

RISCO À ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA ORLA MARÍTIMA DO SUL DA ILHA DE SANTA CATARINA (FLORIANÓPOLIS-SC, BRASIL)

Alexandre M. Mazzer¹ & Celia R. de Gouveia Souza²

¹Departamento de Geografia, Universidade da Região de Joinville-mazzer@matrix.com.br

²Instituto Geológico - SMA/SP; Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia-
Universidade de São Paulo-USP - celiagouveia@igeologico.gov.br

Resumo

O presente trabalho apresenta um método de avaliação de risco de elevação de nível do mar sobre edificações situadas em uma faixa de orla marítima, aplicado em cinco praias arenosas da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis-Santa Catarina, Brasil). A análise foi realizada com o uso de Sistema de Informação Geográfica, utilizando a equação clássica de risco e o conceito de perfil de equilíbrio morfodinâmico da praia (Regra de Bruun). Os resultados mostraram que cerca de um quarto dessa faixa de orla apresenta risco Alto e Muito Alto e aproximadamente metade da mesma enquadra-se nas classes de risco baixo ou muito baixo. Tal diferença está associada à distância da ocupação antrópica em relação às dunas frontais e a linha de costa, bem como a resposta de retração de linha de costa em função das características morfodinâmicas de cada praia.

Palavras –chaves: risco; elevação do nível do mar; erosão costeira, Sistema de Informação Geográfica; Ilha de Santa Catarina.

Abstract

This study presents a sea-level rise risk assessment on buildings placed at a shoreline stretch, which has been applied in five sandy beaches located at southeastern of Santa Catarina's Island (Florianopolis, Santa Catarina State, Brazil). It was performed through a Geographical Information System modeling by using the classic risk equation and the equilibrium profile concept (Bruun Rule). Results showed that about a quarter part of the whole area is classified as High and Very High Risk, while about one half is under Low and Very Low Risk. These results are related to the distance from building occupation to the foredunes and shoreline, as well as the beach morphodynamics and the shoreline retreat response.

Keywords: risk assessment, sea level rise, coastal erosion; geographical information system; Santa Catarina's Island.

1. Introdução

Mudanças no nível relativo do mar são conhecidas ao longo do tempo geológico, possuindo diferentes períodos e amplitudes (*e.g.* Camfield & Morang, 1996). Uma das respostas para tal fenômeno é a variação espacial da linha de costa. Bruun (1962) propôs uma regra já modificada e discutida, porém ainda bastante utilizada, mesmo atualmente, onde relaciona o efeito da transgressão marinha com resposta de recuo da linha de costa em direção ao continente (erosão), e o de regressão marinha com avanço da linha de costa (deposição).

Uma vez que a elevação do nível do mar vem sendo tema de preocupação para as populações de cidades costeiras, especialmente após a divulgação último relatório do Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), a erosão costeira deve ser considerada neste panorama.

A erosão costeira é um fenômeno mundial (Bird, 1985), e causa diretamente destruição de edificações na orla marítima, estruturas náuticas e equipamentos urbanos bem como ameaça ecossistemas naturais, ao longo de praticamente toda costa brasileira, (Souza *et al.*, 2005). Tal situação remete a um risco dos imóveis, obras de engenharia e bens públicos situados na faixa de orla marítima.

Risco (*risk*) ambiental é o “grau de prejuízo ou dano causado a pessoas e bens devido à ocorrência de um perigo (*hazard*), o qual representa a probabilidade de ocorrência de um evento físico, fenômeno natural e/ou induzido por uma atividade humana, potencialmente danoso ou nocivo, que pode causar perda de vidas, ferimentos, danos a propriedades e bens, interrupção de atividades sociais e econômicas e degradação ambiental” (Varnes, 1984).

