Detecção de Mudança do Litoral da Ilha de Cotijuba, Pará, Brasil.

Suzan Waleska Pequeno Rodrigues Edson Marcos Leal Soares Ramos

Universidade Federal do Pará – UFPA Caixa Postal: 66075-110 - Belém - Pará, Brasil. {suzan, edson}@ufpa.br

Abstract The coastal dynamic of medium to long term may be evidenced by the evolution of coastline. The quantification and characterization of the actual position of this line over time can indicate cyclic patterns or recurring correlations between continental aspects. From this information, was studied the coastline variation of Cotijuba island in a period of 28 years, from satellite images of moderate resolution, processed and quantified, providing sufficient data to develop a model for predicting Holt-Winters from the time series data of accretion and erosion. The developed model was consistent as your efficiency to forecast once observed a good fit between the actual and predicted, as well as the control chart series was important to highlight the gaps fleeing the pattern of erosion and accretion along the years for the Cotijuba island.

Palavra- chave: Change detection, coastal line, forecasting model, Detecção de mudança, linha de costa, modelo de previsão.

1. INTRODUÇÃO

Nas ultimas quatro décadas com o lançamento da série de satélites Landsat com os sensores Thematic Mapper - TM e Enhanced Thematic Mapper plus - ETM⁺, China-Brazil Earth-Resources Satellite - CBERS-2 com o sensor Charge-Coupled Device -CCD e o satélite Resource SAT-1 com o sensor Linear Imaging Self-Scanner - LISS3, imagens orbitais passaram a ser frequentemente utilizadas em pesquisas geológicas e oceanográficas, atuando como ferramenta auxiliar e por vezes principais na detecção de mudanças em áreas remotas. Com a gratuidade e disponibilidade facilitada destas imagens, a partir de sites internacionais, locadas em universidades e instituições como: United States Geological Survey-USGS e nacionais como: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e o Sistema de Informação dos Serviços de Comunicação de Massa/ Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis -SISCOM/IBAMA, a qualidade e rapidez na produção de trabalhos de pesquisa neste contexto, tornou-se mais evidente. A necessidade de se investigar e acompanhar a evolução de uma determinada área vem sendo uma prática importante para se entender de que forma e a que taxa essas mudanças ocorrem ao longo de um determinado período em uma determinada área. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi apresentar um modelo de previsões de séries temporais dos dados de acreção e erosão, determinadas pelo reconhecimento da linha de contato água/solo+vegetação da ilha de Cotijuba, para a identificação de um padrão de mudanças a partir da associação do modelo de Holt-Winters com o gráfico de controle de séries temporais. Estas informações servirão como indicadores de possíveis anomalias relacionadas ao aporte de sedimentos que deverão ser estudadas em trabalhos futuros.

De acordo com Moore (2000) a linha de contato água/solo (LCAS) é determinada a partir do mascaramento da água por banda infravermelho próxima (por exemplo, banda TM4 do satélite Landsat). Este autor destaca três linhas de costa a partir de imagens de sensores remotos multiespectrais: A linha de deixa (LD) - ou máximo de inundação em tempestades - determinada a partir de bandas na faixa do vermelho (por exemplo, banda

TM3 do Landsat), a linha limite de vegetação (LV) que leva-se em conta a análise visual ou processadas de bandas pancromáticas, composições coloridas ou Componentes Principais e LCAS descrita no inicio do parágrafo.

2. ÁREA DE ESTUDO

A ilha de Cotijuba (Figura 1), com aproximadamente 15 km² de extensão e forma alongada de direção NE-SW representa uma das 42 ilhas pertencentes ao município de Belém, está inserida em um ambiente estuarino com influência das águas do Oceano Atlântico a 90 km da foz da baía do Marajó. Localiza-se a 33 km da capital Belém em que o acesso é por meio de pequenas embarcações com duração média de 45min.



Figura 1- Localização da área de estudo. Fonte: Rodrigues, 2011.

