

MUDANÇAS MORFOLÓGICAS NA LINHA DE COSTA DAS PRAIAS DE ALMOFALA E DA BARREIRA EM MÉDIO PERÍODO (1958-2004) UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

MUDANÇAS MORFOLÓGICAS NA LINHA DE COSTA DAS PRAIAS DE ALMOFALA E DA BARREIRA EM MÉDIO PERÍODO (1958-2004) UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Ponciana Freire de Aguiar
Universidade Federal do Pará
poncianafreire@freire.com

Maâmar El-Robrini
Universidade Federal do Pará
robrini@pesquisador.cnpq.br

George Satander Sá Freire
Universidade Federal do Ceará
freire@ufc.br

Rodrigo Guimarães de Carvalho
Universidade Estadual do Rio Grande do Norte
rodrigo.ufc@gmail.com

EIXO TEMÁTICO: GEOGRAFIA FÍSICA E GEOTECNOLOGIAS

Resumo

A linha de costa nas praias de Almofala e da Barreira (Itarema, Ceará, Brasil) sofreu mudanças da posição geográfica, ao longo de um período de 46 anos (médio - 1958-2004). Esta área inclui as praias de Almofala e da Barreira, é influenciada por altas temperaturas, pluviometria média de 1200mm, com planalto costeiro abaixo de planície aluvial, planície estuarina, e planície arenosa com cordões arenosos de dunas, praias atuais e terraços arenosos. A metodologia consistiu na: (1) aquisição de fotografias aéreas multitemporais (nas escalas de 1:32.500 e 1:25.000) e imagens de satélites ortorretificadas de alta resolução espectral e espacial (Quickbird); (2) georeferenciamento de fotografias aéreas, através de pontos de controle extraídos das imagens Quickbird; (3) a interpretação visual das imagens do satélite Quickbird (2004) integrada a das fotografias aéreas (1958 e 1988); (4) na geração dos mapas de progradação e retrogradação na escala 1:50.000. Os resultados mostram uma maior intensidade de processos de erosão da linha de costa: (1) com retrogradação de $-958255,05 \text{ m}^2/46 \text{ anos}$ (1958/2004) (54,3%); e (2) progradação de $805299,48 \text{ m}^2$ (45,7%).

Palavras chaves: morfologia, linha de costa; médio período; sensoriamento remoto

Abstract

The coastal line to Almofala and Barreira beaches (Itarema, Ceará, Brazil) had much changes, to geographic position, along by 46 years period (1958-2004). This area include Almofala and Barreira Beachs, conditioned for high temperatures and media raining 1200mm, with plateau under alluvial plain, estuarine plain, sandy plain with coastal sandy dunes, beaches and sandy terraces. The methodology consisted: (1) collection multi-temporal airborne photography's (1:32.500 and 1:25.000 scales) and spectral and spatial resolution to Quickbird satellite images ortho-retificatied (2004); (2) the airborne photography was georeferenced for control points extracted Quickbird images; (3) integration to visual interpretation to Quickbird satellite images (2004) and airborne photography's (1958-1988); (4) progradation and retrogradation mapping, in scale 1:50000. The analyses indicated a major intensity to shoreline erosion process: (1) retrogradation of $-958255,05 \text{ m}^2/46 \text{ years}$ (1958/2004) (54,3%); and (2) progradation by $805299,48 \text{ m}^2$ (1958/2004) (45,7%).

Key words: morphology, coastal line; mid-term; remote sensing

1. Introdução

A dinâmica nas praias de Almofala e da Barreira é influenciada por fatores climáticos/meteorológicos, oceanográficos, sedimentológicos, de oscilações do nível do mar, e por atividades antrópicas, causando mudanças morfológicas na linha costa. Este artigo revela um significativo recuo da linha de costa das praias de Almofala e da Barreira.

A área é condicionada por mudanças naturais (processos de erosão, transporte e sedimentação), agindo nos materiais (substratos costeiros), além da vegetação e presença de desembocaduras, refletindo uma resposta do comportamento da costa aos processos e agentes dinâmicos (Souza Filho & Paradella 2002; Short & Trembanis 2004, Klein *et al.* 2003), tornando a linha de costa vulnerável aos riscos ambientais (Kulmar *et al.* 2010).

As praias de Almofala e da Barreira juntas possuem 6km de extensão, localizadas no município de Itarema, costa oeste do estado do Ceará (Figura 1), enquadrada entre as coordenadas UTM: X1: 403500 E, 9673000N, X2: 412500E, 9680000N. Limita-se ao sul com o distrito de Carveiro, ao norte com o Oceano Atlântico, a sudeste com o distrito de Patos, e a oeste com a praia da Barra, distando 185 Km de Fortaleza.

Nessas praias é observado um clima tropical chuvoso e quente (Ayoade 1996), com altas temperaturas, variando entre a máxima de 30°C e mínima de 22°C (Rocha *et al.* & El Robrini 2002), com chuvas que concentram-se entre janeiro e abril, a média pluviométrica é de 1.200mm (1977-2004), mínima de 350mm e máxima de 2,886mm (FUNCEME 2010). A velocidade média dos ventos é de 5,5m/s, e direção preferencial de E, e secundariamente ENE e ESE. O regime de meso-marés possui altura de 1,48m, ondas de 0,56m, e corrente longitudinal direcionada para NW.

