

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal
Zone Management

Determinação da área não edificante e classificação da vulnerabilidade erosiva costeira das praias de Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icaraí, Município de Caucaia, Estado do Ceará, Nordeste do Brasil

Determination of non-buildable area and coastal erosion vulnerability classification of the beaches of Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco and Icaraí, in the Municipality of Caucaia, State of Ceará, Northeast Brazil

Carlos F.A. Soares Junior^{@, 1}, Sharliane D. D'Almeida Arruda², George S.S. Freire³, Eldemar de A. Menor⁴, Inácio O.L. Neto⁵ & Claudia W.P. de Lira⁶

@ Autor para contato: nandosoares@hotmail.com

1 Departamento de Geologia, Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada – LGMA, Universidade Federal do Ceará – UFC. Campus Universitário do Pici, Av. Humberto Monte, s/n, Bloco 912. CEP 60455-760 – Fortaleza - CE. Endereço eletrônico: nandosoares@hotmail.com.

2 Programa de Pós-Graduação em Geociências, Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM. Centro de Tecnologia e Geociências – CTG, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Av Acadêmico Helio Ramos s/n Cidade Universitária, CEP 50670-901 – Recife - PE.

Endereço eletrônico: sharliane8@gmail.com.

3 Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada – LGMA, Universidade Federal do Ceará – UFC. Campus Universitário do Pici, Av. Humberto Monte, s/n, Bloco 912. CEP 60455-760 – Fortaleza - CE. Endereço eletrônico: clau_wlira@hotmail.com.

4 Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada – LGMA, Universidade Federal do Ceará – UFC. Campus Universitário do Pici, Av. Humberto Monte, s/n, Bloco 912. CEP 60455-760 – Fortaleza - CE. Endereço eletrônico: menor@terra.com.br.

5 Departamento de Geologia, Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada – LGMA, Universidade Federal do Ceará – UFC. Campus Universitário do Pici, Av. Humberto Monte, s/n, Bloco 912. CEP 60455-760 – Fortaleza -CE. Endereço eletrônico: inacioneto20@msn.com.

6 Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada – LGMA, Universidade Federal do Ceará – UFC. Campus Universitário do Pici, Av. Humberto Monte, s/n, Bloco 912. CEP 60455-760 – Fortaleza - CE. Endereço eletrônico: clau_wlira@hotmail.com.



RESUMO: A importância do estudo da vulnerabilidade erosiva costeira, a área em que é observada e a razão da crescente urbanização, justificam ações preventivas para área de transição entre o meio marinho e continente. Delimitar áreas não edificantes é fundamental para limitar atividades antrópicas que promovam impactos negativos nesse domínio. O objetivo deste trabalho é determinar a área não edificante e avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira das praias de Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icarai. Essas praias possuem aproximadamente 11 km de extensão e são ambiental e economicamente estratégicas. Apesar da existência de normas que regem atualmente a ocupação das zonas costeiras, regulamentadas pela lei estadual, grande parte das áreas costeiras do Ceará já tinham sido precedentemente ocupadas durante a rápida expansão urbana verificada nas últimas décadas. Dessas circunstâncias históricas resultam sérios problemas ambientais, de erosão costeira, com perda do patrimônio paisagístico e construído. Assim, para os casos em estudo, foi efetuado o cálculo de retrogradação visando a determinação de áreas não edificantes, a partir da Lei de Bruun. Os parâmetros considerados foram a elevação do nível do mar, a largura e a altura do perfil ativo da praia. A previsão da elevação do nível do mar considerou os cenários denominados de Representative Concentration Pathways (RCP), RCP 2.6 e RCP 8.5, indicados no Quinto Relatório de Avaliação (AR5), publicado pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). O cálculo considerou os parâmetros mínimo e máximo de cada um dos cenários. Para a classificação do grau de vulnerabilidade à erosão costeira, foi seguida a classificação proposta por Dal Cin & Simeoni (1994), que indicam três graus de vulnerabilidades: baixo – praias bem desenvolvidas, sem obras de contenção; médio – com obras de fixação na área de pós-praia; alto – praia reduzida, sem área de pós-praia e forte presença de obras de proteção. Os resultados indicaram alta vulnerabilidade costeira nas praias estudadas. Além disso, o cálculo de retrogradação comprovou que todas as praias só estariam protegidas em um dos cenários previstos, no cenário RCP 2.6, parâmetro mínimo. No cenário RCP 2.6, parâmetro máximo e RCP 8.5, parâmetros mínimo e máximo, a área não edificante atual é insuficiente para garantir a preservação das praias. Deste modo, observa-se a necessidade da expansão dos limites da área não edificante, em comparação com os adotados atualmente.

Palavras-chave: Zona costeira; Vulnerabilidade; Erosão marinha.

ABSTRACT: The importance of the study of the coastal erosion vulnerability, the area in which it is observed and the reason for the increasing urbanization, justifies preventive actions for the transition area between the marine environment and the continent. It is fundamental to delimitate non-buildable areas in order to restrict human activities that may jeopardize such environments. Thus, the purpose of this work is to determine the non-buildable area and to classify the coastal vulnerability to erosion of the beaches of Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco and Icarai. These beaches have an overall length of approximately 11km and are both environmentally and economically strategic. However, they have suffered from severe environmental issues such as coastal erosion, with loss of landscape and built patrimony. Therefore, the retrograding calculations were made in order to determine the non-buildable area according to the Bruun Rule. The parameters taken into account were: sea level rise, active profile width and active profile height. The forecast for sea level rise considered the Representative Concentration Pathways (RCP) scenarios, RCP 2.6 and RCP 8.5, indicated in the Fifth Assessment Report (AR5), publicized by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The calculation considered the minimum and maximum parameters of each scenario. The coastal vulnerability classification was made according to development level, fragility or beach reduction. Results indicated high coastal vulnerability in the studied beaches. In addition, the retrograding calculations proved that all beaches would only be protected under the RCP 2.6 scenario with minimum parameters. In the RCP 2.6 with maximum parameters and RCP 8.5 with minimum and maximum parameters, the current non-buildable area is not sufficient to grant the preservation of the beaches. So, the study has shown that the non-buildable area should be greater than the current one.

Keywords: Coastal zone; Vulnerability; Marine erosion.

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira é um ambiente dinâmico e complexo, bastante vulnerável, composta por sistemas distintos como: praias, dunas, planícies costeiras, ilhas barreiras, lagunas, estuários, deltas, mangues, marismas, costões rochosos e recifes (Nicolodi e Zamboni, 2008). Segundo Bates e Jackson (1987), a zona costeira é definida como uma faixa de terra cuja largura é variável, com uma extensão que vai desde a linha de maré baixa até à primeira grande mudança percebida nas feições da paisagem no interior do continente. De acordo com o Ministério de Meio Ambiente a Zona Costeira (ZC) brasileira, conforme Dec. Nº 5300/04, Lei Federal nº 7.661/88, considera uma faixa territorial para efeitos de gestão ambiental e, no parágrafo 4º do art. 255 da Constituição Federal, é considerada como patrimônio nacional. Essas áreas são espaços estratégicos, sofrem influência de processos naturais e antrópicos, estando sujeitas à degradação ocasionada, geralmente, pela exploração dos seus recursos naturais, pela ocupação desordenada e pela diversidade de uso (Brasil, 2006).