Na literatura existem várias definições para o termo Risco, assim como diferentes métodos de aplicação em relação a riscos costeiros. No entanto, é inegável a importância do uso de Sistemas de Informações Geográficas, devido à sua capacidade de integrar e modelar dados multidisciplinares (Cooper & Mac Laughin, 1998; Mazzer, 2004; Souza, 2004, 2005, 2005), possibilitando simulações de elevações do nível do mar, e modelagens de riscos costeiros (Thumerer *et al.*, 2000; Hennecke *et al.*, 2000; Souza, 2004, 2005, entre outros).

No Brasil, ainda são poucos os trabalhos sobre o risco que as cidades costeiras estão submetidas frente à elevação do nível relativo do mar (Mazzer, 2007). Entretanto, esse tipo de estudo teria uma aplicação direta junto ao Gerenciamento Costeiro integrado com ações de defesa civil e outras políticas públicas (Carter, 1988), como, por exemplo, na definição de linhas de recuo (*set backs*) na orla, planos de contingência, subsídios a obras de engenharia costeira e ao planejamento territorial e urbano (Carter, 1988; Souza, 1998, 2004, 2005, Souza *et al.*, 2005, Thumerer *et al.*, 2000, Mazzer, 2007).

O objetivo do presente trabalho é apresentar o risco potencial que edificações situadas na orla marítima de cinco praias arenosas da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis-SC) estão submetidas, frente a um cenário futuro de elevação do nível do mar (NM), considerando os efeitos de erosão costeira.

2. Área de Estudo

A Ilha de Santa Catarina possui 431 km² de área total, apresentando formato alongado com orientação geral sentido NE-SW, e distando apenas cerca de 600 metros do continente (Figura 1). A geologia da Ilha é composta por duas principais províncias: i) embasamento cristalino, que ocorre na forma de dois principais maciços graníticos que constituem um eixo central de suas terras altas e promontórios rochosos isolados; ii) planície costeira, constituída por depósitos sedimentares relacionados a dois principais sistemas deposicionais, os sistemas de Leques Aluviais e do tipo Laguna-Barreira. Este último é caracterizado por depósitos sedimentares geneticamente associados aos processos costeiros e eustáticos, e representado por depósitos praias, eólicos, lagunares, de planície de maré e paludial (Caruso Jr., 1993).

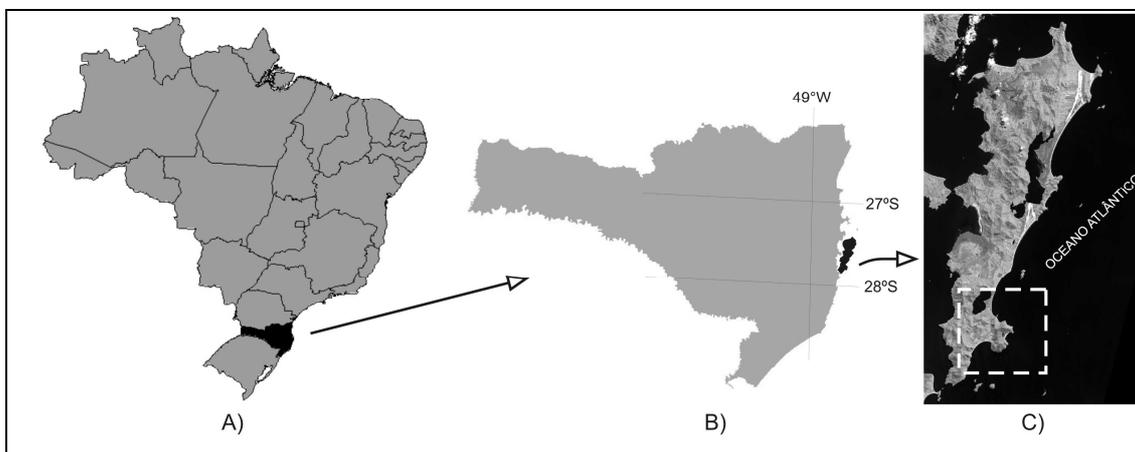


Figura 1: Contextualização e Localização da Área de Estudo: a) Brasil; b) Estado de Santa Catarina; c) Ilha de Santa Catarina com área de estudo demarcada em tracejado.