A praia da Barreira é recortada por um córrego que deságua no mar, com padrão dendrítico e paralelo. A parte interna da praia de Almofala encontra-se o Lagamar do Sargento, maior corpo d'água da área, com córregos com nascentes nos sedimentos da Formação Barreiras e nos Depósitos Quaternários, e canais de maré na praia da Barreira.

Duas unidades geológicas afloram na área: a Formação Barreiras (Mioceno/Plioceno); e os Depósitos Quaternários (Holoceno). A área está instalada na borda da margem passiva e é recortada por uma falha inferida de sentido NE-SW. Duas unidades geomorfológicas ocorrem (Sales 2002, Maia & Cavalcante 2005): (a) o Planalto Costeiro ou tabuleiro litorâneo aplainado, de superfície pediplanada (Figura 1); e (b) a Planície Costeira que inclui: planícies aluviais, planícies estuarinas e planícies arenosas (Figura 1).

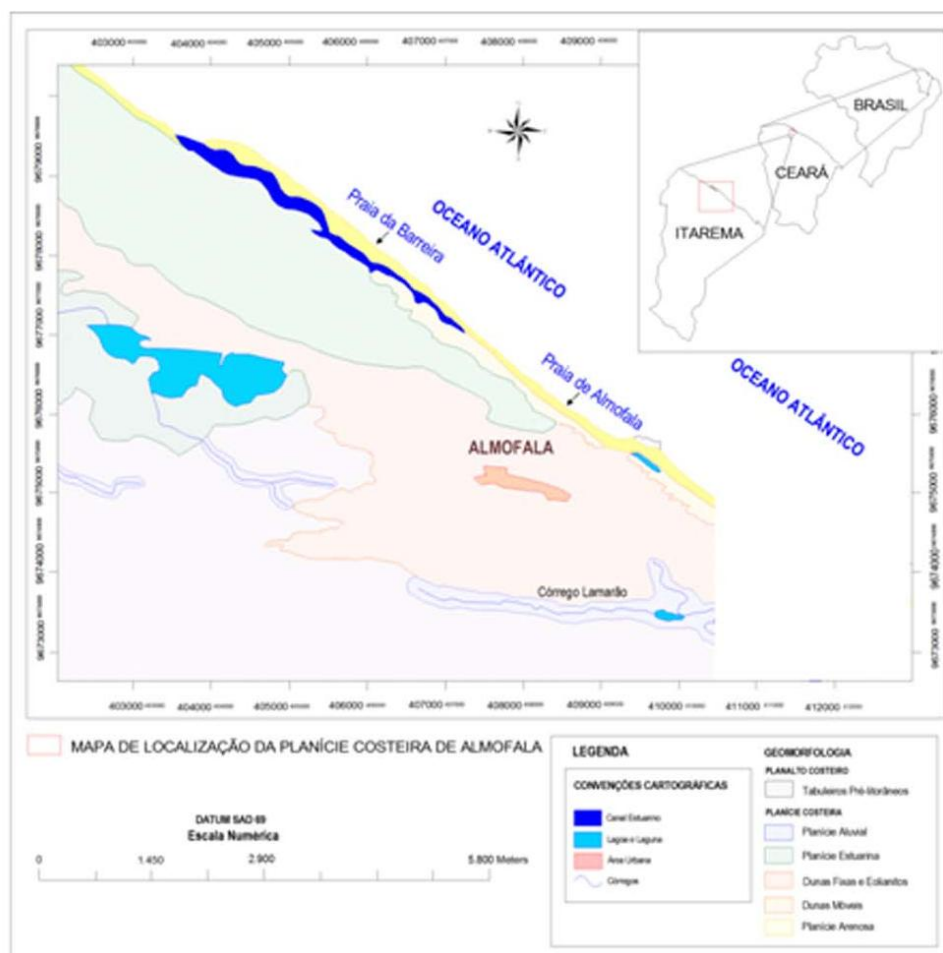


Figura 01. Mapa de localização das praias de Almofala e da Barreira.

As mudanças morfológicas são condicionadas pelos sistemas oceanográficos e hidrodinâmicos na costa que podem ser afetados por eventos extremos (El Niño e La Niña) tempestades e ressacas (Klein *et al.* 2003, Calliari *et al.* 2010), causando aumento de temperaturas do ar e do mar, mudanças na circulação do ar, nas correntes marinhas, e na precipitação e suprimento de sedimentos para a costa.

As mudanças costeiras naturais e antrópicas foram quali-quantificadas com o uso de integração de dados e imagens de sensores remotos em Sistema de Informações Geográficas (SIG's) (Barale & Folving 1996, Li *et al.* 2008, Klein *et al.* 2003), através de estudos de evolução da linha da costa, baseado no uso de geoindicadores: escarpas de praia e plataforma de abrasão costeira (Forbes & Liverman 1996).

Justificativa

São relevantes os estudos de qualificação e quantificação de processos de erosão e deposição de sedimentos nas zonas costeiras, servindo de base para monitoramentos e auxílio à melhores tomadas de decisões por conta de gestores. As praias de Almofala e da Barreira vêm

sofrendo intensificação dos processos de erosão condicionados por fatores naturais, e que podem se intensificar por atividades antrópicas.