A zona costeira desempenha diferentes papéis, dentre os quais se destaca o papel de permitir o desenvolvimento socioeconômico através de seus recursos naturais (Alfredini, 2005). É uma área que apresenta uma diversidade socioeconômica e uma valorização do uso do solo intensa devido às diferentes paisagens e às riquezas naturais que apresentam. Nas últimas décadas, os recursos naturais e as paisagens da zona costeira foram sistematicamente explorados pelo homem; cerca de 10% da população mundial está fixada em áreas da zona costeira abaixo de 10 m de altitude (Mcgranahan *et al.*, 2007). O contingente populacional que reside na zona costeira cresce mundialmente. No Brasil, praticamente metade da sua população reside a menos de 200 km da costa e, aproximadamente, um terço da população brasileira habita à beira-mar (Brasil, 2006).

A pressão antropogênica, associada ao aumento do nível do mar (NM), podem gerar mudanças ambientais em orlas litorâneas. Muehe (2004) assinala retrogradações em costas rochosas, erosão generalizada em falésias, praias arenosas ou com seixos, além de inundação em litorais lamosos ou pantanosos, costas baixas e manguezais em geral. Assim, as praias em estudo, caracterizadas como de costa arenosa, respondem ao aumento do NM através de marcada erosão costeira.

A erosão costeira é um fenômeno onde a linha de costa sofre retrogradação, recuando em direção ao continente. Esse fenômeno não indica a destruição da praia, o problema consiste na ocupação desordenada que desconhece, ou mesmo não respeita, a condição variável da linha de costa.

Trata-se de um problema grave que, de forma geral, afeta o litoral Brasileiro. Muitas são as causas atribuídas a este fenômeno, podendo ser de natureza antropogênica ou ter causas naturais (Brasil, 2006), ou ainda resultar da conjugação de ambas. Na maioria dos casos, a combinação de ambas é fator preponderante para o processo erosivo. As causas antropogênicas estão, em sua maioria, relacionadas com a construção de barragens, exploração indiscriminada de dunas ou da faixa de praia, para a construção de aterros, portos ou obras civis de outra natureza. Por sua vez, as causas de origem natural estão vinculadas, geralmente, ao aumento do NM, o qual interfere no estado de equilíbrio das praias, através da perda de sedimentos e recuo da linha de costa.

As áreas litorâneas do Estado do Ceará caracterizam-se pela prática do veraneio marítimo, especialmente aquelas pertencentes à região metropolitana de Fortaleza, como ocorre no município de Caucaia (Silva *et al.*, 2006). Neste caso, o veraneio marítimo contribuiu para uma expansão urbana associada à construção de 6.540 novas residências (Silva *et al.*, 2006). Além disso, promoveu a construção de condomínios voltados ao lazer, restaurantes e barracas de praia. Essa ocupação antropogênica não considerou os atributos paisagísticos e ambientais, sendo portanto áreas que não deveriam conter edificações.

Em Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icarai percebe-se um processo de erosão costeira acentuado, com perda de patrimônio paisagístico e área de recreação.

A classificação das praias em estudo ratifica os problemas socioeconômicos e ambientais da área. A orla do município de Caucaia foi classificada em orla classe B e orla classe C (Moura, 2012). A orla classe C, composta pelas praias de Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icarai, aqui estudadas, apresentou médio a alto adensamento populacional, alto adensamento construtivo e paisagem significativamente antropizada (Moura, 2012). As praias em estudo perderam quase que completamente o seu patrimônio paisagístico, e o seu patrimônio construído apresenta-se ameaçado pela erosão costeira.

Minimizar os efeitos da erosão costeira é um desafio para as sociedades e, portanto, torna-se urgente desenvolver mecanismos de adaptação a esses fenômenos, porque sua incidência promove impactos socioeconômicos negativos. Além disto, provoca mudanças ambientais graves, como o recuo da linha de costa, redistribuição de sedimentos, perda do patrimônio paisagístico e do patrimônio construído, e prejuízo à recreação.

Estabelecer limites legais de ocupação nas áreas de transição entre os ambientes marinho e continental é fundamental para o controle e restrição de atividades que possam gerar impactos ambientais. No Brasil, o limite conhecido, atualmente, refere-se aos terrenos da

Marinha do Brasil, a quem pertencem 33 m medidos em direção à retroterra a partir da preamar de sizígia, medida no ano de 1831 (Decreto Lei N° 3.438, de 17 Julho 1941). Este limite é de difícil determinação e, em muitas regiões, a largura de 33 m não é suficiente para garantir a preservação litorânea. Assim sendo, este trabalho tem o objetivo de determinar a área não edificante, e classificar a vulnerabilidade à erosão costeira. No caso das praias de Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icarai, no estado do Ceará.

A área não edificante foi determinada através do cálculo de retrogradação, segundo a Lei de Bruun (1962). Os parâmetros adotados foram a elevação do nível médio da água do mar (NM), a largura e a altura do perfil ativo da praia, além do uso da constante da proporção do material erodido que se mantém no perfil ativo, que, por ser de difícil determinação, foi considerada igual a 1 (um).

Os dados utilizados dividem-se em: dados locais, como a linha de preamar máxima atual, a hidrodinâmica da área, a batimetria e a altitude da costa; e dados globais, como a previsão para o aumento do NM indicada no Quinto Relatório de Avaliação – AR5, publicado pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), em 2013.

O AR5 prevê quatro cenários denominados de Representative Concentration Pathways – RCP. Esses cenários foram determinados considerando as possíveis trajetórias para o futuro climático, com base, principalmente, nos gases de efeito estufa. A vulnerabilidade à erosão foi classificada segundo critérios que avaliam o desenvolvimento, fragilidade ou redução da praia.

Os resultados obtidos indicaram alta vulnerabilidade em ambas as praias. O cálculo de retrogradação da linha de costa para o cenário RCP 2.6, parâmetro mínimo, indicou cota de 19,47 m de retrogradação. Neste caso, a praia não apresenta risco ambiental, pois o recuo de 33 m é suficiente para garantir a preservação ambiental da praia. Entretanto, o parâmetro máximo do mesmo cenário e os parâmetros mínimo e máximo do cenário RCP 8.5, apresentaram recuos maiores que 33 m, indicando risco ambiental.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região nordeste do Brasil, planície litorânea do Estado do Ceará, Região Metropolitana de Fortaleza, município de Caucaia, e abrange parte das localidades praianas de Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icarai (Fig. 1). É limitada a Oeste pela lagoa da Barra Nova e a leste pela praia de Dois Coqueiros, perfazendo uma área total de 10,80 km².