O presente estudo abrange cinco praias localizadas no sudeste da Ilha de Santa Catarina, que totalizam 9,2 km de linha de costa arenosa (Figura 2), cujas características principais são destacadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características das praias que compõem a área de estudo

| Praia | Extensão (m) | Orientação | Exposição-Direção | Fisiografia e Geomorfologia* | Tipo Morfodinâmico | Ocupação Antrópica |
|------------------------------------|--------------|------------|----------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Praia da Solidão | 1344,9 | NE-SW | Média SE,E | Praia de bolso | Dissipativa-Intermediária | Alta |
| Praia do Pântano do Sul/dos Açores | 2472,4 | ENE-WSW | Média-Baixa S,SE | Enseada em espiral | Intermediária | Alta a baixa |
| Praia da Armação | 3563,8 | N-S | Alta-Baixa NE,E,SE,S | Enseada em espiral | Reflectiva-Intermediária | Variada |
| Praia do Matadeiro | 1226,8 | NW-SE | Média E,NE | Praia de bolso | Dissipativa | Alta a média |
| Praia da Lagoinha do Leste | 1276,4 | NNE-SSW | Alta NE,E,SE,S,SW | Praia de bolso | Intermediária | Ausente |

*Segundo Grê *et. al* (1997), Castilhos (1995) e Mazzer (2004).

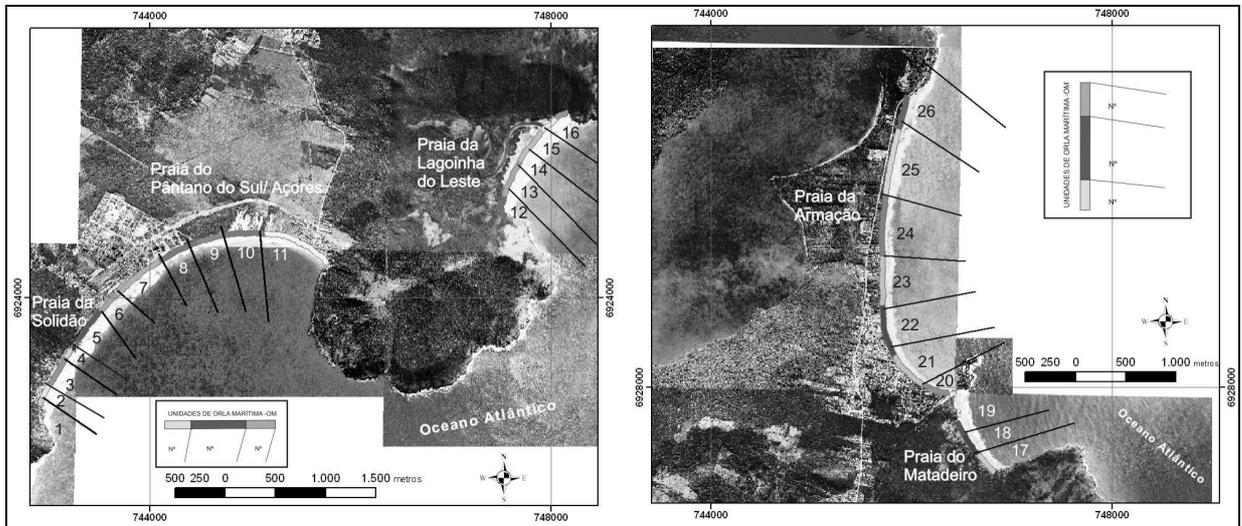


Figura 2: Detalhe da localização das praias que compõem a área de estudo, bem como das unidades de orla marítima-OM, e respectivos limites longitudinais.

3. Materiais e Métodos

3.1. Base de dados

A base de dados em ambiente de sistema de informação geográfica foi desenvolvida com o programa *Arc Info Desktop 9.1*, sendo composta de diversos planos de informação, previamente organizados em 3 componentes: Morfodinâmicos, Hidrodinâmicos e Base Cartográfica (Mazzer, 2007).