Objetivos

Este artigo tem como objetivo analisar as mudanças morfológicas verificadas nas variações da linha de costa de Almofala e Barreira para o período médio (1958-2004), para tanto foi preciso: analisar identificar e quantificar as áreas em erosão (retrogradação) e as áreas em deposição (progradação).

3.1.2 Material e Método

A metodologia foi um estudo descritivo e explicativo, com identificação e quantificação das variáveis, com fichamento das leituras realizadas, incluindo uma reavaliação sistemática da bibliografia pré-existente. Conjuntamente, realizou-se a aquisição das fotografias aéreas dos anos de 1958 (1:25.000) e 1988 (1:32.500), e das imagens ortorretificadas do satélite Quickbird (2004) (Figura 2), seguido de procedimentos laboratoriais (mapeamentos, análises, e processamento de dados) mediante o uso de SIG's.

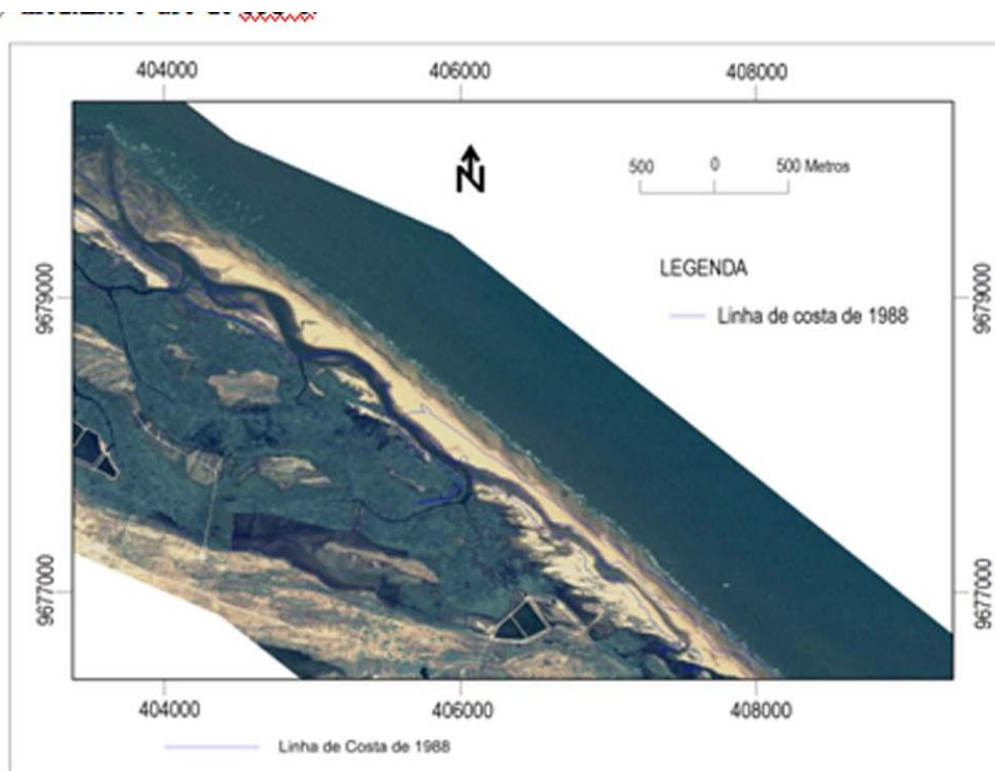


Figura 2. Imagem Quickbird (2004) da praia da Barreira com delimitação da linha de costa de 1988.

Dois campos na área Foram feitos: (1) dias 11 e 12/05/2007 para estudos das áreas, feições, unidades e subunidades geomorfológicas, e geoindicadores da área; (2) dias 24 e 25/11/2007 para comprovação de dados e mapeamentos. Os dias e os horários de passagem das fotografias aéreas e

das imagens Quickbird foram escolhidos condizentes com a linha de maré baixa (LMB) disponibilizada no site do DHN (2007), para a análise em médio período.

3.1.2.1 Sensoriamento Remoto

Foi confeccionado mapa geomorfológico da planície costeira de Almofala e Barreira, por interpretação de imagens Quickbird, e análises de campo. A linha de costa em médio período de 46 anos (1958 à 2004) foi delimitada por identificação de geoindicadores (escarpas de praia e plataforma de abrasão), através da interpretação visual das fotografias aéreas (1958 e 1988), e das imagens Quickbird (2004), na escala de 1:50.000.

A interpretação das imagens Quickbird e fotografias aéreas multitemporais foi feita por interpretação visual com integração dos dados em BDG's, dos SIG's (Geomática-PCI 8.0, e o ArcGIS 8.9), com delimitação e cálculos de áreas de erosão e progradação na linha de costa da área (Figura 2). As fotografias aéreas passaram por pré-processamento, e foram georreferenciadas e mosaicadas (Figura 3) utilizando pontos de controle das imagens ortorretificadas do satélite Quickbird.