As praias distam, aproximadamente, 20 km da capital

Fortaleza. O acesso à área é feito a partir da capital do Estado do Ceará, cidade de Fortaleza, pela Avenida Castelo Branco, seguindo pela ponte José Martins Rodrigues, sobre o rio Ceará, e Avenida Ulisses Guimarães, até chegar à CE-090. Outro trajeto dá acesso às praias: neste caso, deve-se seguir pela Avenida Bezerra de Menezes e BR-222 até a CE-085 (Rota do Sol Poente) e CE-090.

A área em questão apresenta temperatura média anual entre 26° e 28°C, com uma precipitação média anual de 1.243,2 mm e períodos de precipitação concentrados, principalmente, no período de janeiro a maio, devido à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Os tipos climáticos presentes no município são: tropical quente semiárido brando, tropical quente sub úmido e tropical quente úmido (IPECE, 2013).

O regime de ventos tem no período de inverno e primavera um predomínio dos ventos alísios do SE, no outono e verão há um predomínio dos ventos E, com ocorrências de SE, NE e NW em menor percentagem. As praias estão inseridas no complexo vegetacional da zona litorânea e na bacia metropolitana (IPECE, 2013), e sofrem forte influência do Rio Ceará e da Lagoa da Barra Nova.

3. MÉTODOS

A zona não edificante corresponde ao domínio do patrimônio natural, determinando o espaço necessário para que as alterações da linha de costa (retrogradação) possam acontecer sem afetar patrimônio construído, nem as características recreativas da praia.

Para efeito de cálculo de retrogradação da linha de costa, devido à diferença de altitude da costa (setor 1 = 15 m e setor 2 = 12 m), a área foi dividida em dois setores (Fig. 2). Setor 1 abrange as praias do Icarai, Pacheco e Iparana, localiza-se entre o rio Barra Nova e o limite com a praia de Dois Coqueiros, isto é, entre as coordenadas 535550m E, 9595565m N (P1) e as coordenadas 543271m E, 9592420m N (P2) (Fig. 2). O setor 2, localiza-se na praia de Dois Coqueiros, entre as coordenadas 543271m E, 9592420m N (P2); e 545514m E, 9592031m N (P3) (Fig. 2).

A metodologia adotada para o estabelecimento de área não edificante foi baseada na Lei de Bruun (1962), sendo usualmente empregue no cálculo de área não edificante em praias arenosas.

$$R = \frac{SLG}{H} \quad (1)$$

em que R representa a retrogradação, ou seja, o recuo erosivo da linha de costa resultante do aumento do nível do mar; S a elevação do nível do mar, L a largura do

Determinação da área não edificante e classificação da vulnerabilidade erosiva...

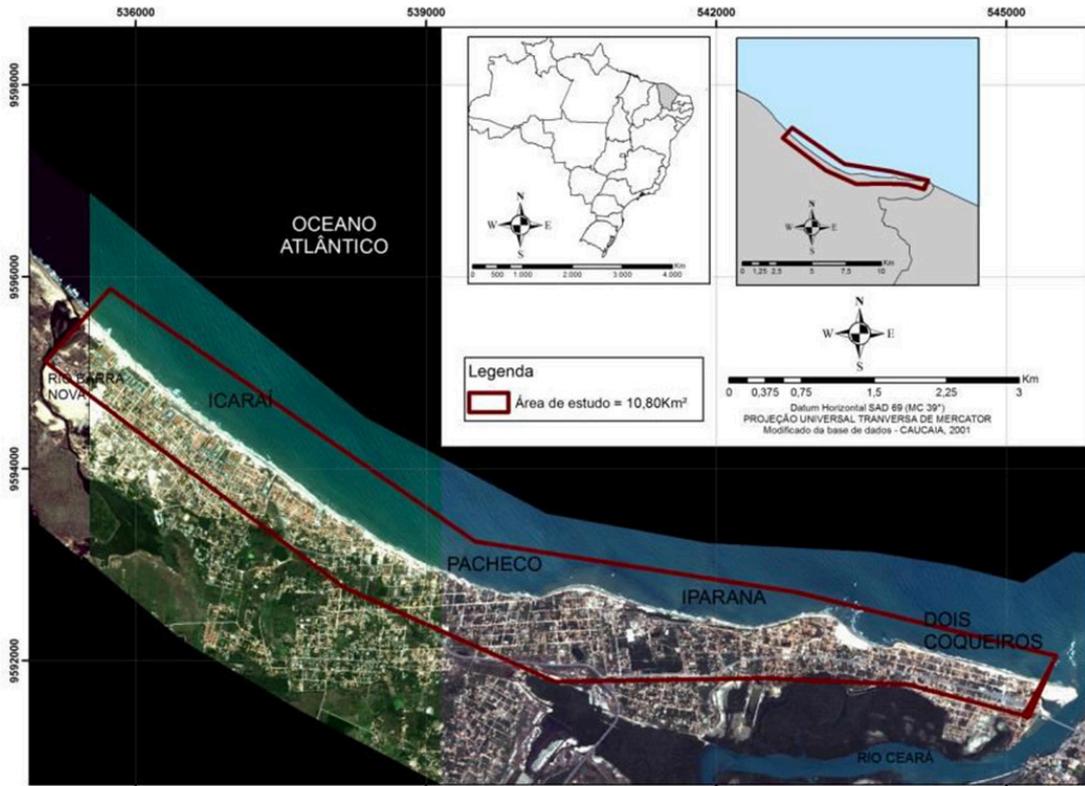


Figura 1: Localização das praias de Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icarai – Município de Caucaia – Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará – Brasil.

Figure 1: Location of the beaches of Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icarai – Município de Caucaia – Metropolitan Region of Fortaleza – Ceará – Brasil.

