

**FREDERICO DE MORAES RUDORFF**

**GEOINDICADORES E ANÁLISE ESPACIAL NA AVALIAÇÃO DE  
SUSCETIBILIDADE COSTEIRA A PERIGOS ASSOCIADOS A  
EVENTOS OCEANOGRÁFICOS E METEOROLÓGICOS EXTREMOS**

Florianópolis-SC, 7 de novembro de 2005

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Filosofia e Ciências Humanas  
Programa de Pós-graduação em Geografia**

**Frederico de Moraes Rudorff**

**Geoindicadores e Análise Espacial na Avaliação de Suscetibilidade Costeira a  
Perigos Associados a Eventos Oceanográficos e Meteorológicos Extremos**

**Orientador Jarbas Bonetti**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Área de Concentração: Utilização e Conservação dos Recursos Naturais

Florianópolis-SC, 7 de novembro de 2005

**Geoindicadores e Análise Espacial na Avaliação de Suscetibilidade Costeira a  
Eventos Oceanográficos e Meteorológicos Extremos**

**Frederico de Moraes Rudorff**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração Desenvolvimento Regional e Urbano, do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.

Aprovado pela comissão examinadora em 07/11/2005

Prof. Dr. Jarbas Bonetti (Presidente e orientador – GCN/UFSC)

Profa. Dra. Carla Bonetti (Membro – GCN/UFSC)

Prof. Dr. Dieter Muehe (Membro – UFRJ)

Florianópolis-SC, 7 de novembro de 2005

Dedico aos meus pais, Bernardo e Heloisa e  
aos meus irmãos, Conrado e Natália

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida. À Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo auxílio financeiro de dezesseis meses de bolsa de mestrado. À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações. Ao Laboratório de Oceanografia Costeira – LOC, pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações. Aos professores da UFSC pelo conhecimento compartilhado. Ao meu orientador Prof. Dr. Jarbas Bonetti, pelo conhecimento passado, e pela orientação e apoio na realização deste trabalho. Aos professores e colegas do LOC e do Grupo de Estudos em Desastres Naturais, pela amizade e apoio na realização deste trabalho. Ao Major Mauro da Costa, Secretário do Departamento Estadual de Defesa Civil, ao Gean Marques Loureiro, Secretário Municipal de Governo, ao Francisco, do Departamento Municipal de Defesa Civil e ao Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF pelo apoio na aquisição da base planialtimétrica e ortofotos das praias estudadas. Ao Prof. Dr. Roque pelos auxílios durante o processamento dos dados. À Janice por ter ajudado no campo. Ao Emerson, Conrado, Natália, Carla, Isabela, Renato, Ulisses e Barletta pelas valiosas conversas. Aos meus irmãos Conrado e Natália que tanto me incentivaram neste trabalho. À minha namorada Lucélia, pelo amor e compreensão. Aos meus pais por sempre acreditarem na importância do estudo e pelas muitas horas de oração.

A fé e a razão são como as duas asas com as quais o espírito humano se eleva à contemplação da verdade. Deus colocou no coração do homem o desejo de conhecer a verdade e, definitivamente, de conhecê-lo para que, conhecendo-o e amando-o, possa alcançar também a plena verdade sobre si mesmo

João Paulo II

## RESUMO

A zona costeira vem sofrendo cada vez mais pressões em virtude da expansão urbana e de atividades econômicas como o turismo e a maricultura. A ocupação em áreas muito próximas à orla marítima, sem o devido planejamento e controle, tem exposto diversas comunidades a perigos costeiros como erosão, elevação do nível do mar e inundações, entre outros. A carência de dados históricos e de informações a respeito dos processos costeiros impõe sérias barreiras para o mapeamento das áreas vulneráveis a perigos costeiros no Brasil. Desta forma, a utilização de geoindicadores e análise espacial para o mapeamento da suscetibilidade à erosão e inundação costeira durante tempestades extratropicais foi apresentada como uma alternativa metodológica para viabilizar tais mapeamentos. Neste trabalho, foi selecionado um conjunto de geoindicadores para a avaliação da suscetibilidade com base na lista proposta por BUSH et al. (1999). Também foram avaliados: diferentes métodos de interpolação de amostras pontuais ao longo da linha de costa; a técnica de lógica difusa na representação da suscetibilidade; e finalmente, a qualidade do mapeamento com base na checagem de campo após alguns eventos extremos. O método de interpolação MIQD foi o que conseguiu melhor estimar a variação dos geoindicadores ao longo da linha de costa. A aplicação da lógica difusa, tanto na padronização dos dados do MDE, quanto na representação da diminuição da suscetibilidade com o aumento da distância em relação à linha de costa mostrou um grande potencial para a avaliação da suscetibilidade costeira. A avaliação dos mapeamentos com base na verificação em campo dos efeitos adversos provocados por algumas tempestades extratropicais demonstrou que os setores mais suscetíveis foram os mais atingidos. Além disso, em todas as praias avaliadas, a maioria dos setores de Suscetibilidade Muito Alta sofreu algum tipo de efeito adverso por erosão e/ou inundação. Desta forma, apesar de não envolver nenhuma avaliação de probabilidade de ocorrência, os resultados indicam que a utilização dos geoindicadores, do MDE difuso e da superfície de distância difusa foi capaz de representar o grau de suscetibilidade ao longo das praias. Neste sentido, esta dissertação oferece uma contribuição para o estudo de suscetibilidade costeira apresentando de forma prática a aplicação de ferramentas de análise ainda pouco utilizadas no Brasil, como os geoindicadores.