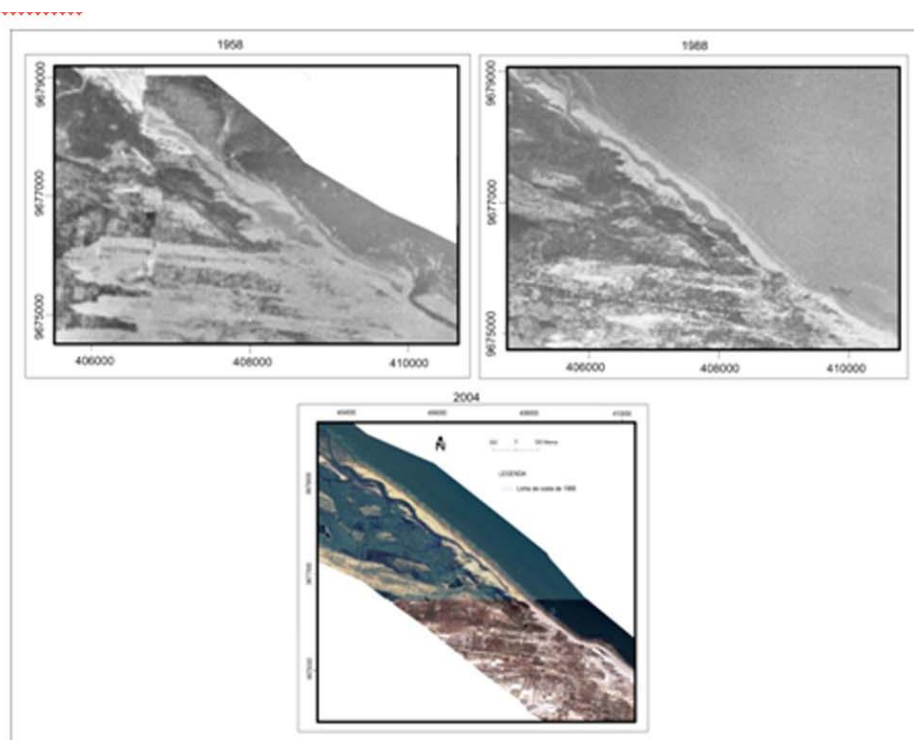


Figura 3. Evolução e mudanças na linha de costa das praias de Almofala e da Barreira.

O erro médio das fotografias aéreas de 1958 foi de 0,453. O erro médio das fotografias de 1988 teve valor de 0,492. Os valores médios foram utilizados para calcular o erro cumulativo. Assim, o erro cumulativo foi calculado a partir das resoluções das fotografias aéreas e da imagem Quickbird, com erro cumulativo linear de 1958/1988 foi de 11,5m, o de 1988/2004 foi de 9,3m, enquanto o erro cumulativo das áreas foi de 59,9m² para o período de 1958/1988 e 40,4m² para

1988/2004, estas, foram as menores distâncias lineares e áreas possíveis de serem mapeadas da área.

3.1.3 Variação morfológica da linha de costa nas praias de Almofala e da Barreira em médio período (1958-2004)

O presente estudo apresentou resultados com maior intensidade de processos de erosão da linha de costa Almofala e Barreira. A retrogradação (Figura 4) nas praias apresentou valores de -958255,05 m²/46 anos (1958/2004) (54,3%), enquanto a progradação da linha de costa foi de 805299,48m²/46 anos (45,7%).

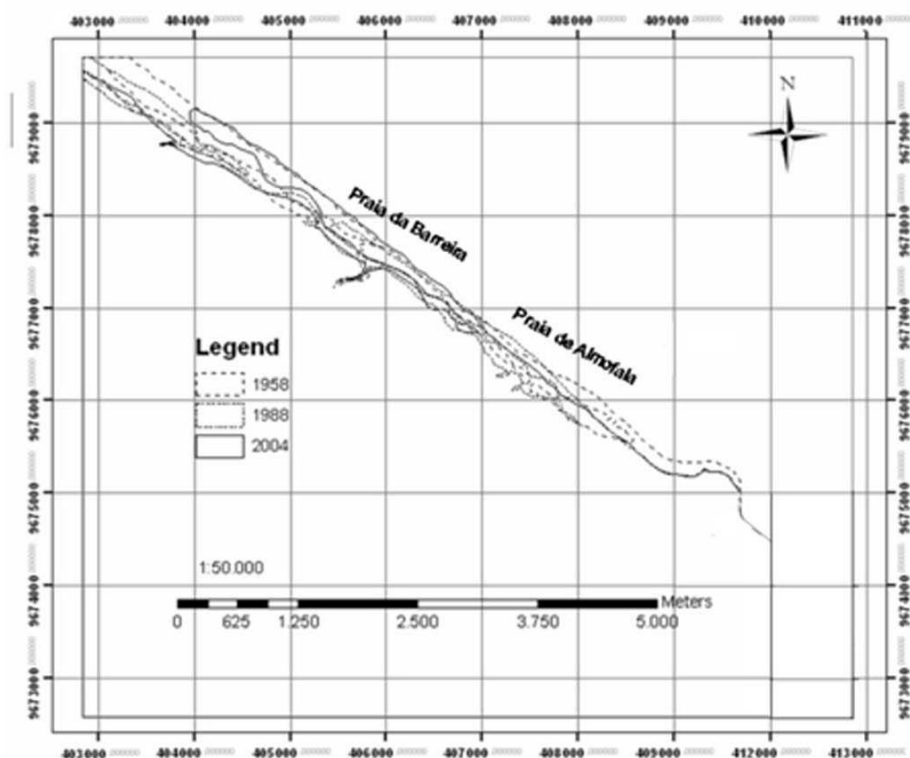


Figura 4. Mapa de variação da linha de costa na Planície costeira de Almofala (1958 - 2004).