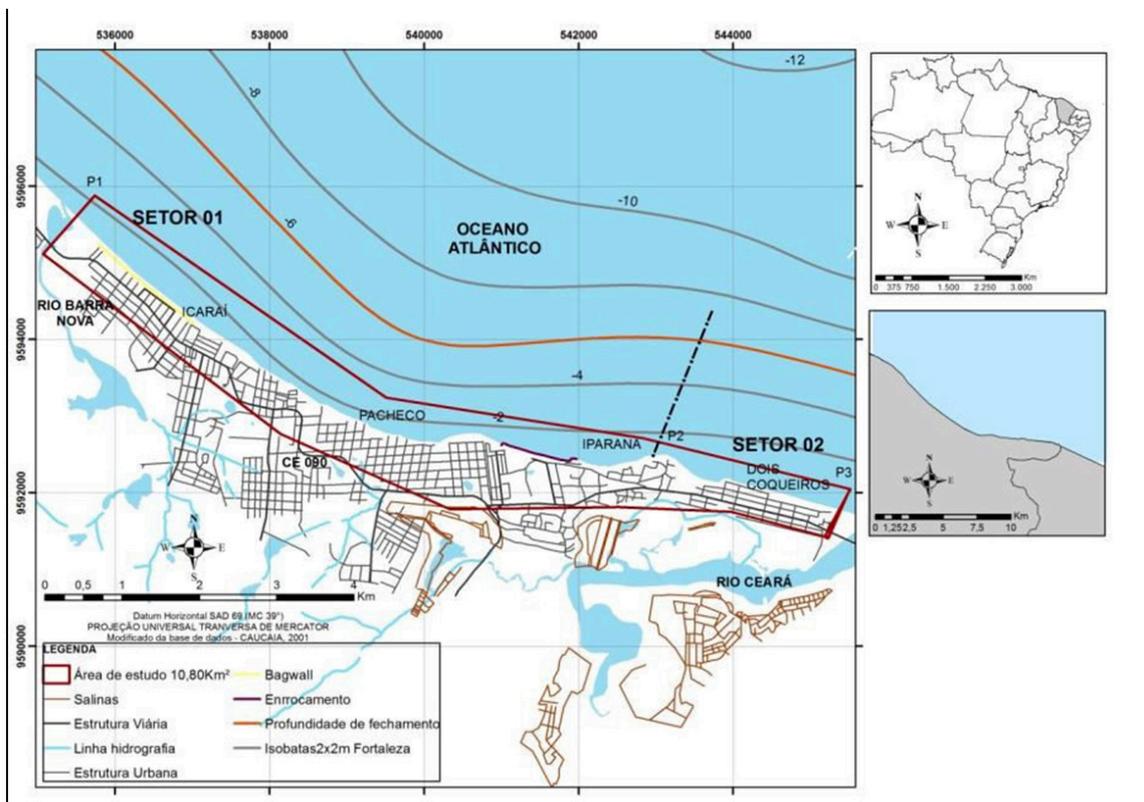


Figura 2. Mapa de setores de retrogradação.

Figure 2. Map of downgrading sectors.

perfil ativo da praia, ou seja, a, distância entre a altitude da linha de costa (h) e a profundidade de fechamento (d_1) anual de Birkemeier (1985), medida no mapa batimétrico; H a altura do perfil ativo da praia que resulta da soma da feição emersa ativa na área com a profundidade de fechamento calculada ($h + d_1$), e G a aproporção de material erodido que se mantém no perfil ativo (representa o volume de sedimentos libertados por efeito da erosão e mantido no perfil). Como o volume é de difícil avaliação, não foi considerado na análise.

Para a aplicação da expressão acima, Lei de Bruun (1962), foi necessária a aquisição de dados referentes ao aumento do nível médio do mar, bem como a captação de dados referentes à área.

Para a elevação do nível do mar (S), foram utilizados os dados contidos no Quinto Relatório de Avaliação (AR5), publicado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2013). O AR5 apresenta quatro diferentes cenários para a elevação do nível médio da água do mar, denominados de *Representative Concentration Pathways* (RCP). São cenários possíveis para o futuro climático, a depender da concentração dos gases de efeito estufa, sendo eles: RCP 2.6, com aumento do nível do mar entre 0,26 m e 0,55 m; RCP 4.5, com aumento entre 0,32 m e 0,63 m; RCP 6.0, com aumento entre 0,33 m e 0,63 m; e RCP 8.5, com aumento entre 0,45 m e 0,82 m.

Dentre os quatro cenários referidos no relatório, foram escolhidos dois para o cálculo de retrogradação: o cenário RCP 2.6 (otimista) e o RCP 8.5 (pessimista). A escolha teve como objetivo utilizar cotas para o aumento do nível do mar que abrangessem boa parte dos cenários descritos pelo IPCC (2013). Cada um dos cenários é composto por dois parâmetros, mínimo, 0,26 m (RCP 2.6) e 0,45 m (RCP 8.5), e máximo 0,55 m (RCP 2.6) e 0,82 m (RCP 8.5) (Tab.1).

Tabela 1. Cenários considerados para o aumento do nível do mar segundo (IPCC, 2013).

Table 1. Scenarios considered for the rise in the sea level (IPCC, 2013).

	CENÁRIO RCP 2.6 OTIMISTA	CENÁRIO RCP 8.5 PESSIMISTA
Mínimo (m)	0,26	0,45
Máximo (m)	0,55	0,82

Para o cálculo da largura do perfil ativo (L) foi necessário utilizar os dados de altitude da costa (h), profundidade de fechamento (d_1) e os dados batimétricos da área. A altitude da costa foi obtida a partir da carta do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, onde o setor 1 apresenta altitude (h) de 15 m e o setor 2 (h) de 12 m.

A profundidade de fechamento foi calculada a partir

da hidrodinâmica das ondas. Os dados hidrodinâmicos utilizados estão apresentados na tabela 2 e foram confrontados com os dados fornecidos pelo Porto do Pecém, com os dados obtidos através do site do Centro de Previsões do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

Os dados utilizados são originários do ondógrafo direcional do tipo Waverider, instalado na proximidades do Porto do Pecém, na isóbata de 18m e referem-se ao período de 1997 a 1999.

Tabela 2. Dados hidrodinâmicos (LIMA, 2002).

Table 2. Hydrodynamics data (Lima, 2002).

H_s (m)	1,45
T (s)	7,82
σ (m)	0,29

A profundidade de fechamento (d_1), ou limite litorâneo, é definida como a profundidade limite do movimento dos sedimentos do fundo marinho, por ação das ondas. Esse movimento é oscilatório e promove o retrabalhamento da topografia de fundo. A profundidade de fechamento foi determinada a partir da equação empírica de Hallermeier (1981).

$$d_1 = 2H_s + 11\sigma \quad (02)$$

em que d_1 representa a profundidade de fechamento do perfil (limite litorâneo da área), H_s a altura de onda significativa média anual; e σ o desvio padrão anual médio das alturas de ondas significativas).

A profundidade de fechamento (posicionamento do limite litorâneo) calculada (d_1) foi de 6,1 m (Fig. 3).

Os dados batimétricos utilizados foram cedidos pelo Laboratório de Geologia Marinha Aplicada (LGMA/UFC). A coleta dos dados foi realizada por meio do equipamento Chartplotter, modelo GPSMAP 520s da GARMIN (composto por uma sonda com transdutor de dupla frequência – 50/ 200kHz, amplitude de feixe entre 10 e 40° e uma profundidade máxima de 457m), e um GPS 72H – GARMIN.

A altura do perfil ativo foi calculada através do somatório da altitude da costa com a profundidade de fechamento ($h + d_1$).