Os elementos da base de dados utilizados na presente análise foram: altimetria em escala 1:2.000 (IPUF, 2002); batimetria em escala 1:50.000 da Marinha do Brasil; conjunto de ortofotos, escala 1:2.000, do ano de 2002, e mapa de unidades ambientais, ora denominadas unidade de orla marítima (OM) (figura 2), bem como modelo numérico de terreno-MNT, construído por rede de triângulos irregulares (TIN), elaborado a partir dos dois primeiros elementos da base cartográfica supracitados.

A delimitação das OMs é dada por uma faixa de 50 m de largura a partir da linha de vegetação, sendo baseada no conceito de orla urbanizada ou semi-urbanizada determinado pelo Decreto Federal nº 5.300/04. Tal faixa foi dividida em segmentos menores, a partir da identificação de zonas de divergência dos raios de ondas em diagramas de refração e difração, as quais caracterizam limites de células costeiras (Carter, 1988), e obtidas por Mazzer (2007).

3.2. Análise de Risco

A análise de risco potencial apresentada aqui constitui uma análise probabilística que envolve o fenômeno de elevação do nível do mar, os efeitos de erosão costeira e seus danos potenciais às edificações costeiras de qualquer natureza (comercial, turística e residencial etc.). Foi utilizada a equação proposta por Varnes (1984) definida por:

$$R = (R_S) (E)$$

Sendo: R- risco; R_S - risco específico; E- elemento em risco.

O risco específico (R_S) é o grau de perda devido a um fenômeno particular (no caso recuo da linha de costa devido à elevação do nível do mar) e foi determinado pela função probabilística entre o recuo da linha de costa e a distância entre as primeiras edificações e a linha de vegetação, expressa por:

$$R_S = (\text{recuo da linha de costa} / \text{distância de edificações})$$

A erosão da linha de costa foi obtida a partir da formulação do perfil de equilíbrio estabelecido por Bruun (1962), para a taxa média entre cenários de elevação de nível do mar prevista em IPCC (2007) para o ano de 2090, estimada em 60 cm acima do nível atual. O recuo da linha de costa foi estimado a partir da equação (Bruun, 1962):

$$Rlc = (SLG)/H$$

Onde: Rlc é o recuo da linha de costa; S a elevação do nível do mar; L o comprimento do perfil ativo, determinado por perfis no MNT, entre a profundidade de fechamento em Mazzer (2007) e o topo de dunas frontais; G é a proporção de sedimento erodido no perfil (\bullet 1), e H a altura do perfil ativo.

A distância de edificações foi determinada por análise de distância (ferramenta *Nearest Point Analysis*) entre a linha de vegetação e as edificações.

O elemento em risco (E) foi obtido pela função da distância de edificações antrópicas em relação à faixa de 50 m, dada por:

$$E = (\text{distância de edificações}/50)100$$

Assim, a classificação de risco é dada por: 0–0,10 = Risco Muito Baixo; 0–0,25 = Risco Baixo; 0,25–0,50 = Risco Médio; 0,50–0,75 = Risco Alto; e 0,75–1,0 = Risco Muito Alto.

4. Resultados e Discussão

Na área de estudo, de forma geral, o risco de destruição de edificações devido ao recuo da linha de costa, associado à elevação do NM não é predominantemente elevado (Figura 3 e Tabela 2). Observa-se que mais da metade da

área é de risco Muito Baixo e Baixo. As classes de risco Alto e Muito Alto variam entre 10 a 15% do trecho costeiro estudado. No entanto, estas duas classes mais extremas, quando somadas, representam cerca de um quarto da área de estudo.

