?). São Paulo: Paulo's Comunicações e Artes Gráficas, 1999. 366 p.

SUMMERFIELD, M. A. **Global geomorphology**: an introduction to the study of landforms. New York: Longman, 1991. 537 p.

YOSHIKAWA, S.; NEMOTO, K. Seasonal variations of sediment transport to a canyon and coastal erosion along the Shimizu coast, Suruga Bay, Japan. **Marine Geology**, v. 271, p. 165-176, 2010. DOI:10.1016/j.margeo.2010.02.010.

Texto submetido à Revista em 30.09.2014  
Aceito para publicação em 15.07.2015