O clima da ilha determinado pela variação média anual de temperatura em Belém situa-se entre 30,7° e 32,7° C, com média de 31,8° C e os valores mais elevados são observados nos meses de agosto a outubro, quando atinge 42° C. O regime pluviométrico é o grande responsável pela variação térmica, com ajuda da umidade relativa do ar, que oscila entre 80 e 91% (Martorano et al., 1993). A precipitação total anual é de 2633 mm em 1987 e 3592.2 mm em 2011 e a velocidade média do vento é de 1.74 m/s anual (INMET, 2012).

A vegetação da ilha é composta por uma vegetação diversificada (Almeida & Mascarenhas, 1998). Existem fragmentos de floresta amazônica de terra firme com graus diferentes de influência antrópica. O solo predominante é o latossolo amarelo arenoso e nas áreas de várzea o solo é hidromórfico sujeito à lavagem diária, ou seja, pela influência da maré (Almeida & Mascarenhas, 1998).

As principais feições morfológicas encontradas na ilha são: pontas em constante recuo, caracterizadas por falésias esculpidas em sedimentos da Formação Barreiras e Pós-Barreiras; enseadas que constituem praias de 2-3 km de extensão e largura variada; cordões arenosos formados a oeste com deslocamento norte-sul (Costa et al., 1993).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram adquiridas 21 imagens ópticas (Tabela 1). Para o desenvolvimento dos modelos de previsão para as séries temporais de acreção e erosão foi utilizado o software MINITAB 16.

A metodologia foi executada em duas etapas, de acordo com o fluxograma da Figura 2: a primeira esta relacionada à produção dos dados de acreção e erosão a partir do processamento das imagens ópticas. A segunda etapa esta relacionada ao desenvolvimento do modelo de previsão a partir do procedimento de *Holt-Winters* aditivo que foi aplicado às séries temporais geradas pela etapa 01.

Data Aquisição	Satélite/ Sensor	Resolução espacial das bandas multiespectrais(m)	Resolução temporal (dias)	Horário da passagem	Marés
27/07/1984	Landsat-5/TM**	30	16	9:45 AM	Média
31/08/1985	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
17/07/1986	Landsat-5/TM**	30	16	9:45 AM	Média
17/05/1987	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
04/06/1988	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
10/08/1989	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
09/05/1990	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
20/07/1993	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
21/06/1994	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
10/07/1995	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
19/08/1998	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
21/07/1999	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
08/08/2000	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
10/07/2001	Landsat-7/ETM ⁺ **	28,5	16	10:00AM	Baixa
16/07/2003	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média
19/08/2004	Landsat-5/TM*	30	16	9:45 AM	Média***
09/08/2006	Landsat-5/TM**	30	16	9:45 AM	Média***
11/07/2008	CBERS-2/CCD*	20	26	10:30 AM	Baixa***
06/09/2010	ResourceSat-1/LISS3*	23,6	25	10:30 AM	Baixa***
12/06/2011	ResourceSat-1/LISS3*	23,6	25	10:30 AM	Baixa***
02/08/2012	ResourceSat-1/LISS3*	23,6	25	10:30 AM	Baixa***

Tabela 1- Características das imagens de sensores ópticos adquiridas para a ilha de Cotijuba de 1984 a 2012.

Fonte: INPE (2012)*, USGS (2012)**, DHN ***(2012)



Figura 2. Fluxograma representativo das etapas de pré-processamento e processamento dos dados estudados para os anos de 1984 a 2012.

Etapa 01: As imagens ópticas passaram por uma correção atmosférica baseada na metodologia de Chaves Jr. (1996), a técnica consiste na subtração de *pixel's* escuros, com objetivo de melhorar a visualização das feições estudas, para isso foi utilizada a ferramenta *Image Arithmetic*-ARI do *Software* PCI *Geomatics v.12* e aplicada em cada imagem. Posteriormente as imagens correspondente aos anos 1984 a 2012, com exceção dos anos 1984, 1986, 2001 e 2006 que foram adquiridos já ortorretificados, foram corrigidas geometricamente a partir da imagem do ano de 2006, com base no modelo polinomial de 1º ordem da ferramenta *OrtoEngine* do *software* PCI *Geomatics*. O método de reamostragem foi o vizinho mais próximo, com coleta de 25 pontos de controle com um erro remissivo menor que 1,0 *pixel* para cada uma das imagens. As imagens então foram recortadas para restringir a área de estudo e processadas através da