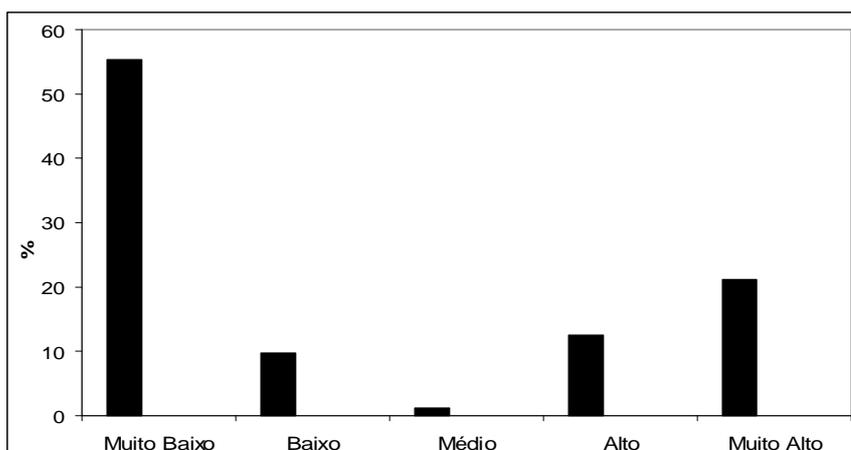


Figura 3: Percentual das classes de risco em relação à extensão total da linha de costa

As áreas de risco Muito Baixo e Baixo caracterizam-se por não terem ocupação massiva na faixa de 50m de orla, conforme pode ser observado na figura 4A. O risco Médio ocorre na Praia da Solidão em situação de ocupação antrópica próxima à linha de costa, porém apresentando retração costeira moderada.

Nas unidades da orla intensamente ocupadas, o risco é Alto com prováveis chances de retração total na situação de nível do mar elevado em 0,60m. A maior parte das praias da Solidão e Matadeiro e quase todo o trecho ocupado da praia da Armação, com exceção do seu extremo sul, se enquadram em tal cenário (Figura 4B).

O extremo sul da praia da Armação, assim como a vila do Pântano do Sul e a desembocadura do Rio das Pacas na Praia da Solidão, representam as áreas de risco Muito Alto. As unidades OM-11 e OM-20 e OM-21 (Tabela 2, Figura 4A) apresentam edificações sobre as dunas frontais, e muitas vezes estão guarnecidas de muros de proteção contra a erosão costeira já recorrente (Grê *et al.*, 1997; Castilhos, 1995; Cruz, 1999; Mazzer, 2004), além de apresentarem valores elevados de retração (Tabela 2).

Além dessas, muitas áreas consolidadas quanto à erosão, tais como a OM-22 na praia da Armação, bem como a OM-7 e OM-11 na Praia dos Açores, foram detectadas por escalas e método distinto por Simó & Horn F^o (2004) ainda que nas OMs 7 e 24, a retração não seja tão alta, sendo inferior a 20 m (Tabela 2 e figuras 4A e 4B).

A ocorrência de áreas de risco nas faixas de orla mais urbanizadas na área de estudo é atribuída à erosão costeira por Castilhos (1995), Grê *et al.* (1997), Simó & Horn F^o (2004), Oliveira, (2004), e consideradas mais vulneráveis em Mazzer (2004).

No entanto, apesar de Mazzer (2007) detectar nestas praias uma variação média da linha de costa entre os anos de 1938 e 2002, de -0,46 m/ano, consolidando a ocorrência de erosão costeira, trechos como o meio da praia dos Açores (OM-6 a OM-10), toda praia da Lagoinha do Leste e parte norte da praia da Armação (OM-25 e OM-26), apresentam risco Muito Baixo (Tabela 2 e figuras 4A e 4B). Tal fato é atribuído ao método da presente análise considerar como elemento em risco apenas as edificações situadas na faixa de 50 metros de orla marítima. Desta forma, onde não ocorre o elemento de risco, o efeito de recuo da linha de costa não incide em áreas livre de construções nas OMs.