A linha de costa das praias de Almofala e da Barreira mostra uma evolução com processos interligados a progradação e retrogradação das barras. Neste setor ocorreu uma perda de -673718,06m² (1958/1988), com recuo linear máximo de 375m. A progradação de 179422,68m²/30anos (Figura 5), teve avanço linear máximo de 195m. A alta retrogradação nesse período ocorreu nas barras de Almofala, e cordão litorâneo da praia da Barra a noroeste, que migrou para fora da área.

Entre 1988/2004 ocorreu progradação da linha de costa de 625876,8m²/16anos, e avanço linear máximo de 320m. O cordão litorâneo da praia da Barreira engordou 203331,5m² a oeste. A linha de costa nesse período retrogradou 284536,99m², com recuo linear máximo de 230m (Figura 6).

A integração da linha de costa das fotografias aéreas e das imagens orbitais através de overlays, interação e inserção de dados digitalizados nos aplicativos permitiram obter uma boa visão da evolução costeira, devido à escala de detalhes.

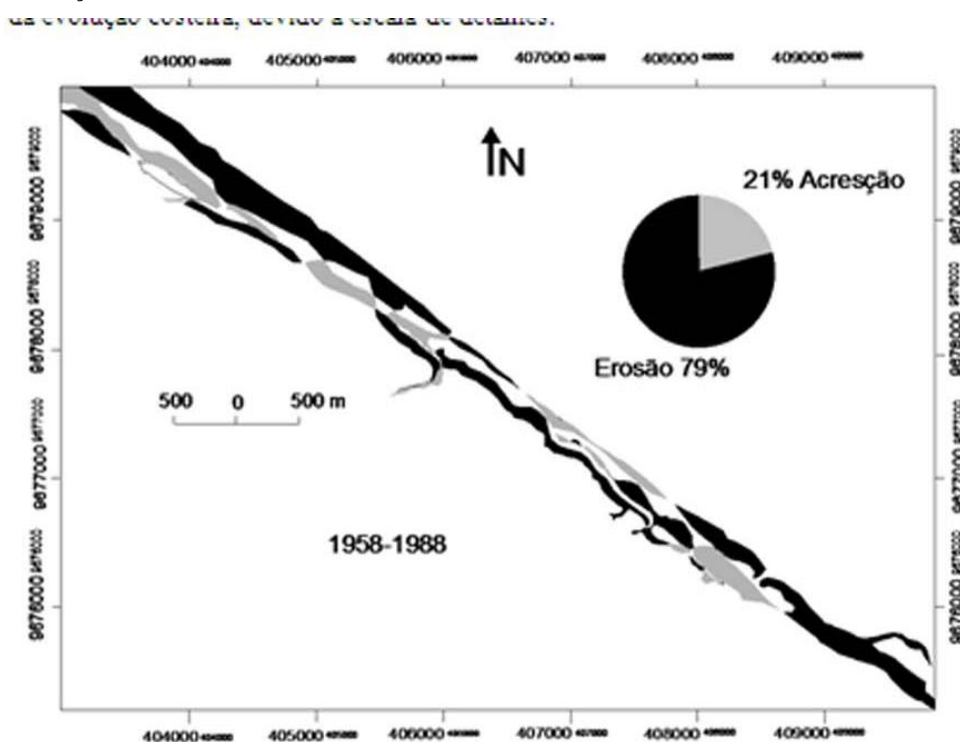


Figura 5. Mapa de retrogradação e progradação da linha de costa (1958 à 1988).

As Imagens Quickbird por serem ortoretificadas e de alta resolução (2,8m), apresentaram um boa acurácia, na identificação de geoindicadores como escarpas de praia e plataforma de abrasão, neste artigo, que por sua vez foram úteis na delimitação e quantificação das variações da linha de costa.

Os geoindicadores foram bem identificados devido à boa acurácia nas fotografias aéreas (1958 e 1988), levando-se em conta sua escala, sendo úteis na análise multitemporal, mesmo apresentando um pouco mais de dificuldade, na realização da delimitação dos geoindicadores. Os dados da interpretação visual das imagens e fotografias aéreas tiveram uma variância de 36,74%.