A linha de preamar máxima atual utilizada no cálculo foi determinada pelo Laboratório de Geologia Marinha Aplicada (LGMA/UFC), substituindo a linha de preamar estabelecida em 1831. A aquisição da linha de preamar máxima considerou o deslocamento e monitoramento

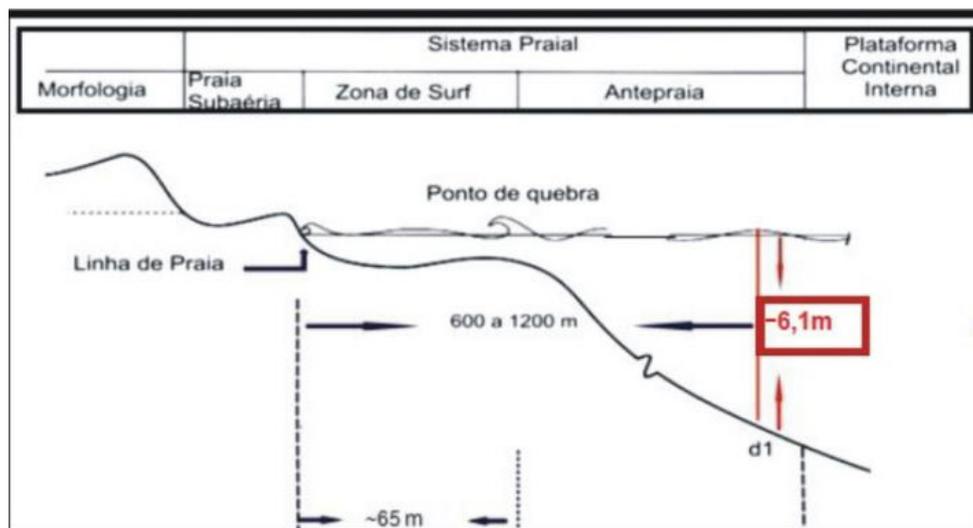


Figura 3. Perfil com o posicionamento do limite litorâneo ($d_1 = -6,1$ m) (Adaptado de Short, 1999).

Figure 3. Profile with the positioning of the coastal limit ($d_1 = -6,1$ m) (Adapted from Short, 1999).

das feições morfológicas da praia, escarpas de berma, linha de vegetação e estruturas urbanas, e foi efetivada através de rastreamento por GPS, sendo utilizado o método relativo estático.

Para efeito de classificação dos recuos obtidos através da Lei de Bruun (Brunn, 1962), considerando os dois setores estabelecidos a partir dos cenários RCP 2.6 (otimista) e RCP 8.5 (pessimistas), foram utilizados os valores de referência apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de classificação da retrogradação

Table 3. Parameter for the classification of downgrading

Pequena retrogradação	Até 33 m
Média retrogradação	33 m > 50 m
Grande retrogradação	Acima de 50 m

O grau de vulnerabilidade costeira de um ambiente litorâneo é função do deslocamento, equilíbrio e características da linha de costa. Muitos são os autores que trabalham a vulnerabilidade costeira, como Dal Cin e Simeoni (1994), Souza e Suguio (2003) e Lins de Barros (2005). Para efeito de classificação da vulnerabilidade neste trabalho, adotou-se a classificação descrita por DalCin e Simeoni (1994), onde: baixa vulnerabilidade refere-se a praias bem desenvolvidas, sem obras de contenção; média vulnerabilidade diz respeito a praias de frágil estabilidade, com obras de fixação na área de pós-praia; e alta vulnerabilidade indica praias reduzidas, sem área de pós-praia, com forte presença de obras de proteção costeira e ocupação desordenada.

4. RESULTADOS

O setor 1 localiza-se entre o rio Barra Nova e a praia de Iparana, entre as coordenadas 535550m E e 9595565m M, coordenada 543271m E, 9592420m N. Este setor possui uma extensão aproximada de 8,7 km e uma altitude média de 15 m. Os parâmetros para o cálculo de retrogradação estão descritos na tabela 3 e o cálculo está exposto na tabela 4.

Tabela 4. Retrogradação estimada para o setor 1

Table 4. Downgrading estimated for sector 1

CENÁRIO OTIMISTA			CENÁRIO PESSIMISTA		
	mínimo	máximo		mínimo	máximo
S (m)	0,26	0,55	S (m)	0,45	0,82
L (m)	1580		L (m)	1580	
H (m)	21,1		H (m)	21,1	
G	1		G	1	
R (m)	19,47	41,18	R (m)	33,70	61,40

O setor 1 (Fig. 4) apresentou pequena retrogradação apenas quando é considerado o parâmetro mínimo do cenário otimista, conforme valor calculado de 19,47 m. Esse valor indica que o setor estaria protegido se aplicado o limite dos terrenos da marinha, empregado hoje, cujo valor é de 33 m. Contudo, no mesmo cenário, considerando o valor máximo, e no cenário pessimista, considerando o parâmetro mínimo, em relação ao aumento do nível médio do mar, a retrogradação é classificada como média com valores de 41,18 m e 33,70 m, respectivamente. O valor para área não edificante determinado por lei de 33 m, é então, insuficiente para proteção da área.

Para o valor máximo do cenário pessimista, a retrogradação é classificada como grande, ($R=61,40$ m), estando essa área em sério risco, pois o parâmetro legal para a definição da área não edificante igual 33 m, é insuficiente para a preservação da área.

O setor 2 localiza-se entre as coordenadas 543271m E, 9592420m N e 545514m E e 9592031m N, e engloba a praia de Dois Coqueiros. Este setor possui uma extensão aproximada de 2,5 km e uma altitude média de 12 m. Os parâmetros usados no cálculo de retrogradação e os valores obtidos estão descritos na tabela 5.

O setor 2 (Fig. 5) apresenta pequena retrogradação quando analisado o parâmetro mínimo do cenário otimista, sendo o valor calculado de 26,57 m. Neste caso o setor 2 pode considerar-se protegido se aplicado o limite dos terrenos da marinha, parâmetro utilizado atualmente, cujo valor é de 33 m. Apesar disso, no mesmo cenário, se for observado o parâmetro máximo, de valor 56,21 m, a retrogradação é considerada grande. Para o cenário pessimista, se for observado o mínimo, em relação ao aumento do nível do mar, a retrogradação é classificada como média, pois o valor de 45,99 m está entre 33 m e 50 m. Entretanto, se for considerado o valor máximo, igual a 83,81 m, a retrogradação será considerada grande.

Tabela 5. Parâmetros para a retrogradação referente ao setor 2.

Table 5. Parameters for the downgrading of sector 2.