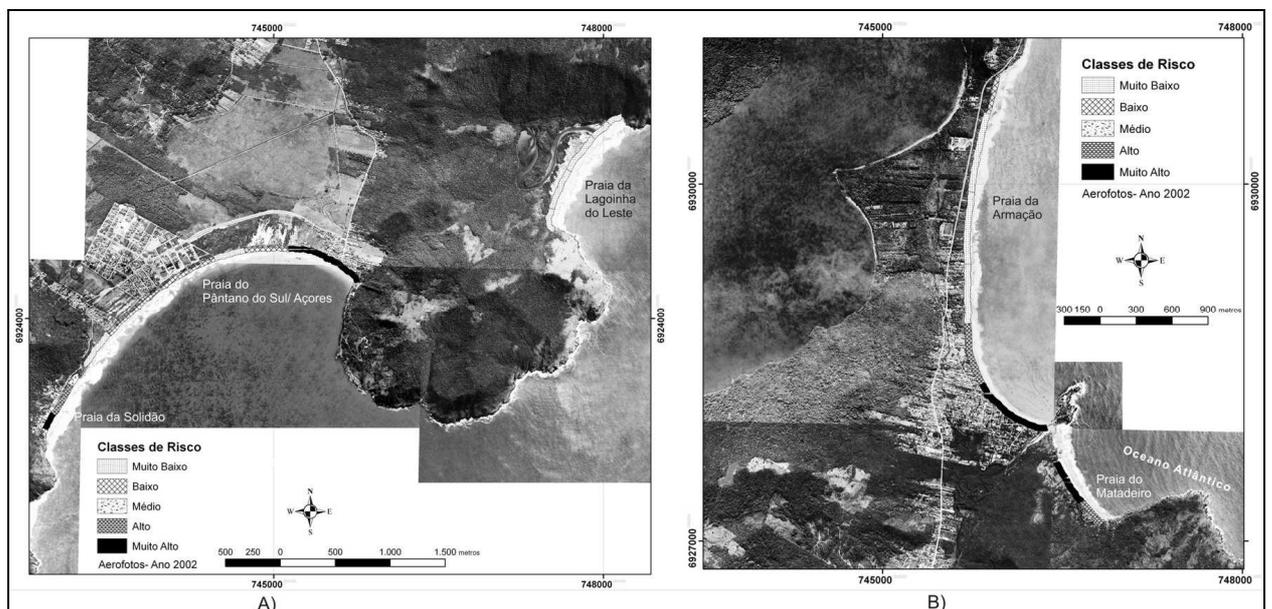


Figura 4: Mapa das áreas de risco: (A) Praias de Soldão, Açores- Pântano do Sul e Lagoinha do Leste; (B) Praias do Matadeiro e Armação.

Além disso, a retração da linha de costa é bastante distinta ao longo das praias e OMs, devido à variação fisiográfica e morfodinâmica (amplitude do perfil ativo, altitude das dunas frontais, entre outros) existente entre as praias e ao longo de seus arcos praias. Tal variação também foi encontrada por Oliveira (2004) e Mazzer (2007) em relação à erosão costeira, e em Castilhos (1995) e Grê *et. al* (1997) e Mazzer (2004) nos trabalhos sobre geologia e geomorfologia dessas praias.

As praias da Lagoinha do Leste, Matadeiro e Armação apresentaram os maiores valores quanto à retração da linha de costa (Tabela 2), porém as diferentes condições de ocupação denotam classes distintas de risco ao longo destas praias. No entanto, vale ressaltar que o valor elevado da retração da linha de costa (tabela 2) e o alto nível de ocupação da Praia do Matadeiro, tornam-na a praia mais perigosa.