## ABSTRACT

The coastal zone, attracted by economic activities such as tourism, fishing, aquaculture, maritime transportation, is increasingly suffering pressure from development. The occupation at areas close to the coastline without adequate management and control has exposed many communities to coastal hazards such as erosion, storm surge, and sea-level rise. The low amount of historic data and information about coastal processes impose a barrier to coastal hazards susceptibility mapping at Brazil. Thus, the use of geoindicators and spatial analysis to map coastal flood and erosion susceptibility is presented as a methodological alternative. At this work, a set of geoindicators from the checklist proposed by BUSH et al. (1999) was selected to the susceptibility assessment. It were also evaluated: different methods to interpolate point samples along the coastline; the fuzzy logic technique to represent the susceptibility; and finally, the mapping quality based on field checking after the passage of some extratropical storms. The MIQD method demonstrated the best performance in estimating the variation of the geoindicators along the coast. The use of the fuzzy logic in the standardization of the DEM and in the representation of the fall of the susceptibility with the increase of the distance showed a great potential to coastal susceptibility assessment. Te mapping performance based on field survey of the damages caused by some coastal storms demonstrated that the most susceptible sectors were the most damaged. Besides, at all the assessed beaches most of the Very High Susceptible sectors were suffering some type of adverse effects from coastal erosion and/or flood. Thus, even though there is no probability assessment, the results indicate that the use of geoindicators, the fuzzy DEM, and the fuzzy distance susceptibility was able to represent the degree of susceptibility along the beaches. In this context, this dissertation offers a contribution to the coastal susceptibility research, presenting the application of analysis tools not commonly used in Brazil, such as geoindicators and fuzzy logic.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Imagens de conjuntos booleanos e de conjuntos difusos.....	23
FIGURA 2 – Localização da área de estudo.....	25
FIGURA 3 – Localização da Praia dos Ingleses.....	29
FIGURA 4 – Localização da Praia Morro das Pedras.....	30
FIGURA 5 – Localização da Praia da Armação.....	31
FIGURA 6 – Localização da Praia Pântano do Sul.....	32
FIGURA 7 – Roteiro Metodológico.....	33
FIGURA 8 – Notação Gráfica para as classes do modelo.....	38
FIGURA 9 – Notação Gráfica para as classes do modelo.....	38
FIGURA 10 – Modelo OMT-G para o mapeamento de suscetibilidade costeira.....	39
FIGURA 11 – Representação gráfica da função lógica difusa do MDE.....	41
FIGURA 12 – Representação gráfica da função de pertencimento difuso da superfície contínua de distância.....	42
FIGURA 13 – Modelo Digital de Elevação da Praia dos Ingleses.....	45
FIGURA 14 – Perfis altimétricos na Praia dos Ingleses.....	46
FIGURA 15 – MDE difuso da suscetibilidade em relação à elevação da Praia dos Ingleses.....	47
FIGURA 16 – Perfis do MDE difuso na Praia dos Ingleses.....	48
FIGURA 17 – Superfície contínua da interpolação dos geoindicadores na praia dos Ingleses.....	50
FIGURA 18 – Perfil dos NW-SE geoindicadores interpolados ao longo da Praia dos Ingleses.....	51
FIGURA 19 – Superfície contínua de distância difusa da Praia dos Ingleses.....	52
FIGURA 20 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.....	53
FIGURA 21 – Perfil NW-SE da suscetibilidade ao longo da Praia dos Ingleses.....	53
FIGURA 22 – Perfis de suscetibilidade perpendiculares à linha de costa na Praia dos Ingleses.....	54
FIGURA 23 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.....	55
FIGURA 24 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.....	56
FIGURA 25 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.....	57
FIGURA 26 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.....	58
FIGURA 27 – Modelo Digital de Elevação da Praia Morro das Pedras.....	59
FIGURA 28 – Perfis altimétricos na Morro das Pedras.....	59
FIGURA 29 – MDE difuso da suscetibilidade em relação à elevação da Praia Morro das Pedras.....	60
FIGURA 30 – Perfis do MDE difuso na Praia Morro das Pedras.....	61
FIGURA 31 – Superfície contínua da interpolação dos geoindicadores na praia Morro das Pedras.....	62
FIGURA 32 – Perfil NE-SW dos geoindicadores interpolados ao longo da Praia Morro das Pedras.....	63
FIGURA 33 – Superfície contínua de distância difusa da Praia Morro das Pedras...	63
FIGURA 34 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia Morro das Pedras.....	64
FIGURA 35 – Perfil NE-SW da suscetibilidade ao longo da Praia Morro das Pedras.....	65

FIGURA 36 – Perfis de suscetibilidade perpendiculares à linha de costa na Praia Morro das Pedras.....	65
FIGURA 37 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia Morro das Pedras.....	66
FIGURA 38 – Modelo Digital de Elevação da Praia da Armação.....	67
FIGURA 39 – Perfis altimétricos na Praia da Armação.....	68
FIGURA 40 – MDE difuso da suscetibilidade em relação à elevação da Praia da Armação.....	69
FIGURA 41 – Perfis do MDE difuso na Praia da Armação.....	70
FIGURA 42 – Superfície contínua da interpolação dos geoindicadores na praia da Armação.....	71
FIGURA 43 – Perfil N-S dos geoindicadores interpolados ao longo da Praia da Armação.....	72
FIGURA 44 – Superfície contínua de distância difusa da Praia da Armação.....	72
FIGURA 45 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia da Armação.....	73
FIGURA 46 – Perfil N-S da suscetibilidade ao longo da Praia da Armação.....	74
FIGURA 47 – Perfis de suscetibilidade perpendiculares à linha de costa na Praia da Armação.....	75
FIGURA 48 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia da Armação.....	76
FIGURA 49 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia da Armação.....	77
FIGURA 50 - Modelo Digital de Elevação da Praia Pântano do Sul.....	78
FIGURA 51 – Perfis altimétricos na Praia Pântano do Sul.....	78
FIGURA 52 – MDE difuso da suscetibilidade em relação à elevação da Praia Pântano do Sul.....	79
FIGURA 53 – Perfis do MDE difuso na Praia Pântano do Sul. ....	80
FIGURA 54 – Superfície contínua da interpolação dos geoindicadores na Praia Pântano do Sul.....	81
FIGURA 55 – Perfil NW-SE dos geoindicadores interpolados ao longo da Praia Pântano do Sul.....	82
FIGURA 56 – Superfície contínua de distância difusa da Praia Pântano do Sul.....	82
FIGURA 57 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia Pântano do Sul.....	83
FIGURA 58 – Perfil NW-SE dos geoindicadores interpolados ao longo da Praia Pântano do Sul.....	84
FIGURA 59 – Perfis de suscetibilidade perpendiculares à linha de costa na Praia Pântano do Sul.....	84
FIGURA 60 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia Pântano do Sul.....	85
FIGURA 61 – Imagem do ciclone extratropical de 26/05/04. ....	87
FIGURA 62 – Evidências erosivas na Praia Morro das Pedras após o ciclone de 26/05/04. ....	88
FIGURA 63 – Mosaico das fotografias obtidas em março de 2004 (A), e em detalhe os danos causados após o evento erosivo de junho de 2004 (B, C e D) .....	89
FIGURA 64 –Evidências de erosão e inundação na Praia da Armação após o ciclone de 09/08/05. ....	91
FIGURA 65 – Evidências de erosão e inundação na Praia da Armação após a o ciclone de 09/08/05. ....	92
FIGURA 66 – Evidências de erosão e inundação na Praia Pântano do Sul após o ciclone de 09/08/05. ....	93

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Geindicadores de suscetibilidade. ....	34
QUADRO 2 – Lista de geindicadores suplementares para avaliação dos principais geindicadores de mudança da linha de costa .....	37
QUADRO 3 – Geindicadores de suscetibilidade. ....	49
QUADRO 4 – Geindicadores de suscetibilidade. ....	61
QUADRO 5 – Geindicadores de suscetibilidade. ....	70
QUADRO 6 – Geindicadores de suscetibilidade. ....	80

# SUMÁRIO

<b>INTRUDUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
1.1 PERIGO, RISCO E DESASTRES NATURAIS .....	15
1.1.1 Perigos costeiros .....	16
1.2 GEOINDICADORES.....	18
1.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE ESPACIAL.....	20
1.3.1 Interpolação Espacial .....	20
1.3.2 Lógica Difusa.....	22
1.3.3 Álgebra de Mapas.....	24
<b>2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>25</b>
2.1 PRAIA DOS INGLESES .....	27
2.2 PRAIA MORRO DAS PEDRAS .....	29
2.3 PRAIA DA ARMAÇÃO.....	30
2.4 PRAIA PÂNTANO DO SUL .....	31
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1 LEVANTAMENTO DA BASE DE DADOS .....	33
3.2 DEFINIÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS .....	34
3.2.1 Geoindicadores.....	34
3.3 CHECAGEM DE CAMPO.....	36
3.4 ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS EM UM SIG.....	37
3.5 ANÁLISE E PROCESSAMENTO .....	37
3.5.1 Modelo Digital de Elevação Difuso .....	39
3.5.2 Geoindicadores.....	41
3.5.3 Superfície contínua de distância difusa .....	41
3.6 ÁLGEBRA DE MAPAS .....	42
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>44</b>
4.1 ANÁLISE ESPACIAL.....	44
4.1.1 Praia dos Ingleses.....	44
4.1.1.1 Modelo Digital de Elevação .....	44
4.1.1.2 Suscetibilidade em Relação ao Modelo Digital de Elevação Difuso .....	46