CENÁRIO OTIMISTA (IPCC, 2013)			CENÁRIO PESSIMISTA (IPCC, 2013)		
	mínimo	máximo		mínimo	máximo
S (m)	0,26	0,55	S (m)	0,45	0,82
L (m)	1850		L (m)	1850	
H (m)	18,1		H (m)	18,1	
G	1		G	1	
R (m)	26,57	56,21	R (m)	45,99	83,81

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conclui-se que, a área definida pelo setor 1 é predominantemente não edificante. Para a proteção dessa área é por isso necessário aumentar o limite estabelecido pelos terrenos da marinha (33 m), DL N° 3.438, DE 17 Julho 1941. Apenas desse modo haverá condições de preservação do patrimônio ambiental e paisagístico da área.

Os cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 são comparados na figura 6, sendo possível observar que para as cotas dos cenários otimista (RCP 2.6, máxima) e pessimista (RCP 8.5, mínima) foram obtidos resultados próximos, 41,18 m e

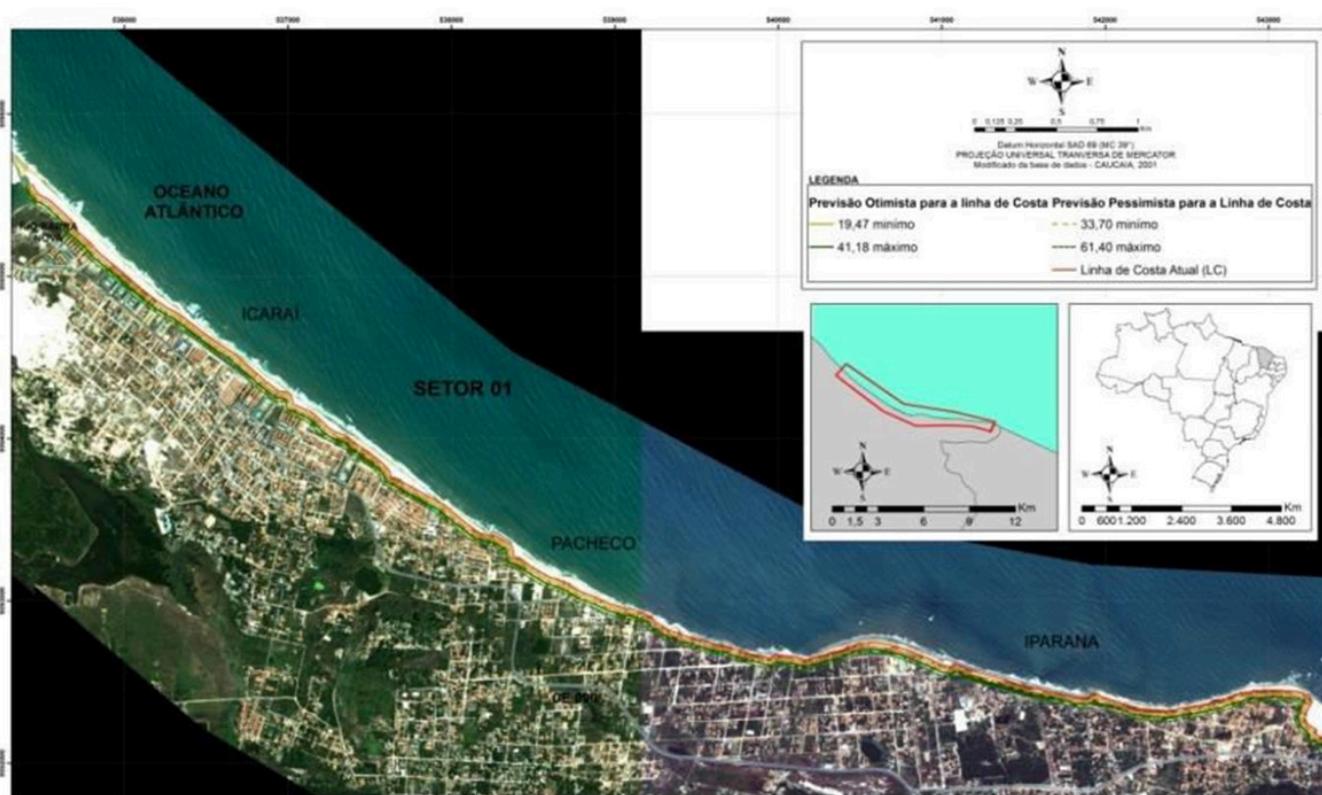


Figura 4. Mapa de retrogradação setor 1.

Figure 4. Downgrading map of sector 1.