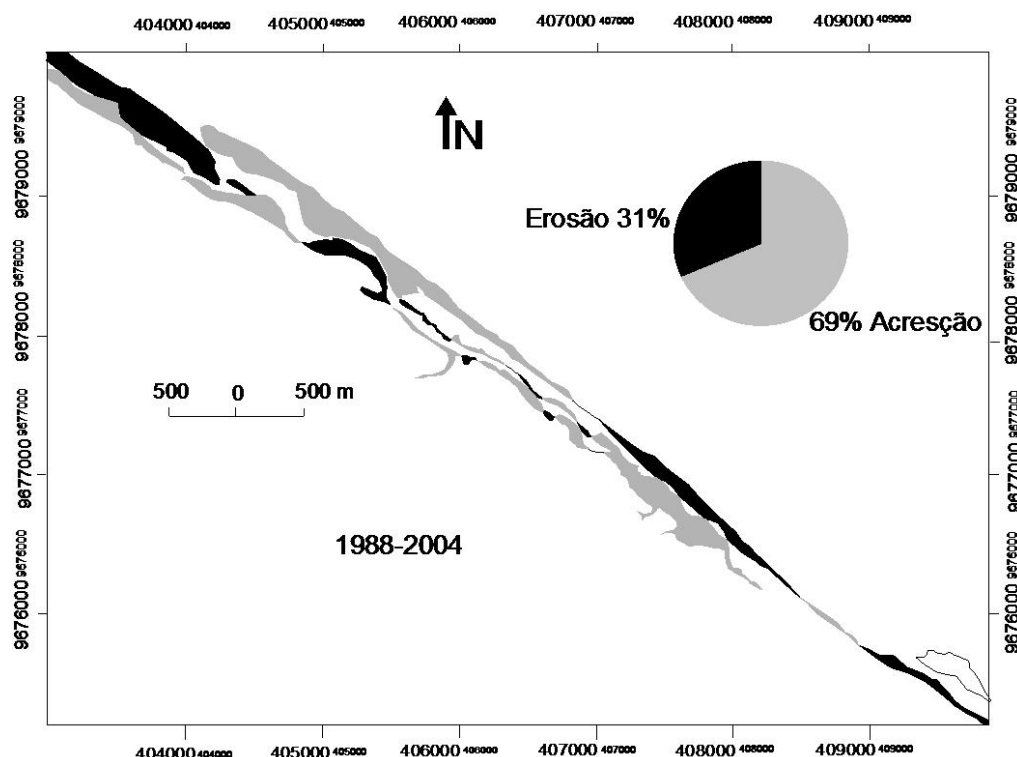


Figura 6. Mapa de retrogradação e progradação da linha de costa (1988 à 2004).

3.1.4 Mudanças morfológicas da linha de costa

A Praia de Almofala em 1958 era constituída por uma barra no sentido NW que sofreu mudanças morfológicas até 1988, resultando em recuo das barras arenosas, o mesmo que ocorreu na praia de Salvaterra na ilha de Marajó (regime de meso a macro-maré) com um recuo da linha de costa que alcançou até 41m/ano no período de 1995/1999 (França 2003), revelando altíssima vulnerabilidade aos riscos ambientais.

Assim, existe uma maior intensidade de processos de erosão da linha de costa: (1) com retrogradação de $-958255,05 \text{ m}^2/46 \text{ anos}$ (1958/2004) (54,3%); e (2) progradação de $805299,48 \text{ m}^2$ (45,7%). No entanto, a variação não se dá homogênea em toda a costa, com valores máximos de erosão de 25,22m/ano na extrema costa oeste da praia da Barreira, e avanço da linha de costa de 6,5m/ano na praia de Almofala (áreas de vulnerabilidade baixa).

O cordão litorâneo que existia na parte noroeste da praia da Barreira recuou entre 1958 a 1988, e atualmente desapareceu, por migração do cordão para noroeste (Figura 5). Enquanto isto, na praia de Barreira, o cordão litorâneo que media 2km em 1958/1988, avançou para noroeste (1988/2004) alongando-se no sentido SE-NW, medindo 3km.

A barra arenosa da Praia de Almofala entre 1988 e 2004 sofreu uma fusão com a linha de costa por progradação e suprimento de sedimentos, e migrou da barra para a costa, com fechamento de antiga calha de canal de maré. Em 2007 o paleo-mangue aflorou na praia de Almofala, pertencentes a um paleo-canal de maré (Figura 7).

O cordão litorâneo da praia da Barreira, a noroeste da Praia de Almofala, sofreu significativa mudança (1988/2004), tendo migrado e ficado mais comprido, com fechamento de canal de maré, afogamento de mangue, por deposição de sedimentos na praia da Barreira.



Figura 7. Paleo-Mangue e sedimentos estuarinos soterrados por migração de cordão litorâneo na praia de Almofala.

Um evento La niña em 1985 causou alturas de ondas de 4 m com grandes danos nas praias do Ceará, coincidindo com as altas precipitações desse período nas praias analisadas, e os altos valores de retrogradação (Figuras 4, 5, e 8).