4.1.1.3	Superfície Contínua da interpolação dos Geoindicadores.....	49
4.1.1.4	Superfície Contínua de Distância Difusa .....	51
4.1.1.5	Superfície Contínua de Suscetibilidade .....	52
4.1.2	Praia Morro das Pedras.....	58
4.1.2.1	Modelo Digital de Elevação .....	58
4.1.2.2	Suscetibilidade em Relação ao Modelo Digital de Elevação Difuso .....	60
4.1.2.3	Superfície Contínua da interpolação dos Geoindicadores.....	61
4.1.2.4	Superfície Contínua de Distância Difusa .....	63
4.1.2.5	Superfície Contínua de Suscetibilidade .....	64
4.1.3	Praia da Armação.....	66
4.1.3.1	Modelo Digital de Elevação .....	66
4.1.3.2	Suscetibilidade em Relação ao Modelo Digital de Elevação Difuso .....	68
4.1.3.3	Superfície Contínua da interpolação dos Geoindicadores.....	70
4.1.3.4	Superfície Contínua de Distância Difusa .....	72
4.1.3.5	Superfície Contínua de Suscetibilidade .....	73
4.1.4	Praia Pântano do Sul.....	77
4.1.4.1	Modelo Digital de Elevação .....	77
4.1.4.2	Suscetibilidade em Relação ao Modelo Digital de Elevação Difuso .....	79
4.1.4.3	Superfície Contínua da interpolação dos Geoindicadores.....	80
4.1.4.4	Superfície Contínua de Distância Difusa .....	82
4.1.4.5	Superfície Contínua de Suscetibilidade .....	83
4.2	<b>AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSCETIBILIDADE APÓS A</b> <b>OCORRÊNCIA DE TEMPESTADES SEVERAS.....</b>	<b>85</b>
4.2.1	Seqüência de eventos no primeiro semestre de 2004 .....	86
4.2.2	Ciclone e Anticiclone de agosto de 2005.....	89
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES FUTURAS .....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>97</b>
	<b>ANEXO .....</b>	<b>102</b>

## INTRODUÇÃO

A zona costeira é um ambiente complexo decorrente do intenso dinamismo existente entre o oceano, o continente e a atmosfera, sendo constantemente remodelada pela ação de ondas, correntes e ventos. Por esta razão, a linha de costa não é uma linha permanente a ser desenhada em um mapa, mas muda continuamente em resposta a fatores externos naturais e antropogênicos que atuam em uma variedade de escalas espaciais e temporais (FRENCH, 2001).

Processos naturais estão continuamente atuando nos sistemas terrestres, costeiros e oceânicos, entretanto, as maiores mudanças ambientais geralmente ocorrem durante eventos naturais extremos, como tempestades e terremotos. Quando ocorrem em áreas sem ocupação humana eles representam uma renovação dos sistemas naturais. Todavia, ao atingir um determinado sistema social, estes fenômenos podem causar danos sérios ou até mesmo serem catastróficos.

Por exemplo, ciclones extratropicais podem gerar ventos intensos, ondas altas, inundações e erosão acentuada, danificando e destruindo construções e infraestrutura urbana localizadas próximo à orla marítima (GODSCHALK et al., 2000). Entretanto, nem todos os perigos estão associados a eventos extremos. Perigos como erosão costeira também podem estar associados aos processos que atuam de forma gradual em um longo período de tempo, podendo também vir a causar prejuízos ao homem (GODSCHALK et al., 2000). Desta forma, todos os fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que, devido à sua intensidade e abrangência, podem gerar danos ao homem são considerados como perigos naturais (UNDP, 2004).

Os principais perigos costeiros que ameaçam a costa sul do Brasil são ondas altas, marés de tempestades, vento e erosão da linha de costa. O estudo destes perigos requer um entendimento adequado dos processos atuantes na zona costeira. No Brasil, entretanto, a falta de dados históricos, de programas de monitoramento e de informação a respeito dos processos costeiros impõem sérias barreiras para o devido mapeamento das áreas suscetíveis a perigos costeiros. Assim sendo, devem-se buscar alternativas metodológicas que viabilizem tais

mapeamentos. Duas abordagens que podem ser utilizadas para o mapeamento de perigos costeiros são os geoindicadores e as técnicas de análise espacial.

O uso de geoindicadores foi apontado por BUSH et al. (1999) como sendo uma alternativa viável para o mapeamento de perigos costeiros. Tais indicadores fornecem tendências que podem ser úteis no entendimento dos processos que vem atuando na costa e, conseqüentemente, dos perigos aos quais a mesma está sujeita.

No ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) as técnicas de análise espacial, como a lógica difusa e a álgebra de mapas, permitem gerar informações importantes para o entendimento dos sistemas físicos e humanos, sendo, portanto de grande valia para estudos de suscetibilidade costeira.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar uma metodologia para a avaliação da suscetibilidade costeira a eventos oceanográficos e meteorológicos extremos com base em indicadores geoambientais e análise espacial de dados. Os objetivos específicos são:

- Selecionar um conjunto de geoindicadores representativos para a avaliação de suscetibilidade costeira na Ilha de Santa Catarina com base na lista proposta por BUSH et al. (1999);
- Avaliar diferentes métodos de interpolação de amostras pontuais ao longo da linha de costa;
- Avaliar a técnica de lógica difusa na representação da suscetibilidade à erosão durante eventos de tempestade;
- Apresentar estudos de caso em quatro praias sujeitas a diferentes condicionantes morfodinâmicos, avaliado o comportamento do índice de suscetibilidade proposto e a resposta destas praias a eventos extremos.

# 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1 PERIGO, RISCO E DESASTRES NATURAIS

Dentro da temática de perigos (*hazards*), suscetibilidade (*susceptibility*), vulnerabilidade (*vulnerability*), riscos (*risks*) e desastres naturais (*natural disasters*) existe uma base conceitual que muitas vezes é utilizada de forma imprecisa.

Perigos naturais são fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e que podem ocasionar sérios danos ao homem (UNDP, 2004).

A suscetibilidade é a intensidade ou escala de um determinado ambiente sofrer impacto frente a um perigo natural, sendo dada pelas suas condições físicas (UNDP, 2004).

Segundo ALCÁNTARA-AYALA (2002) a vulnerabilidade pode ser definida como sendo a propensão de um elemento sofrer perdas ou danos frente a um determinado tipo de perigo. Neste sentido, a vulnerabilidade depende da ameaça de um determinado perigo natural (suscetibilidade ou vulnerabilidade física) e da condição humana resultante de fatores sociais, econômicos, políticos e culturais (vulnerabilidade humana) (ALCÁNTARA-AYALA, 2002).

Já o risco é uma medida da probabilidade das conseqüências adversas ou das perdas esperadas de vidas, pessoas feridas, danos materiais e econômicos resultantes da interação entre os perigos naturais e as condições de vulnerabilidade (UNDP, 2004). Convencionalmente o risco é expresso pela relação funcional:

$$R = f(P, V) \tag{1}$$

onde,  $R$  é o risco,  $P$  é o perigo e  $V$  a vulnerabilidade.

Finalmente, o desastre natural, segundo a UNDP (2004) é: “uma séria ruptura desencadeada por um perigo natural causando perdas humanas, materiais, econômicas e ambientais que excedem a capacidade de resposta frente ao evento adverso”. A extensão de um desastre natural dependerá da intensidade e abrangência do perigo e da vulnerabilidade do sistema social impactado e da vulnerabilidade (UNDP, 2004).