Tabela 2: Variáveis utilizadas na avaliação de risco e classificação de risco das praias estudadas. .

| Praia | Unidade de Orla Marítima (OM) | Distância média de Edificações | Distância mínima de Edificações | Recuo da linha de costa (Rlc) | Risco específico (R_s) | Elemento em Risco (E) | Risco (R) | Classe de Risco |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|---|------------------------------|------------------|------------------------|
| Solidão | 1 | 33,71 | 0,51 | 20,41 | 0,61 | 0,33 | 0,20 | Baixo |
| | 2 | 6,56 | 0,08 | 22,52 | 1,00 | 0,87 | 0,87 | Muito Alto |
| | 3 | 18,56 | 0,03 | 19,01 | 1,00 | 0,63 | 0,63 | Alto |
| | 4 | 17,43 | 9,59 | 13,20 | 0,76 | 0,65 | 0,49 | Médio |
| Açores-Pântano do Sul | 5 | 48,64 | 20,94 | 12,97 | 0,27 | 0,03 | 0,01 | Muito Baixo |
| | 6 | 32,69 | 2,50 | 15,43 | 0,47 | 0,35 | 0,16 | Muito Baixo |
| | 7 | 59,70 | 16,82 | 14,66 | 0,25 | 1,00 | 0,25 | Baixo |
| | 8 | 95,48 | 72,11 | 11,08 | 0,12 | 1,00 | 0,12 | Muito Baixo |
| | 9 | 244,53 | 178,97 | 13,90 | 0,06 | 1,00 | 0,06 | Muito Baixo |
| | 10 | 236,44 | 103,87 | 22,57 | 0,10 | 1,00 | 0,10 | Muito Baixo |
| | 11 | 2,00 | 0,02 | 32,00 | 1,00 | 0,96 | 0,96 | Muito Alto |
| Lagoinha do Leste | 12 | >50 | >50 | 52,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Muito Baixo |
| | 13 | >50 | >50 | 56,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Muito Baixo |
| | 14 | >50 | >50 | 55,63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Muito Baixo |
| | 15 | >50 | >50 | 64,94 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Muito Baixo |
| Matadeiro | 16 | >50 | >50 | 56,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | Muito Baixo |
| | 17 | 23,72 | 5,90 | 43,77 | 1,00 | 0,53 | 0,53 | Alto |
| | 18 | 11,22 | 0,78 | 41,93 | 1,00 | 0,78 | 0,78 | Muito Alto |
| | 19 | 8,14 | 0,62 | 38,23 | 1,00 | 0,84 | 0,84 | Muito Alto |
| Armação | 20 | 6,12 | 0,03 | 38,76 | 1,00 | 0,88 | 0,88 | Muito Alto |
| | 21 | 3,29 | 0,07 | 40,01 | 1,00 | 0,93 | 0,93 | Muito Alto |
| | 22 | 21,72 | 0,16 | 40,02 | 1,00 | 0,57 | 0,57 | Alto |
| | 23 | 89,87 | 10,41 | 26,48 | 0,29 | 0,00 | 0,00 | Muito Baixo |
| | 24 | 136,51 | 119,22 | 26,68 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | Muito Baixo |
| | 25 | 82,62 | 12,38 | 33,09 | 0,40 | 0,00 | 0,00 | Muito Baixo |
| | 26 | 45,18 | 14,16 | 50,47 | 1,00 | 0,10 | 0,10 | Baixo |

5. Considerações Finais

A área de estudo apresenta-se de forma geral sob risco associado à elevação do nível do mar, sendo que em locais onde a faixa de orla encontra-se completamente edificada (risco Alto e Muito Alto), poderá ocorrer a destruição total das edificações ali presentes, independente de outras características geomorfológicas destas praias. As áreas de risco médio e baixo, também podem sofrer eventuais perdas em ecossistemas naturais ou semi-naturais, devido à sua alta suscetibilidade à retração da linha de costa.

A análise de risco apresentada foi restrita a apenas um elemento de risco, o qual não representa o risco total que a orla marítima está submetida. Considerações adicionais contemplando outros fatores como, por exemplo, a taxa de variação da linha de costa, bem como outros elementos em risco, poderão compor uma análise mais abrangente, vindo a constituir uma importante ferramenta em Planos de Gerenciamento Costeiro.