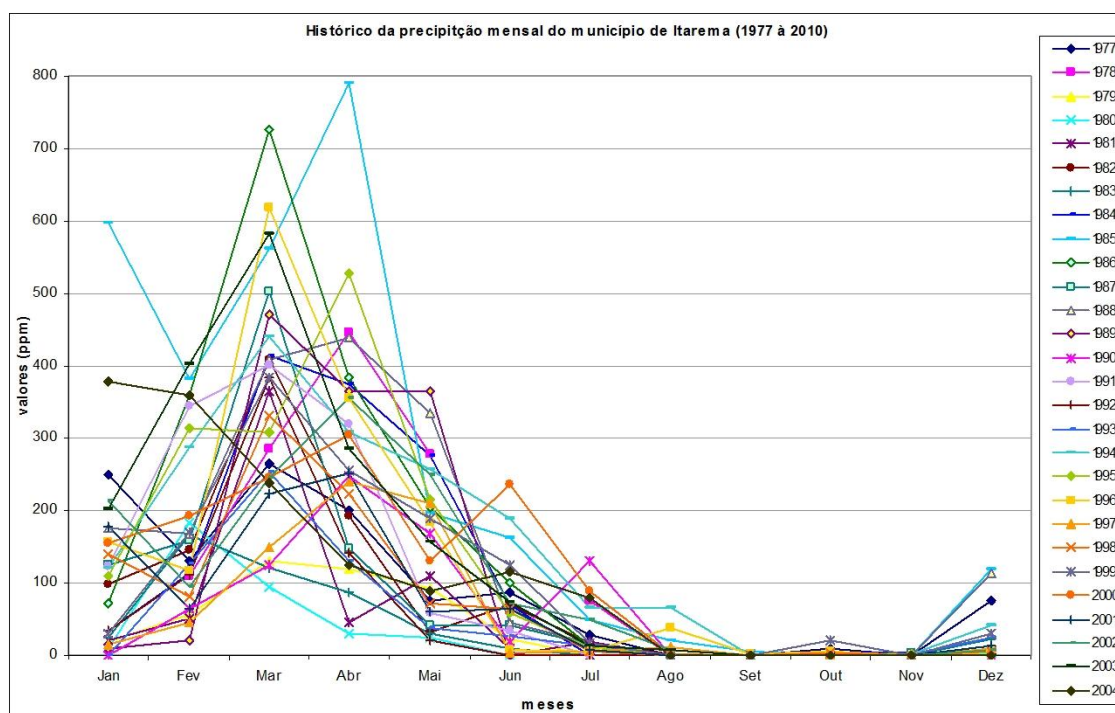


Figura 8. Precipitação histórica mensal no município de Itarema, 1977 à 2004 (Fonte: FUNCEME 2010).

As tempestades do Atlântico Norte no estado do Ceará causam ressacas marinhas com erosões e impactos (destruição das construções), com altas ondas > 3 m de altura, que com as marés

de sizígia, no alinhamento do sol, da lua e da Terra, aumentam a altura das ondas (FUNCEME, 2010). Dois picos de maior precipitação no município de Itarema (Figura 8) em abril de 1985 e março de 1986 (> 700mm em cada mês), coincidindo com o evento prolongado de La Niña que aumenta a erosão na área de pesquisa.

Essas erosões causadas por eventos extremos têm causado estragos também nas praias do litoral do Rio Grande do Sul (Calliari et al., 2010) que apresentam “hotspots” relacionados a eventos extremos (as tempestades sazonais do meio do Atlântico e ciclones Extratropicais), responsáveis por erosões severas.

3.1.5 Discussões

Os resultados analisados das mudanças na linha de costa das praias de Almofala e da Barreira mostram uma maior intensidade de processos de erosão apresentando: retrogradação de -958255,05 m²/46 anos (1958/2004) (54,3%); e progradação de 805299,48m² (45,7%).

Observa-se que os processos costeiros e aceleração das mudanças da linha de costa têm se intensificado nas últimas décadas (Klein *et al.* 2001, Sales 2002; França 2003, Pinheiro & Morais 2007; Calliari *et al.* 2010). Portanto, ocorre o aumento dos processos de erosão, com recuo da linha de costa, forma “hot spots” zonas de erosão acentuadas. As altas taxas de retrogradação da linha de costa (<-10m) definem as praias da área como de alta vulnerabilidade aos riscos ambientais (por erosão).

A praia Mansa no porto do Mucuripe apresenta um avanço da linha de costa de 0.8284 km²/31 anos (1972/2003), com predomínio dos processos de progradação (Pinheiro & Morais 2007).

A linha de costa na área de pesquisa apresenta zonas de erosão acentuada (hot spots) do estado do Ceará, mais expressivas na praia da Barreira com valores médios de recuo da linha de costa de 395 m, máximos de 700m, e uma taxa de erosão de 13,15 m/ano, que as definem como de alta vulnerabilidade aos riscos ambientais. A direção de alongamento das barras na área de pesquisa, com características de recuo da linha de costa, está ligada às direções de ventos e do sentido da deriva litorânea, para noroeste.

Mudanças menores foram verificadas na linha de costa da praia de Almofala (1988 à 2004) caracterizando recuo menor que áreas adjacentes por causa da morfologia preservada pela plataforma de Abrasão Marinha (arenito da Formação Barreiras), que funciona como uma barreira para os processos de erosão. A plataforma de abrasão existe pela inflexão na região de Acaraú/Itarema (Silva Filho 2004) causando certa estabilidade. Nesse sentido, a parte leste da Praia de Almofala possui baixa vulnerabilidade aos riscos ambientais.

As praias de Almofala e da Barreira são caracterizadas pela existência de eolianitos, em forma de escarpas de praias, que já encontravam-se em solapamento na década de 80 (Freire 1989). Processos erosivos (retrogradação) foram mais bem notados no primeiro período/30anos

(1958/1988) da análise da linha de costa das praias de Almofala e da Barreira. Enquanto isso, os processos acrecionais (progradação) foram predominantes no segundo período/16anos (1988/2004), que representam os principais processos de mudanças morfológicas na área.