Mapeamentos de suscetibilidade, apesar de não envolverem nenhuma probabilidade, indicam as áreas propensas à ocorrência de eventos naturais danosos ao homem, além de serem parte fundamental do processo de análise de risco (FELL & HARTFORD, 1997).

### **1.1.1 Perigos costeiros**

A zona costeira está sujeita a fenômenos que incluem eventos periódicos extremos, como furacões e ciclones extratropicais e processos contínuos tais como ventos, ondas e marés (DUPSDS, 2001). Devido à intensidade e abrangência destes fenômenos eles podem constituir um perigo ao sistema social costeiro.

Os eventos perigosos que periodicamente causam danos nas zonas costeiras são os ciclones tropicais e extratropicais. Ciclones tropicais proporcionam perigos costeiros com maior potencial catastrófico. Entre 1980 e 2000, 251.384 mortes foram associadas a este fenômeno atmosférico (COBURN, 2001). Acreditava-se, até há pouco tempo, que a costa brasileira não apresentava possibilidades de ocorrência de ciclones tropicais. Todavia, em março de 2004, um ciclone com características de furacão atingiu a costa sul do Brasil deixando diversos municípios em estado de calamidade pública.

Embora os ciclones extratropicais sejam bem menos intensos que os tropicais, eles geralmente são maiores, se movem lentamente e freqüentemente duram diversos dias, gerando ondas com alturas comparáveis às geradas por furacões e marés de tempestades que induzem processos erosivos que podem se estender por grandes áreas (DOLAN & DAVIS, 1992).

Os perigos costeiros também podem estar relacionados com as mudanças climáticas globais. Apesar de haver grandes incertezas em relação a estas ameaças, os boletins do Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (IPCC) apresentam expectativas plausíveis de que as temperaturas médias do ar devem aumentar 2,5°C, de que o nível do mar deve subir 61 cm durante o século 21, além da possibilidade de que as tempestades irão aumentar as freqüências e intensidades (EISMA, 1995; WATSON et al., 1997).

Os processos costeiros perigosos consistem de quatro componentes primários: vento, ondas, inundações e erosão (GARES et al., 1994). Estes componentes podem estar associados a eventos atmosféricos severos como os ciclones tropicais e extratropicais, e aqueles que estão associados a mudanças graduais ao longo do tempo, como a elevação do nível do mar (ARTHUTON, 1998).

O vento tem grande poder destrutivo, principalmente durante tempestades severas como ciclones tropicais e extratropicais e complexos convectivos. O vento atua diretamente nas estruturas causando perdas de materiais (principalmente telhas), destruição parcial ou total de edificações e quedas de árvores, postes, etc (MARCELINO et al., 2005).

As ondas também podem causar danos às propriedades tanto pelo impacto direto da pressão da água, quanto pelos impactos dos detritos nela presentes (GARES et al., 1994). As ondas podem vir de qualquer direção, sendo que esta dependerá da posição do sistema gerador em relação à linha de costa. De forma geral, a altura da onda na praia é função do tamanho da pista, da duração, direção e da intensidade do vento e do grau de exposição da praia.

Já as inundações costeiras são perigos que ocorrem quando o nível do mar é elevado acima de suas flutuações normais. Esta elevação pode ser causada por fatores que atuam em curta escala temporal, como marés de tempestade e tsunamis, ou por fatores que atuam em longas escalas temporais, como subsidência terrestre e aumento do nível do mar (SMITH, 2000).

No Brasil a principal causa das inundações costeiras é a maré de tempestade. O termo maré de tempestade (*storm surge*) é usado para a sobre-elevação do nível do mar associada a eventos de tempestade. Além de poder provocar inundações, ela aumenta o nível base de ataque das ondas, podendo causar sérios danos na costa. Ela resulta do transporte e da circulação induzida pelo cisalhamento de vento e por gradientes da pressão atmosférica (CARTER, 1988). Em geral as marés de tempestade são mais intensas quanto maior for a pista, a duração e a intensidade do vento sobre o oceano adjacente. A direção dos ventos também é importante, pois os ventos do quadrante sul empilham água na costa brasileira através do transporte de Ekman.

Apesar do vento ser a principal forçante, ele não é o único a determinar a elevação da maré de tempestade. O nível do mar é controlado pela complexa interação de ventos, pressão atmosférica, ondas, relevo local, batimetria adjacente, velocidade da trajetória, proximidade, duração e intensidade da tempestade na costa (CARTER, 1988).

Sobre-elevações excepcionais ocorrem durante tempestades intensas associadas a marés de sizígia (ocorre na lua nova ou cheia, quando a terra a lua e o sol estão alinhados, provocando marés astronômicas mais intensas). Durante tais eventos, a elevação do nível do mar causada pela maré de tempestade, somada aos níveis extremos de maré de sizígia, pode causar inundações severas nas comunidades costeiras (WHITEHOUSE & BURTON, 1999).

Por último, a erosão costeira é um perigo geomorfológico que resulta da complexa interação de ondas, nível do mar, correntes costeiras, balanço de sedimentos e geologia (KOMAR, 1983). As mudanças históricas da linha de costa podem variar entre altamente erosiva e altamente acresciva. Superpostas a estas tendências de longo termo, podem estar mudanças rápidas, como erosão extrema após uma tempestade severa. Durante tais eventos, as marés de tempestade, as ondas, e as precipitações podem ser muito intensas e altas. Quando associadas ainda a uma maré de sizígia os efeitos na costa podem ser desastrosos (WHITEHOUSE & BURTON, 1999). Para lidar com este tipo de problema, diversas abordagens têm sido usadas pela engenharia costeira, como a construção de estruturas rígidas de engenharia (muros de contenção, quebra-mares, espigões e molhes) e alimentação de praia. Todavia, a interferência muitas vezes tem levado a uma aceleração do processo erosivo, agravando ainda mais o problema ou transferindo o mesmo para outro lugar.

## **1.2 GEOINDICADORES**

Geoindicadores são usados em geociências desde a década de 70, sendo principalmente voltados para a avaliação de recursos minerais (FABBRI & PATRONO, 1995). Entretanto, segundo estes mesmos autores, nos últimos anos uma atenção especial tem sido dada para a avaliação de impactos ambientais e riscos geológicos.

Na literatura foram encontradas diversas terminologias para tais indicadores como: indicadores geoambientais (FABBRI & PATRONO, 1995), indicadores geomorfológicos (RIX, 1995) e geoindicadores (BERGER & IAMS, 1996; BUSH et al., 1999). Apesar das diferentes terminologias, conceitualmente elas são bastante similares. Uma definição recente para geoindicadores foi elaborada pela Cogeoenvironment, uma comissão da União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS) onde:

[...] geoindicadores são medidas (magnitudes, freqüências, taxas e tendências) de processos geológicos e fenômenos ocorrendo na superfície ou próximo dela e sujeitas a alterações que são significativas no entendimento das mudanças ambientais ao longo de períodos de 100 anos ou menos (BERGER & IAMS, 1996).

Para FABBRI & PATRONO (1995), um indicador geoambiental (IGA) é um componente geologicamente quantificável, sensível a mudanças no ambiente que são significativas ao homem para serem identificadas. Nesta abordagem devem ser consideradas: as unidades geoambientais (UGAs) e seus limites; a estrutura dos indicadores geoambientais (IGAs); as características do indicador; e os procedimentos de medição dos indicadores.

Considerando a definição de sistemas de BROWN et al. (1974) apud TAGLIANI (1997), as UGA podem ser definidas principalmente pelas diferenças entre os processos dominantes que as caracterizam. Segundo Tagliani (1997), tais processos são de natureza física (geológico-geomorfológico, climático, hidrológico, etc.), química (salinidade, pedogênese, flocculação, deposição, absorção, adsorção, etc.) e bio-ecológica (produção, estocagem, consumo, estrutura das comunidades, etc.). Assim sendo, os IGAs aplicam-se para UGAs específicas.