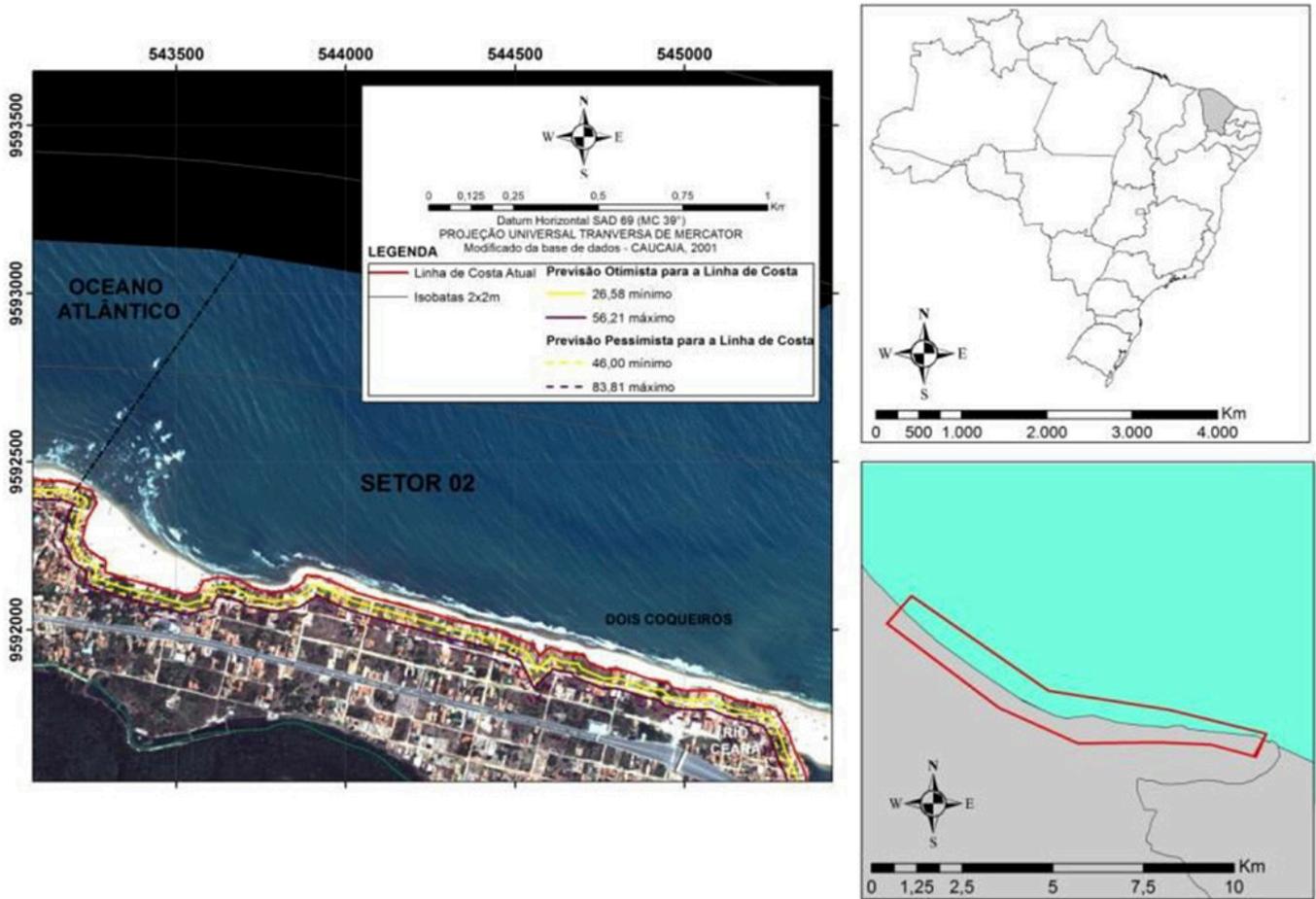


Figura 5. Mapa de retrogradação do setor 2.

Figure 5. Map of downgrading of sector 2.

33,70 m, respectivamente. Assim, pode-se sugerir uma dimensão aproximada de 45 m para área não edificante no setor 1. Essa dimensão assegura a preservação do património ambiental do setor, sendo que apenas o parâmetro máximo do cenário pessimista (RCP 8.5) não é contemplado.

A vulnerabilidade foi classificada como alta em toda a área que compreende o setor 1, com praias reduzidas, sem área de pós-praia, com forte presença de obras de proteção costeira (Fig. 7) e ocupação desordenada.

Conclui-se que, para a proteção da área referente ao setor 2, é indispensável que a área não edificante seja maior que a deferida, tendo por base o limite relativo dos terrenos da marinha (33m) (DL N° 3.438, DE 17 julho 1941), para que haja a garantia de preservação do património ambiental e paisagístico da área.

A análise da figura 8 aponta para a escolha da distância de 57 m para a definição da área não edificante desse setor 2. Essa distância garante a preservação das características ambientais e paisagísticas da área, considerando os cenários utilizados para efeito do

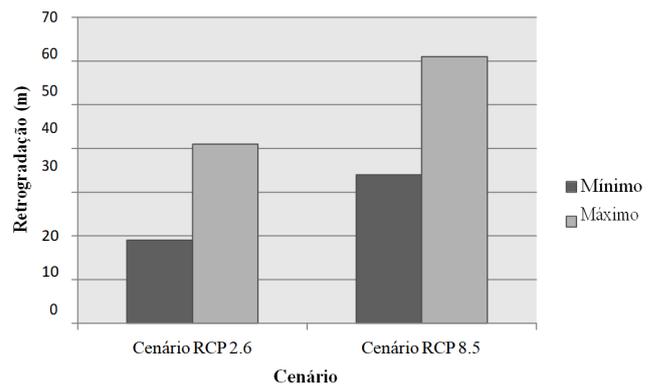


Figura 6. Comparação entre os resultados da retrogradação para os cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 referentes ao setor 1.

Figure 6. Comparison of the downgrading results for the RCP 2.6 and RCP 8.5 scenarios for the sector 1.

cálculo de retrogradação, não sendo contemplado apenas o parâmetro máximo do cenário pessimista RCP 8.5. Quanto à vulnerabilidade, o setor foi classificado como sendo de elevada vulnerabilidade.



Figura 7. Obra de contenção costeira na Praia do Icaraí.

Figure 7. Coastal containment work in the Icaraí Beach.

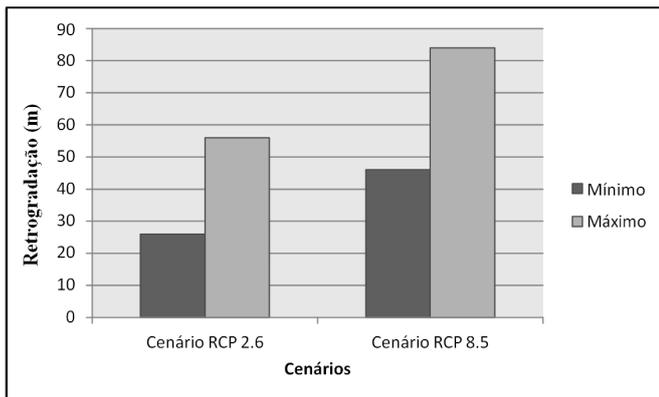


Figura 8. Comparação entre os resultados da retrogradação para os cenários RCP 2.6 e RCP 8.5 referentes ao setor 2.

Figure 8. Comparison of the downgrading results for the RCP 2.6 and RCP 8.5 scenario for the sector 2.

Apesar da área de estudo apresentar, aproximadamente, 11 km de extensão, houve a necessidade de divisão dessa área em setores devido à variação dos parâmetros utilizados no cálculo ao longo da área estudada. A importância de se analisar os parâmetros locais, para o cálculo de retrogradação, é evidenciada na figura 9, onde se pode constatar que os resultados de retrogradação para os setores 1 e 2 são distintos. O setor 1 apresenta como parâmetro mínimo, para o cenário RCP 2.6, retrogradação de 19,47 m, e o setor 2 apresenta 26.57m. A diferença entre os setores foi significativa, totalizando, aproximadamente, 6 m.

O parâmetro máximo do mesmo cenário traz para o setor 1 retrogradação de 41,18 m, e para o setor 2, retrogradação de 56,21 m, mostrando uma diferença significativa de cerca de 15,03 m.

Para o cenário RCP 85.5, os setores 1 e 2, no parâmetro mínimo, apresentaram uma diferença de 12,29 m, e no parâmetro máximo a diferença ficou em 22,41 m. As diferenças apresentadas (Fig. 9) confirmam que é de fundamental importância a observação da área e de seus parâmetros para a definição de setores (se for o caso) antes da efetivação do cálculo.