classificação não supervisionada usando o algoritmo ISODATA, método de reconhecimento de padrões multiespectrais que identificou na imagem 05 diferentes classes, em que foram agrupadas para compor apenas as 03 classes importantes para este estudo: água, solo+vegetação e outros (área urbana, lagos). Após a delimitação do limite solo+vegetação a partir da classificação, os dados matriciais passaram pela ferramenta *Raster Calculator* do *software ArcGIS v.*10, foram elaborados algoritmos para quantificação da acreção e erosão em decorrência de dois *rasters*.

Etapa 02: Para análise estatística foi utilizado o procedimento de modelagem para séries temporais de *Holt-Winters* e a ferramenta gráfico de controle. A escolha dos valores para os parâmetros: nível (*L*), tendência (*b*) e sazonalidade (*S*) foi realizada, utilizando a rotina *Time Series* do *software* MINITAB 16, sendo o erro médio absoluto a medida de acurácia utilizada, assim, foram definidos *L*, *b* e *S*, como 0,3; 0,2 e 0,1 para a acreção e 0,3; 0,1 e 0,1 para a erosão.

a) Modelo de Holt-Winters

É um procedimento determinístico de modelagem para séries temporais. Esse procedimento possui dois processos distintos: o aditivo e o multiplicativo. A determinação de um destes processos se dá a partir do fator sazonal. Cada um destes dois processos, aditivo e multiplicativo, possuem três padrões que representam a série: nível, tendência e sazonalidade, cada um com uma constante de suavização diferente (Tabela 2).

	Holt-Winters Aditivo	Holt-Winters Multiplicativo	
Nível	$L = \alpha (Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha) (L_{t-1} + b_{t-1})$	$L_{t} = \alpha \frac{Y_{t}}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1})$	
Tendência	$b_{t} = \beta (L_{t} - L_{t-1}) + (1 - \beta) b_{t-1}$	$b_{t} = \beta (L_{t} - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$	
Sazonal idade	$S_t = \gamma (Y_t - L_t) + (1 - \gamma) S_{t-s}$	$S_{t} = \gamma \left(\frac{Y_{t}}{L_{t}}\right) + (1 - \gamma)S_{t-s}$	
Previsão	$F_{t+m} = (L_t + b_{t-m})S_{t-s+m}$	$F_{t+m} = (L_t + b_{t-m})S_{t-s+m}$	

Tabela 2. Equações representativas para cada procedimento do modelo Holt-Winters.

Fonte: (Albuquerque & Serra, 2006).

Onde: S-comprimento da sazonalidade; L_t -nível da Série; bt-tendência; S_t -componente sazonal; F_{t+m} -previsão para o período m; Y_t -valor observado.

a) Gráfico de Controle para Séries Temporais

O gráfico de controle é uma representação gráfica do processo ao longo do tempo. É formado por três linhas que representam o nível da distribuição: linha central (LC), limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC), representados pelas Equações: 1.5, 1.6 e 1.7.

$$LSC = \hat{y}_i + k \times \sigma \tag{1.5}$$

$$LC = \hat{y}_i \tag{1.6}$$

$$LIC = \hat{y}_i - k \times \sigma \tag{1.7}$$

onde \hat{y}_i é a i-ésima estimativa obtida a partir do modelo de séries de temporais de *Holt-Winters, k* é uma constante referente aos desvios de uma distribuição normal padrão (Ramos et al., 2013), e σ é a estimativa de erro obtido a partir das Equações: 1.8, 1.9 e 1.10.

$$MAD = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{n} \right|$$
(1.8)

$$MSD = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$$
(1.9)

$$MAPE = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\left(y_i - \widehat{y}_i \right)}{y_i} \right| \times 100, \qquad (1.10)$$

onde \hat{y}_i é utilizado para representar o valor ajustado da variável dependente; y_i são as observações da variável dependente; *n* o número de observações e *i* instante.