A estrutura dos indicadores geoambientais deve considerar: os tipos de indicadores, seus estados e suas mudanças de estado, a interdependência das mudanças naturais e induzidas, a dinâmica das mudanças, os valores dos limiares, a UGA e seu conjunto de indicadores e, finalmente, os índices associados (FABBRI & PATRONO, 1995).

Freqüentemente os geoindicadores são apresentados na forma de índices ambientais. De acordo com FABBRI & PATRONO (1995), índices ambientais

procuram simplificar a apresentação dos dados, agregando os valores dos indicadores individuais em um valor de índice.

Os geoindicadores também podem ser usados como uma alternativa para o estudo de perigos costeiros. Segundo BUSH et al. (1999) os geoindicadores podem servir de base para a avaliação imediata de riscos costeiros em locais que não dispõem de dados históricos adequados, assim como proporcionar rápidas atualizações para o monitoramento, gerenciamento e planos mitigatórios de riscos costeiros. Desta forma, eles fornecem um conjunto de técnicas qualitativas, quantitativas e/ou semi-quantitativas para uma rápida identificação de riscos potenciais (BUSH et al., 1999).

### **1.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE ESPACIAL**

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um conjunto poderoso de ferramentas para armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados do mundo real para um conjunto particular de propósitos (BURROUGH, 1998). O SIG, além de proporcionar a percepção visual da distribuição espacial de um determinado problema, ele é capaz de traduzir padrões existentes com considerações objetivas e mensuráveis (FUCKS et al., 2004). A análise espacial dentro do contexto do SIG visa fornecer um conjunto de ferramentas para mensurar relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita (FUCKS et al., 2004). Alguns exemplos de análises espaciais são: operações em atributos de entidades geográficas, álgebra de mapas, lógica difusa, interpolação, funções de densidade, análise em redes, consultas, integração de dados e exploração de dados (BURROUGH, 1998; FOTHERINGHAM et al., 2000). No presente trabalho as principais análises espaciais que foram realizadas são interpolação espacial, lógica difusa e álgebra de mapas.

#### **1.3.1 Interpolação Espacial**

A interpolação é uma técnica de análise espacial bastante utilizada em SIG. A interpolação espacial é o processo de estimação de um atributo em locais não medidos de um campo contínuo a partir de medições realizadas nos arredores (BURROUGH, 1998). Alguns exemplos de aplicações de interpolação são: as estimações de precipitação, de temperatura e de outros atributos onde não há

estações meteorológicas; a estimação da elevação do terreno de uma superfície a partir de curvas de nível ou pontos cotados; nas operações de reamostragem de imagens, entre outros (LONGLEY et al., 2005). Dois métodos de interpolação que são muito utilizados em SIG são o Método do Inverso do Quadrado da Distância (MIQD) e a Krigagem.

Segundo, LONGLEY et al. (2005) o MIQD é o método de interpolação mais freqüentemente utilizado em SIG. O MIQD é um método interpolação local, determinístico, pois parte do pressuposto que objetos que estão mais próximos uns dos outros tendem a serem mais parecidos do que aqueles que estão mais separados (BURROUGH, 1998). Assim, o valor de um atributo  $z$  em um ponto não visitado é uma média dos pontos que ocorrem em uma vizinhança, ou em uma janela, ao redor do ponto não visitado e ponderada com base nas distâncias (BURROUGH, 1998). No ArcGIS, o interpolador MIQD computa a seguinte fórmula:

$$\frac{\sum Z_i d_i^{-\text{decaimento}}}{\sum d_i^{-\text{decaimento}}} \quad (2)$$

onde, a soma é calculada sobre todos os pontos dentro da vizinhança da célula da grade e:  $Z_i$  é o valor  $z$  do ponto na vizinhança;  $d_i$  é a distância do centro da célula da grade até o ponto; e *decaimento* é o valor de decaimento especificado para as opções do MIQD (ESRI, 2004). O *software* avalia diversos valores de decaimento ideal a partir da validação cruzada, onde o valor de cada ponto medido é removido e é comparado com o valor estimado para aquele local. Desta forma, o valor de decaimento utilizado é aquele que apresenta o menor erro (ESRI, 2004).

Dos métodos de interpolação a krigagem é o mais convincente por estar baseado em princípios teóricos mais complexos (LONGLEY et al., 2005). É um método de interpolação geoestatística que busca otimizar a interpolação dividindo a variação espacial em três componentes: um componente estrutural, com uma média constante ou tendência; um componente espacialmente autocorrelacionado, mas fisicamente difícil de explicar; e o ruído espacialmente não correlacionado (BURROUGH, 1998). Segundo EINAX & SOLDT (1999), os valores não medidos são estimados através da seguinte fórmula:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (3)$$

onde:  $z^*(x_0)$  é a estimativa do valor desconhecido  $z(x_0)$ , e  $\lambda_i$  são os pesos dos pontos vizinhos conhecidos  $z(x_i)$ .

A krigagem difere do MIQD, pois os pesos são baseados não apenas na distância entre os pesos medidos e da localização do valor previsto, mas também da autocorrelação espacial dentre os pontos medidos (ESRI, 2004). Assim, o peso  $\lambda_i$  depende do modelo ajustado para os pontos medidos, da distância da localização de estimação, e dos relacionamentos espaciais dentre os valores medidos ao redor da localização do valor estimado (ESRI, 2004).

### 1.3.2 Lógica Difusa

A incerteza é inevitável em dados e modelos marinhos e costeiros e a forma com esta incerteza deve ser manejada é uma consideração importante que os usuários de SIG devem ter (BRUCE, 2004). Segundo este mesmo autor, uma das abordagens inovadoras que vem sendo empregada na modelagem de ambientes costeiros e marinhos e que lida diretamente com a questão de incertezas é a lógica difusa.

A lógica difusa é baseada na teoria dos conjuntos difusos. Ela utiliza o conceito da possibilidade admitida em que um determinado elemento é permitido pertencer parcialmente a um conjunto. Em conjuntos booleanos convencionais são permitidas apenas funções de pertencimento binárias (i.e. Verdadeiro ou Falso). Conjuntos difusos, entretanto, admitem a possibilidade de pertencimento parcial, de modo que eles são generalizações de conjuntos booleanos para situações onde os limites das classes não são, ou não podem ser bem definidos (BURROUGH, 1998).