6. Referências Bibliográficas

- Bird, E. (1985). *Coastline Changes*. John Wiley and Sons, 219 p.
- Bruun, P. (1962). Sea level rise as a cause of shoreline erosion. *Journal of Waterways and Harbor* 88: 117-130.
- Camfield, F.E.; Morang, A. (1996). Defining and Interpreting Shoreline Change. *Ocean and Coastal Management*, 32 (3): 129-151.
- Carter, R.G.W. (1988). *Coastal Environments: An introduction of Physical, Ecological and Cultural Systems*. London,, Academic press, 617p.
- Caruso Jr., F. (1993). Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina - Texto explicativo e mapa- escala: 1:100.000. *Notas Técnicas* 6: 1:28.
- Castilhos, J. A. (1995). Estudo Evolutivo, Sedimentológico e Morfodinâmico da Planície Costeira e Praia da Armação – Ilha de Santa Catarina, SC. Florianópolis 134 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Cruz, O. (1996). *A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo: um estudo de geomorfologia costeira*. Florianópolis, Editora da UFSC, 276p.
- Gré, J.C.R.; Castilho, J.A & Horn Filho, N.O. (1997). Quaternary Deposits of the Pântano do Sul Beach, Santa Catarina Island, Brazil. In: *Atas do Colóquio Franco-Brasileiro de Manejo Costeiro de Ilha de Santa Catarina*, Florianópolis, Ed. UFSC. p. 211-218.

- Hennecke, W.G., Cowell, P. (2000). GIS Modeling of Impacts of an Accelerated Rate of Sea Level on Coastal Inlets and Deeply Embayed Shorelines. *Environmental Geosciences* 7: 137-148.
- IPCC- International Panel of Climate Change (2001). Third Assessment Report Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. United Nations Environment Program-UNEP. Disponível em: <http://www.ipcc.ch> Acesso em: 02 / 03 / 2006
- IPIUF- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (SC); (2002). Levantamento Aerofotogramétrico da Ilha de Santa Catarina. Ortofotocartas. Escala 1:2.000.
- Mazzer, A. M. (2004). Análise da Vulnerabilidade Costeira com uso de Sistema de Informação Geográfica: Uma aplicação ao trecho litorâneo sul da Ilha de Santa Catarina.. In: V Simp. Nac. de Geomorfologia. Anais... Santa Maria-RS. CD-ROM.
- Mazzer, A.M. (2007). Proposta Metodológica de Análise de Vulnerabilidade da Orla Marítima à Erosão Costeira: Aplicação na Costa Sudeste da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil. Tese de Doutorado em Geociências. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 169p.
- Oliveira, U.R. (2004). Comportamento morfodinâmico e granulometria do arco praial Pântano do Sul -Açores, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Florianópolis, 102 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Simó, D.H. & Horn Fº, N.O. (2004). Caracterização e Distribuição Espacial das “Ressacas” e Áreas de Risco na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *Gravel* 2: 93-103
- Souza, C.R. de G. (2004). Risco a Inundações, Enchentes e Alagamentos em Regiões Costeiras. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1. Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC p.231-247. (CD ROM)
- Souza, C.R. de G. (2005). Riscos hidrológicos costeiros no âmbito do Projeto SIIGAL. In: Congresso Brasileiro da ABEQUA, X, , Guarapari (ES). Anais,... CD-ROM
- Souza, C.R. de G.; Souza Filho, P.W.M.; Esteves, S.I.; Vital, H. Dillenburg, S.R.; Patchineelam, S.M. & Addad, J.E. (2005) Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: Souza *et al.* (eds.). Quaternário do Brasil. Holos Editora, Ribeirão Preto: 130-152.
- Thumerer, T.; Jones, A.P.; Brown, D. (2000). A GIS Based Coastal Management System for Climate Change Associated Flood Risk Assesment on the East Coast of England. *Int. Journal of Geographical Information Science* vol. 14, nº3 pp 265-281.
- Varnes, D.J. (1984). *Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice*. UNESCO Press, Paris. 56p.