As principais características para produzir o gráfico de controle para séries temporais são: a independência e a normalidade dos dados. Quando essas características estão presentes os gráficos de controle podem ser aplicados, e conclusões sobre a série em estudo podem ser obtidas, caso contrário é necessário tratar os dados para eliminar a autocorrelação da série (Montgomery, 2004).

4. RESULTADOS

4.1. Detecção de mudança a partir do LCAS na ilha de Cotijuba

A partir a delimitação de linha de costa para as 21 imagens compreendendo os anos de 1984 a 2012 para a ilha de Cotijuba, obtiveram-se 20 intervalos de estudo para os dados de acreção e erosão (Tabela 3). Esta etapa foi importante para o reconhecimento das áreas que mais sofreram alterações ao longo de 28 anos, servindo como precursor do estudo para a geração de um modelo de previsão para a ilha estudada.

A partir da análise da Tabela 3 verifica-se que o intervalo 2006-2008 correspondeu a menor acreção na ilha com 0,04km² (período entre o fenômeno El niño 2006/2007 e La niña 2007/2008), enquanto que a maior acreção foi durante o intervalo de 1990-1993 (período do El niño) com 0,63km² de área. Em relação a erosão, o intervalo de 1999-2000 (período da La niña) foi o que obteve a menor área erodida com 0,04km², enquanto que o intervalo de 2000-2001(período da La niña) obteve a maior erosão com 0,57km² de área.

Inicialmente os dados apontam uma relação entre os fenômenos e as alterações na linha de costa, levando a tentativa de associar estas maiores modificações com a influência da chuva, umidade relativa do ar e velocidade do vento para estes períodos, e variação da maré, mas estatisticamente os dados de acreção e erosão não mostraram correlação com estas informações meteorológicas para a estação de Belém, sendo excluída desta análise. Os dados meteorológicos são disponibilizados gratuitamente no site do Instituto Nacional de Meteorologia.

Intervalo	Acreção (km ²)	Erosão (km ²)	Intervalo	Acreção (km ²)	Erosão (km ²)			
1984-1985	0.3424	0.2510	1998-1999	0.2440	0.5206			
1985-1986	0.3227	0.5109	1999-2000	0.4040	0.0463			
1986-1987	0.1810	0.1810	2000-2001	0.3698	0.5766			
1987-1988	0.2025	0.3251	2001-2003	0.3307	0.4702			
1988-1989	0.3322	0.1445	2003-2004	0.1608	0.1167			
1989-1990	0.0798	0.4997	2004-2006	0.1842	0.1311			
1990-1993	0.6302	0.1206	2006-2008	0.0489	0.4402			
1993-1994	0.1033	0.2154	2008-2010	0.4380	0.0797			
1994-1995	0.0897	0.1103	2010-2011	0.0841	0.1889			
1995-1998	0.4123	0.2681	2011-2012	0.1267	0.1102			

Tabela 3. Área correspondente a acreção e a erosão da linha de área litorânea para a ilha de Cotijuba para os anos de 1984 a 2012.

4.2. Modelo de previsão de *Holt-Winters* para os dados de acreção e erosão para a ilha de cotijuba.

Como esta é uma série que apresenta sazonalidade tanto para os dados de acreção quanto para os de erosão, adotou-se as seguintes análises: *a*) verificou-se a normalidade pelo teste de *Kolmogorov-Smirnov*; *b*) modelou-se as séries a partir do procedimento de *Holt-Winters* Aditivo; *c*) foram obtidas as estimativas para a linha central do gráfico de controle de séries temporais (Figura 3) obtida a partir das estimativas do modelo desenvolvido, além dos limites de controle superior e inferior dado pelas Equações 1.5 e 1.7, onde para *k* foi atribuído o valor 2 e a partir estimador erro médio absoluto (MAD) foi determinado $\sigma = 0,1272$ para a acreção e $\sigma = 0,1346$ para a erosão. Plotou-se os valores obervados, a linha central e os limites de controle, obtendo-se assim o gráfico de controle de séries temporais para observações individuais com linha central móvel (Figura 4).