Em conjuntos booleanos todos os membros combinam com o conceito da classe e seus limites são bem definidos. Segundo BURROUGH (1998), o grau ao qual uma observação individual  $z$  é um membro de um conjunto é expressa pela *função de pertencimento*  $FP^B$ , sendo que ele pode levar o valor 0 ou 1. Esta função pode ser expressa da seguinte forma:

$$FP^B(z) = 1 \quad \text{se } b_1 \leq z \leq b_2$$

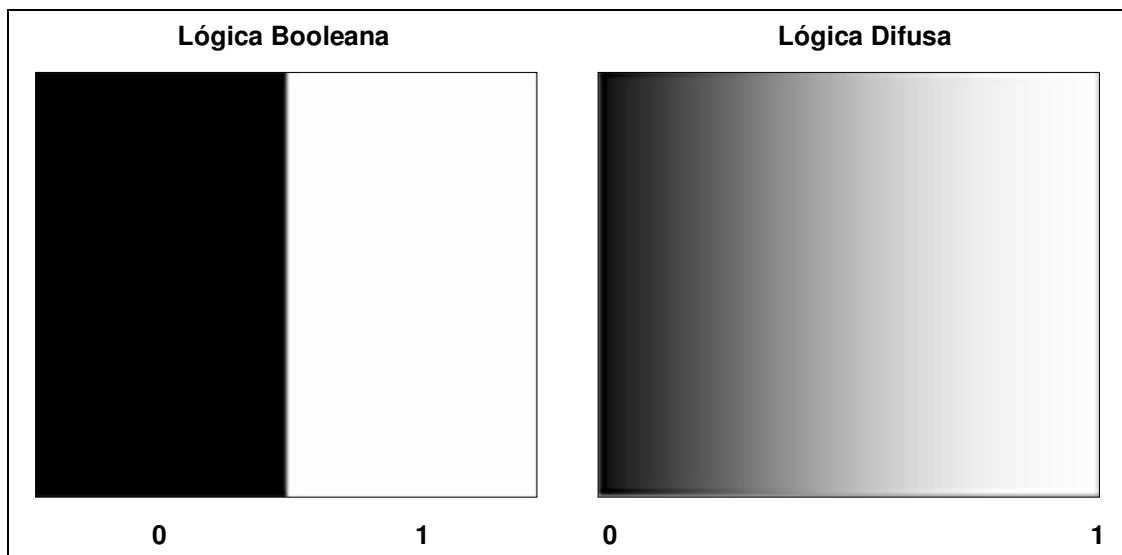
$$FP^B(z) = 0 \quad \text{se } z < b_1 \text{ ou } z > b_2, \quad (4)$$

onde  $b_1$  e  $b_2$  definem os limites do conjunto  $A$ .

Em conjuntos difusos, a função de pertencimento pode ser definida matematicamente da seguinte forma: se  $Z$  denota um espaço de objetos, então a função difusa de um conjunto  $A$  em  $Z$  é o conjunto de pares ordenados

$$A(z, MF_A^F(z)) \quad \text{para todo } z \in Z, \quad (5)$$

onde a função de pertencimento  $MF_A^F(z)$  é conhecida como o grau de pertencimento de  $z$  em  $A$  (BURROUGH, 1998). Geralmente  $MF_A^F(z)$  é um valor que varia entre 0 e 1, onde 1 significa pertencimento total e 0, não-pertencimento. Quanto mais próximos os valores forem de 1, maior é o grau de pertencimento do elemento no conjunto. Na FIGURA 1 estão representadas uma imagem de um conjunto booleano e uma imagem de um conjunto difuso.



**FIGURA 1** Imagens de conjuntos booleanos e de conjuntos difusos.

Em conjuntos difusos a função de pertencimento não é definida com base na estatística probabilística, mas sim da possibilidade admitida. A avaliação da possibilidade pode ser baseada em conhecimentos subjetivos, intuitivos (especialista) ou em preferências, porém, ela também pode estar relacionada com



incertezas claramente definidas e que possuem uma base na teoria da probabilidade (BURROUGH, 1998).

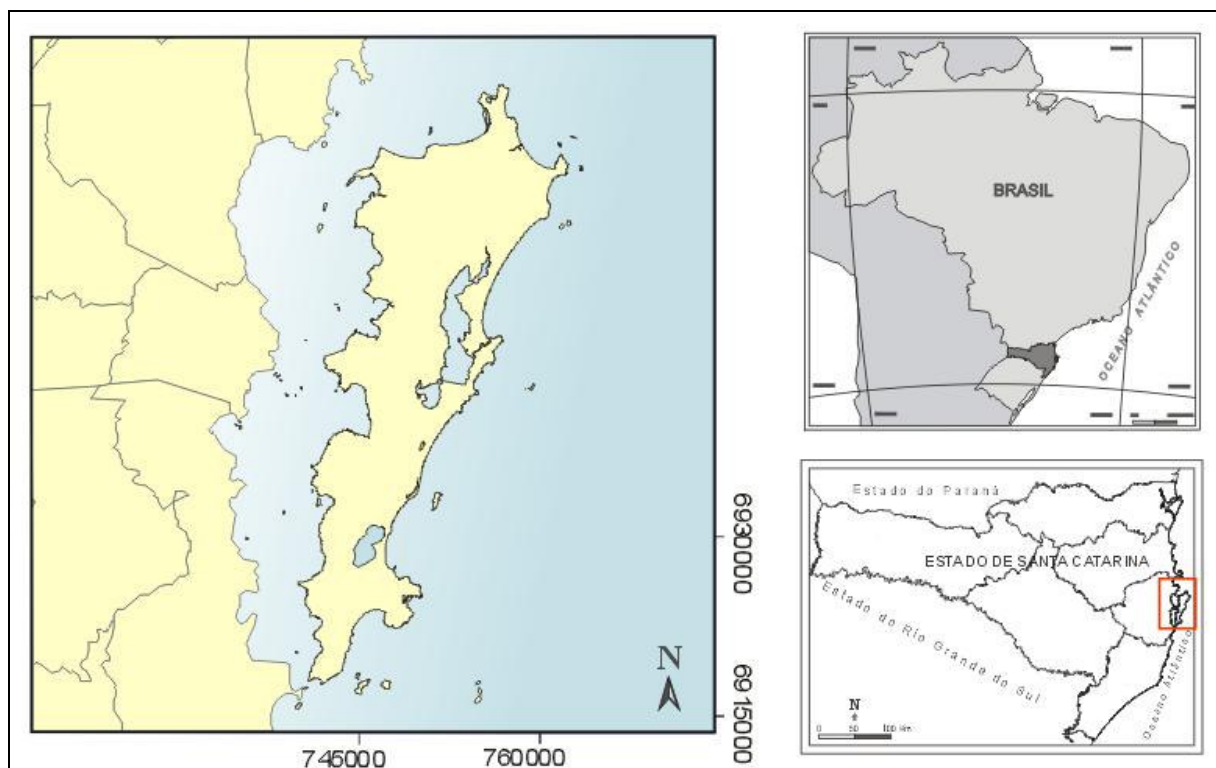
### 1.3.3 Álgebra de Mapas

O método pelo qual notações algébricas são usadas para operar dados de uma grade como se fossem números é chamado de álgebra de mapas e o procedimento da utilização de técnicas algébricas para construir modelos para análises espaciais é chamado de modelagem cartográfica (BURROUGH, 1998).

Este tipo de análise é possível realizar em dados raster, pois a estrutura dos dados os tornam fáceis de modelar. Como os atributos com representação raster são separados em planos de informações individuais, é possível realizar operações matemáticas com um ou mais atributos de uma mesma célula. Atualmente, as extensões de programação e a funcionalidade na construção de *scripts* nos *softwares* de SIG tem tornado muito mais fácil realizar tais operações (BRIMICOMBE, 2003). Desta forma, as operações em imagens raster constituem uma ferramenta poderosa para a modelagem de dados espaciais.

## 2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Ilha de Santa Catarina está localizada no litoral Central do Estado de Santa Catarina entre as latitudes 27°22' e 27°50' sul e as longitudes 48°20' e 48°35' oeste (FIGURA 2). Possui 399km<sup>2</sup> de área, 174,3 km de perímetro e 126 praias (DIEHL et al., 1997). Por estar na região sul do Brasil, ela apresenta um clima mesotérmico superúmido do tipo temperado (NIMER, 1979) e regime de micromarés, estando sujeita a tempestades casadas por sistemas frontais, ciclones extratropicais e complexos convectivos de mesoescala.