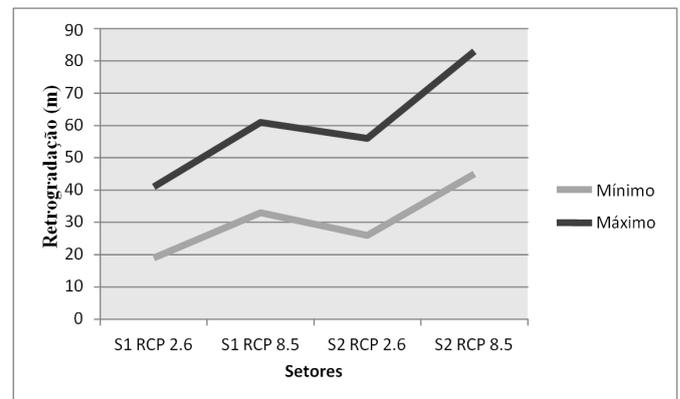


Figura 9. Comparação entre os resultados da retrogradação para o setores 1 e 2.

Figure 9. Comparison of the downgrading results for the sectors 1 and 2.

Em ambos os setores, constatou-se um alto grau de vulnerabilidade das praias. Esse fato alerta para a necessidade de dar uma maior atenção para à área de interface entre o continente e o meio marinho. A vulnerabilidade costeira é uma das características inerentes a essa parcela territorial, mas as ações antrópicas potencializam essa vulnerabilidade, levando-a a um grau elevado onde há significativas perdas ambientais, paisagísticas e, algumas vezes, do patrimônio construído.

O resultado do cálculo de retrogradação com projeção de área não edificante para as praias de Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icaraí indica a necessidade urgente de se reverem as dimensões das zonas não edificantes do litoral, na perspectiva de minimizar os conflitos existentes entre a área de transição do meio marinho e do continente, corroborando para a preservação tanto do patrimônio paisagístico e natural, quanto do patrimônio construído. Para tanto, a adoção de políticas de manejo para a zona costeira é imperativa.

Os números da retrogradação chamam a atenção para um problema vivenciado no litoral brasileiro e mundial, o aumento do nível médio da água do mar juntamente com a pressão antrópica, que potencializam a erosão costeira.

O estudo de áreas pertencentes à zona costeira implica em considerar o avanço do nível do mar e os efeitos da urbanização. A pesquisa alerta para esse problema e aproveita para encorajar novos estudos que possam, através do cálculo de retrogradação, orientar processos de ocupação nesse espaço estratégico do ponto de vista ambiental, econômico e social.

Atualmente, percebe-se que as áreas não edificantes das praias em estudo, correspondentes aos 33 m medidos a partir da preamar máxima, em sua maioria, não foram respeitadas, sim ocupadas. A ocupação dessas áreas potencializou o fenômeno da erosão, aliado ao aumento do nível do mar, gerando prejuízos socioambientais e econômicos.

6. CONCLUSÕES

Os resultados do cálculo de retrogradação comprovaram que apenas no cenário RCP 2.6 (otimista), parâmetro mínimo, as praias não se encontrariam em risco ambiental. Entretanto, no cenário RCP 2.6, parâmetro máximo e RCP 8.5, parâmetros mínimo e máximo, a área não edificante atual é insuficiente para garantir a preservação e a balneabilidade das praias. Além disso, observa-se a necessidade da área não edificante ser maior que a prevista atualmente.

Em ambas as praias a vulnerabilidade costeira foi classificada como alta, o que ratifica a necessidade de ampliação da área não edificante

Após observar as características particulares (altitude da costa, profundidade de fechamento, características morfológicas e litológicas etc.) de cada setor e relacioná-las com os resultados de retrogradação encontrados nos cenários otimistas e pessimistas, ratifica-se a importância do estudo regional e da caracterização das praias como parâmetro para estipular mecanismos de preservação na área. Sugere-se que praias que apresentem diferenças significativas em suas características (altitude, profundidade, dados de ondas, entre outros) sejam tratadas distintamente, e essas diferenças devem ser levadas em consideração ao se estipular áreas não edificantes que objetivem a preservação desse ambiente.

REFERÊNCIAS

- Alfredini, P. Obras e gestão de portos e costas. 1. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2005. Bates, R. L. & Jackson, J.A. Glossary of geology, 3. ed. Alexandria: American Geological Institute, 1987, 788p.
- Bates, Robert L.(Ed.); Jackson, A. (Ed.).Glossary of geology. 3.ed. Alexandria: American Geological Institute, 1987.788p.
- Birkemeier, W. A. Field data on seaward limit of profile change. Journal of waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, v. 111, n. 3, p. 592-602, 1985.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Projeto Orla: Fundamentos para a Gestão Integrada. Brasília, DF, 2006. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/vol1_fundamentos_jun06.pdf. Acesso em 28 de agosto, 2014.
- Brunn, P. Sea level rise as a cause of shore erosion. Journal of the Waterways and Harbor Division, Nova Iorque, v. 88, p. 117-130, 1962.
- Dal Cin, R. & Simeoni, U. A model for determining the Classification Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy), Journal of Coastal Research, v. 10, n. 1, p.19-29, 1994.
- Brasil. Decreto Nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=531>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- Brasil. Decreto Lei Nº 3.438, de 17 julho 1941. Ampliação do decreto-lei nº 2.490, de 16 de agosto de 1940, Terrenos da Marinha. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-lei/1937-1946/De13438.htm. Acesso em: 20 abr. 2018.
- Ceará. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - Ipece. Perfil Básico. 2014.
- Hallermeier, R.J. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. Coastal Engineering, Amsterdam, v. 4, p.253-277, 1981.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. Summary for policymakers. 33p. In: Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stoker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G-K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V. and Midgley, P. M., eds. IPECE.. IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal.Caucaia, 2013 Cambridge University Press, Cambridge, UK; New York, NY, USA.
- Lima, S. F. Modelagem numérica da evolução da linha de costa das praias localizadas a oeste da cidade de Fortaleza, Ceará: trecho compreendido entre o Rio Ceará e a praia do Cumbuco. 2002. 113f. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- Lins-de-Barros, F. M. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada no município de Maricá, Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 6, n. 2, p. 83-90, 2005.
- McGranahan G.; Balk D.; Anderson B. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. Environ Urban, v. 19, n. 1, p. 17-37, 2007.
- Moura, M. R. Dinâmica Costeira e Vulnerabilidade à erosão do litoral dos municípios de Caucaia e Aquiraz, Ceará. 2012. 193f. Tese de doutorado – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- Muehe, D. Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmicos e evolutivos. In: Subsídios para um projeto de gestão. Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Brasília: MMA, 2004.
- Nicolodi, J.L. & Zamboni, A. (2008) - Gestão Costeira. In: Ademilson Zamboni & Joao Luiz Nicolodi (org.), Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil, pp.213-241, Ministério do

- Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Brasília. DF, Brasil. ISBN: 9788577381128.
- Short, A. D. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics – An overview. Chichester, England, New York: John Wiley, 1999, 379 p.
- Silva, J. B.; Dantas, E. W. C.; Meireles, A. J. A. Litoral e sertão, natureza e sociedade no nordeste brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.
- Souza, C. R. G. & Suguio, K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo Plan Coastal Management. Journal of Coastal Research, Special Issue 35, p. 530-547, 2003.