A Figura 3 apresenta o resultado gráfico do procedimento de modelagem de *Holt-Winters* para as observações individuais observadas e ajustadas (prevista) para as séries de acreção (A) e erosão (B) da ilha de Cotijuba entre os anos 1984 a 2012, mas para se analisar melhor o modelo de previsão, os dados foram então representados no gráfico de controle (Figura 4).

Verifica-se que os valores da série de acreção distribuídos dentro dos limites inferior e superior de controle (Figura 4A), apresentam dois pontos, 1990-1993 e 2010-2011, fora dos limites de controle, o que caracteriza um comportamento anormal para estes intervalos. Pode-se inferir que nestes períodos houve um aporte maior de sedimentos sendo depositados na ilha para o intervalo 1990-1993 e um menor aporte de sedimentos no intervalo 2010-2011. Nota-se, também, que no intervalo 1995-1998 o valor da série está muito próximo do limite superior de controle, isto significa um maior aporte de sedimento sendo depositado na ilha, nos intervalos 1989-1990 e 2006-2008 o valor da série está muito próximo do limite inferior de controle, isto significa um menor aporte de sedimento sendo depositado na ilha. No gráfico de controle para a série de erosão (Figura 8B), três pontos encontram-se fora dos limites de controle. Os valores da série de erosão, referente aos intervalos 1998-1999 e 2000-2001, são considerados críticos por estarem além do limite superior de controle. Estes valores altos de erosão indicam a influência de algum fenômeno meteorológico e/ou influência de algum agente hidrológico. O valor da série de erosão para o intervalo 2008-2010 ficou abaixo do limite inferior de controle, sendo este um dos menores valores de erosão observados para a ilha.



Figura 3. Gráficos das séries de (A) acreção e (B) erosão, observada (atual) e ajustada (ajuste) pelo modelo de *Holt-Winters* Aditivo, da ilha de Cotijuba entre os anos 1984 a 2012.



Figura 4. Gráfico de controle para as séries temporais de (A) acreção e (B) erosão.

O gráfico de controle, para a série de acreção, indica que o processo tende a estar sob controle estatístico quando a quantidade de área acrecionada esta entre o intervalo de 0.04 km² a 0,42km², percebidos entre os anos de 1984 a 2010, a partir do momento que a área fica abaixo ou acima destes valores, se comporta fora do controle estatístico (exemplo: intervalo 1990-1993 – 0.63km²). No intervalo 2010-2011 o limite inferior assume outro valor de controle: 0.12km², abaixo deste valor o dado se torna crítico e o ponto fica fora do controle estatístico. Para a série de erosão o intervalo de 0.04km² a 0.47km² indica que o processo está sob controle estatístico, valores abaixo ou acima deste intervalo, como nos intervalos 1998-1999 (0.52km²) e 2000-2001 (0.57km²), representa um processo fora do controle estatístico. A partir do intervalo 2008-2010 o limite inferior central assume um novo valor limiar de 0.11km². Assim verifica-se que ambas as séries (A e B), possuem intervalos de tempo fora de controle estatístico.

5. COSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da disponibilidade facilitada de imagens de sensores de resolução moderada como os utilizados neste trabalho, foi possível a delimitação da costa da ilha de Cotijuba em diferentes anos. A utilização da LCAS como base da análise implica, entretanto, na necessidade de cuidado na interpretação, uma vez que o comportamento da exposição do solo pode variar com a influência da maré e com a resolução das imagens utilizadas, caso estas sejam muito discrepantes, influenciará num valor irreal para os dados adquiridos. As condições de maré das imagens utilizadas neste trabalho foram atribuídas visualmente entre os anos de 1984 a 2004 devido a escassez de séries temporais disponíveis em estações próximas a área de estudo. A partir de 2005 os dados de maré foram obtidos nos sites da Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN, responsável pela disponibilização das previsões de maré, para cada hora, dia e mês da estação de Belém, estação mais próxima a Ilha de Cotijuba.