**FIGURA 2 - Localização da área de estudo.**

Devido a sua localização geográfica, a Ilha de Santa Catarina está sujeita aos quatro perigos costeiros mencionados anteriormente: vento, ondas, inundação costeira e erosão (BARLETTA, 2000; CALLIARI et al., 1996; DILLEMBURG & KUCHLE, 1999; KLEIN et al., 1999; MELO, 2002).

Os vendavais que ocorrem nesta região estão associados aos complexos convectivos de mesoescala e aos ciclones extratropicais. Entretanto um furacão, conhecido como Furacão Catarina, também atingiu a costa sul catarinense em março de 2004, com ventos extremamente intensos (aproximadamente 180 km/h),

deixando diversos municípios em estado de calamidade pública (MARCELINO et al., 2005).

As inundações costeiras são causadas principalmente por marés de tempestade (*storm surges*), embora algumas cidades como Florianópolis e Joinville também sofram inundações por marés astronômicas extremas. Todavia, freqüentemente as inundações costeiras são causadas pela interação de ambas.

As marés de tempestade ainda são pouco estudadas no Brasil. Alguns estudos foram realizados por CALLIARI & PEREIRA DA SILVA (1998), TRUCCOLO (1998) e MARONE & CAMARGO (1994). Segundo CALLIARI & PEREIRA DA SILVA (1998), elas são mais freqüentes no outono e inverno, podendo ultrapassar 2 m.

A costa sul do Brasil também está suscetível a ondas altas. ARAUJO et al. (2003), analisando dados de um ano do ondógrafo instalado a 80 m de profundidade ao sul da Ilha de Santa Catarina, caracterizaram cinco sistemas de ondas distintos na costa Catarinense. Dois deles estão associados à passagem de sistemas frontais, com ondas com período de 4-5 s de nordeste na fase pré-frontal, se desenvolvendo para um mar bem desenvolvido de sul com ondas de 5-7.5 s na fase pós-frontal. As maiores ondulações ocorrem no outono e no inverno, entretanto, ondas grandes, com altura significativa ( $H_s$ )  $\geq 4.0$  m são presentes em todas as estações do ano. No outono o valor modal de  $H_s$  é de 1.5 m e no inverno o  $H_s$  varia de 1.25 a 2.5 m.

Em relação à erosão costeira na Ilha de Santa Catarina, estudos foram feitos por ABREU DE CASTILHOS & CORREA (1991); ALMEIDA et al. (1991), ALMEIDA et al. (1991), DIEHL et al. (1997), HORN FILHO et al. (1999 e 2001) e LEAL et al. (1998). A maioria destes trabalhos indica processos erosivos que vêm ocorrendo ao longo dos anos. Todavia, processos erosivos intensos que podem ser observados em escalas temporais menores, como aqueles que ocorrem durante tempestades extratropicais, ainda são pouco estudados. Durante tais eventos, a ação conjunta de ondas, correntes longitudinais e de retorno e marés de tempestade e de sizígia podem erodir grandes volumes de areia das dunas e praias. Algumas iniciativas neste contexto foram feitas por TORRONTEGUY & HORN FILHO (2002).

Uma das primeiras iniciativas no estudo de perigos costeiros na Ilha de Santa Catarina foi a monografia de conclusão de curso de SIMÓ (2003). Ele realizou um levantamento das ressacas que causaram danos na Ilha de Santa Catarina no período de 1991 à 2001 e buscou identificar o grau de risco nas áreas urbanizadas de 22 praias da ilha. Neste levantamento ele verificou a ocorrência de 18 episódios de ressaca que provocaram danos nas praias da ilha. Das praias analisadas, seis foram classificadas como sendo de risco alto, onze com risco médio e cinco com risco baixo. Todavia, a metodologia utilizada foi qualitativa e baseada em critérios subjetivos não claramente definidos. Além disso, a avaliação de risco não envolveu um cálculo da probabilidade de sofrer danos ou perdas, fundamentais para a avaliação, segundo a definição de UNDP (2003). Não obstante, seu trabalho representa uma importante contribuição para o estudo de perigos costeiros na Ilha de Santa Catarina.

Assim sendo, a Ilha de Santa Catarina se mostra um sistema favorável para o estudo da suscetibilidade a erosão e inundação durante eventos de tempestade, tanto pela presença destes perigos costeiros, quanto pela disponibilidade de informações a respeito de processos costeiros atuantes. Para a presente pesquisa foram escolhidas quatro praias: a Praia da Armação, a Praia dos Ingleses, a Praia Morro das Pedras e a Praia Pântano do Sul. Estas praias apresentam algum tipo de suscetibilidade à erosão costeira (SIMÓ, 2003). Além disso, apresentam características geológicas e geomorfológicas distintas, estando sujeitas a diferentes graus de exposição a ondulações e, conseqüentemente, a diferentes condicionantes morfodinâmicos. Estas praias foram alvo de estudos de morfodinâmica de praia em quatro dissertações de mestrado (ABREU DE CASTILHOS, 1995; FARACO, 2003; OLIVEIRA, 2004; TORRONTÉGUY, 2002). Desta forma, como este trabalho é uma proposta metodológica, estas informações foram úteis durante o processo de avaliação do método. A seguir serão apresentadas as principais características das praias que foram estudadas.

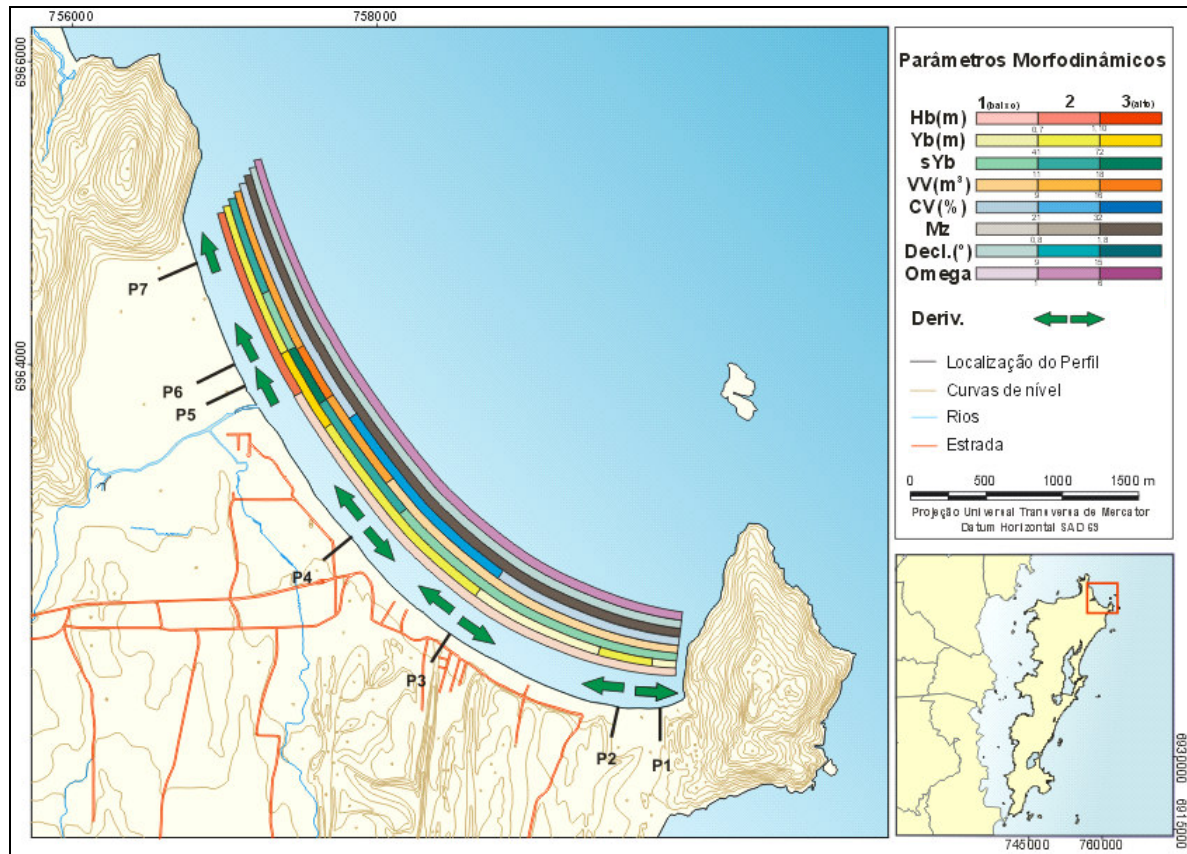
## **2.1 PRAIA DOS INGLESSES**

A Praia dos Ingleses é delimitada por dois promotórios rochosos: o Granitóide Paulo Lopes a sudeste e o Granito Ilha a nordeste. A planície costeira é