A análise da dinâmica natural das praias (46 anos) permitiu identificar mudanças morfológicas na área condicionadas por processos como progradação e retrogradação, com afogamento e soterramento de manguezais, além de migração de canais de maré e fluxo de rio, sendo que, o maior recuo da linha de costa, que ocorreu principalmente no primeiro período/30anos (1958/1988), e avanço no segundo período/16anos (1988/2004).

Além disso, a morfologia das praias permitiu a identificação de excelentes geoindicadores como a existência de escarpas de praia e plataforma de abrasão da área na delimitação e quantificação das variações da linha de costa, observadas nas fotografias aéreas, com bom nível de detalhes, e nas imagens Quickbird, resultando em alto nível de detalhes de feições.

3.1.6 Conclusões

Processos erosivos (retrogradação) foram mais bem notados no primeiro período/30anos (1958/1988) da análise da linha de costa das praias de Almofala e da Barreira. Enquanto isso, os processos acrecionais (progradação) foram predominantes no segundo período/16anos (1988/2004), que representam os principais processos de mudanças morfológicas na área.

A morfologia das praias permitiu a identificação de excelentes geoindicadores como a existência de escarpas de praia e plataforma de abrasão da área na delimitação e quantificação das variações da linha de costa, observadas nas fotografias aéreas, com bom nível de detalhes, e nas imagens Quickbird, resultando em alto nível de detalhes de feições.

7 Referências bibliográfica

- Barale V., and Folving, S. 1996. **Remote sensing of coastal interactions in the Mediterranean region.** *Ocean & Coastal Management*, 30 (2-3): 217-233.
- Brito J. L. N. S., and Filho, L. C. T. C. 2002. **Fotogrametria Digital.** Instituto Militar de Engenharia.
- Calliari L. J., Guedes R. M. C., Pereira P. S., Lélis R. F., Antiqueira J. A., Figueiredo S.A. 2010. **Perigos e riscos associados a processos costeiros no litoral sul do Brasil (RS): uma síntese.** *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 14 (1): 49-61.
- Crowell M., Leatherman S. P., Buckley M. K. 1991. **Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy.** *Journal of Coastal Research*, 7: 839-852.
- El-Robrini M. 1995. **Evolução Geológica da Plataforma Continental Norte durante o Quaternário (Pleistoceno/Holoceno).** PROGRAMA REVIZEE/NO. V Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, SBG/ NO, p. 19-20
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. 2010. **El Niño e La Nina; Boletins Meteorológicos.** In: Meteorologia e Oceanografia. Fortaleza: FUNCEME. <http://www.funceme.br/DEMETS/index.htm>. Acesso em: 04 de dezembro de 2010.
- Forbes D. L., and Livernam D. G. E. 1996. **Geological indicators in the coastal zone.** In: Berger, A. R. and Iams, W. J. (eds.) *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems.* Rotterdam, Balkema. p. 175-192.

- França C. F. 2003. **Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da Ilha de Marajó (PA)**. Tese de Doutorado. Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém: UFPA. 144p.
- Freire G.S.S. 1989. **Edute hydrologique et sedimentologique de l'estuaire du rio Pacoti (Fortaleza, Ceará, Brasil)**. Nantes: Université de Nantes Faculte dès Sciences et dès Tecniques. (These du Doctorat). 300p.
- Klein R. J. T., Nicholls R. J., Ragoonaden S., Capobianco M., Astoni J., Buclde E. N. 2001. **Technological options for adaptation to climate change in coastal Zones**. *Journal of Coastal Research*. Florida: Summer, 3: 531-543.
- Klein A. H. F., Benedet Filho, L., Hsu J. R. C. 2003. **Stability of headland bay beaches in Santa Catarina: a case study**. In: Klein, A. H. F., Finkl, C. W., Rörig, L. R., Santana, G. G., Diehl, F. L. and Calliari, L. J. (eds), *Journal of Coastal Research*, Special Issue, Proceedings of the Brazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, Ecology, Uses, Hazards and Management, 35: 151-166.
- Li R., Deshpande S., Niu X., Lee I-C., Wu B. 2008. **Multi-dimensional geospatial data integration for coastal change analysis**. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, XXXVII (8): 1311-1316.
- Maia L.P., and Cavalcante. 2005. **Mapeamento das Unidades Geoambientais da Zona Costeira do Estado do Ceará**. Programa Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do Estado do Ceará. Fortaleza: SOMA/ SEMCE/ LABOMAR. 226 p.
- Pinheiro L. S., and Morais J. O. 2007. **Shoreline Change of the Mucuripe Harbour Zones (Fortaleza-Ceará, Northeast of Brazil) 1972 – 2003**. Australia: *Journal of Coastal Research*. Special Issue 50 (50): 1163 – 1167.
- Short A .D., and Trembanis A. C. 2004. **Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen Beach, Australia-time series, PCA and wavelet analysis**. *Journal of Coastal Research*, 20 (2): 523–532. Disponível em <http://www.jstor.org/stable/4299308>.
- Sales V. C. C. 2002. **Évolution Géomorphologique de la Zone Côtière le L'état du Ceará, Nord-Est Du Brésil: du Long Terme au Court Terme**. Tese de Doutorado. Paris: Université Paris-Sourbonne. 513 p.
- Souza Filho P.W.M., and Paradella W.R. 2002. **Recognition of the main Geobotanical Features in the Bragança Mangrove Coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data**. *Wetlands Ecology and Management*, 10: 123-132.