Ao longo de 28 anos, a linha de costa sofreu moderadas variações, calculou-se um acréscimo na porção oeste de 80m de extensão ao longo da praia do amor e 100m ao longo da praia da Saudade, estas medidas constatam um maior aporte de sedimento sendo enviados a esta região, provocadas provavelmente pelo canal de enchente de maré do estuário, levando e depositando sedimentos na ilha. A erosão foi evidenciada com uma perda de 38m de extensão na porção sudoeste da ilha, 50m próximo ao porto da cidade na porção sudeste e 80m na porção nordeste da ilha, provocadas provavelmente pela vazão do rio, ou por outros agentes hidrológicos e/ou meteorológicos, estes dados foram mensurados a partir da ferramenta *Measure* do *software ArcGIS* nos *shapes* dos anos sobrepostos, correspondentes a linha de costa de 1984 e 2012.

Os modelos para as séries temporais de acreção e erosão desenvolvidos a partir do procedimento de *Holt-Winters* mostrou-se consistente quanto sua eficiência para fazer previsão, uma vez observada um bom ajuste entre os valores observados e os previstos. Sua consistência se torna aparente ao comparar a previsão da acreção e erosão com os valores reais do mesmo período. Com os gráficos de controle, foi possível a identificação dos intervalos de tempo em que a erosão, e acreção estavam fora do controle estatístico. Uma vez identificando estes intervalos de tempo foi possível buscar informações sobre que agentes poderiam ter influenciado no acréscimo ou decréscimo anômalo de área para a ilha de Cotijuba. Dessa forma, a praticidade na utilização do modelo de séries temporais, associado ao gráfico de controle tornou viável relacionar o custo/benefício obtido com a aplicação desta metodologia para monitorar e avaliar as séries de erosão, e acreção da ilha de Cotijuba.

REFERÊNCIA BIBLIGRAFICA

Albuquerque, J.C.S.; Serra, C.M.V. Utilização de modelos de Holt-winters para a previsão de séries temporais de consumo de refrigerantes no Brasil. **Anais**...XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro, p. 1-4. 2006.

Almeida, S.S.; Mascarenhas, B.M. **Relatório Preliminar do Inventário Biológico e do Potencial Ecoturístico da Ilha de Cotijuba, Belém-PA. Prefeitura Municipal de Belém.** Secretaria Municipal de Educação e Cultura Fundação Centro de Referência em Educação Ambiental Escola Bosque Prof. Eidorfe Moreira. Belém – Pará. 33p.1998.

Chaves Junior, P.S. Image-based atmospheric corrections: revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 62, p. 1025-1036. 1996.

Costa, W.J.P.; Silva, C.A; El Robrini, M. Caracterização morfológica e hidrodinâmica do litoral norteoeste da ilha de Cotijuba – Baía de Marajó (Norte/Brasil) PROMAR – UFPA. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 4. **Resumos**. São Paulo: ABEQUA. p.91. 1993.

DHN- Departamento de Hidrografia e Navegação. Tábuas das Marés, DHN-CHM-BNDO. Ministério da Defesa, Marinha do Brasil. Disponível em: http://www.mar.mil.br/. Acesso em 20 de mai. 2012.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Brasilia: BDMET. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em 21 de ago. 2012.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. CBERS, Landsat e Resource-Sat. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers.htm. Acesso em: 20. mai. 2012.

Martorano, L.G.; Perreira, L.C.; Cezar, E.G.M.; Perreira, I.C.B. Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (KÖPPEN) e deficiência hídrica (THORNTHWHITE, MATHER). Belém, UDAM/EMBRAPA, SNLCS. 53p. 1993.

Moore, L.J. Shoreline mapping techniques. Journal of Coastal Research, v. 16, n. 1, p. 111–124. 2000

Montgomery, D.C. Introdução ao controle estatístico de qualidade. 4.ed.,. Rio de Janeiro: LTC. p.220-48. 2004.

Ramos, E.M.L.S; Almeida, S.S; Araújo, A.R. 2013. Controle Estatístico da Qualidade, Porto Alegre: Bookman.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – download de imagens de satélite. Disponivel em: http://edc.usgs.gov/products/. Acesso em 20 de mai. 2012.