caracterizada por cordões litorâneos, pelo campo de dunas das Aranhas e por cordões de dunas pequenas nos extremos sudeste e nordeste da praia.

Na FIGURA 3 estão espacializados os principais parâmetros morfodinâmicos que foram monitorados por FARACO (2003). Os parâmetros foram classificados em três classes distintas, com base nos valores máximos e mínimos calculados a partir do monitoramento de perfis de diversas praias da Ilha de Santa Catarina. Foram considerados os monitoramentos realizados por ABREU DE CASTILHO (1995), FARACO (2003), LEAL (1999), OLIVEIRA (2004) e TORRONTEGUY (2002), para as respectivas Praias da Armação, Praia dos Ingleses, arco praial Moçambique – Barra da Lagoa, Praia Pântano do Sul e arco praial Joaquina – Morro das Pedras, conforme mostra o ANEXO. Assim sendo, a praia apresenta: energia de onda moderada, no setor norte, e baixa, nos setores central e sul; largura de praia pequena no setor sudeste, larga na desembocadura do rio e média nos demais setores; e é predominantemente intermediária.

A Praia dos Ingleses é uma praia bastante urbanizada, sendo que diversos prédios e construções encontram-se à beira-mar, estando suscetível à ação direta das ondas, principalmente durante as lestadadas. Segundo SIMÒ (2003) todo o setor urbanizado da praia tem alto risco de sofrer danos por ondas e marés de tempestades.



**FIGURA 3 - Localização da Praia dos Ingleses.**

Hb – altura significativa de onda em metros; Decliv. – declividade média da face praial em graus; Yb – largura média da praia em metros;  $\sigma_{Yb}$  – desvio padrão de Yb; CV% - coeficiente de variação da linha de costa; Vv – variação do volume médio da porção subaérea da praia  $\Omega$  - parâmetro adimensional ômega; e Deriv – sentido dominante da deriva litorânea.

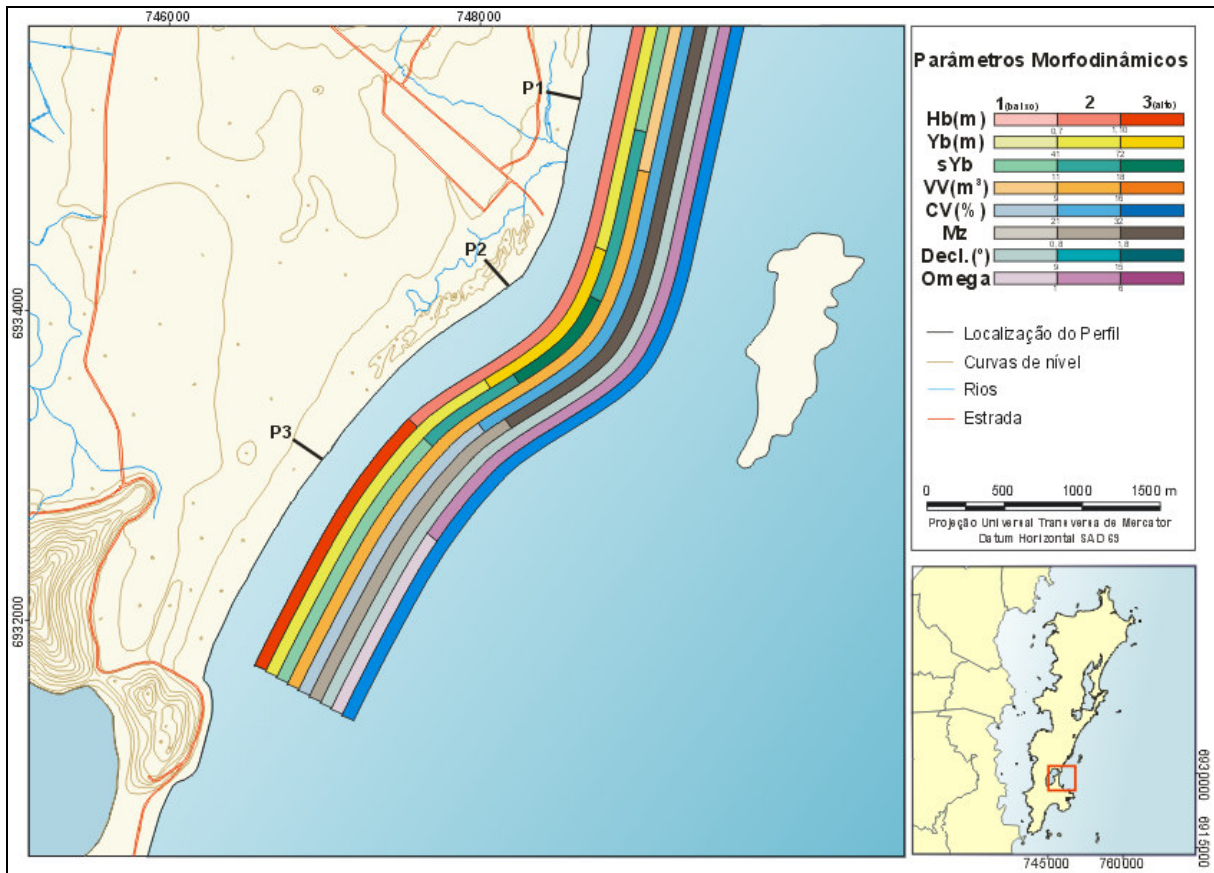
## 2.2 PRAIA MORRO DAS PEDRAS

A Praia Morro das Pedras se estende desde o costão do Morro das Pedras ao sul, até o pontal do Campeche, ao norte, com cerca de 3.400 m. Este pontal se forma na altura da Ilha do Campeche, devido à zona de sombra gerada pela Ilha (FIGURA 4).

Entre março de 2000 e abril de 2001 TORRONTEGUY (2002) monitorou cinco perfis ao longo do sistema praial Joaquina - Morro das Pedras. Os principais parâmetros morfodinâmicos dos 3 perfis mais ao sul estão especializados na FIGURA 4. O setor sul, onde está situada a área de estudo foi caracterizado como sendo de alta energia de onda e apresentado largura de praia e variação do volume médio intermediário e características reflectivas.

O setor sul também é caracterizado pela presença de ocupação residencial bem próximo da praia, estando exposto principalmente às ondulações de leste e

sudeste. De acordo com SIMÓ (2003) este setor foi classificado com sendo de baixo risco.



**FIGURA 4 - Localização da Praia Morro das Pedras.**

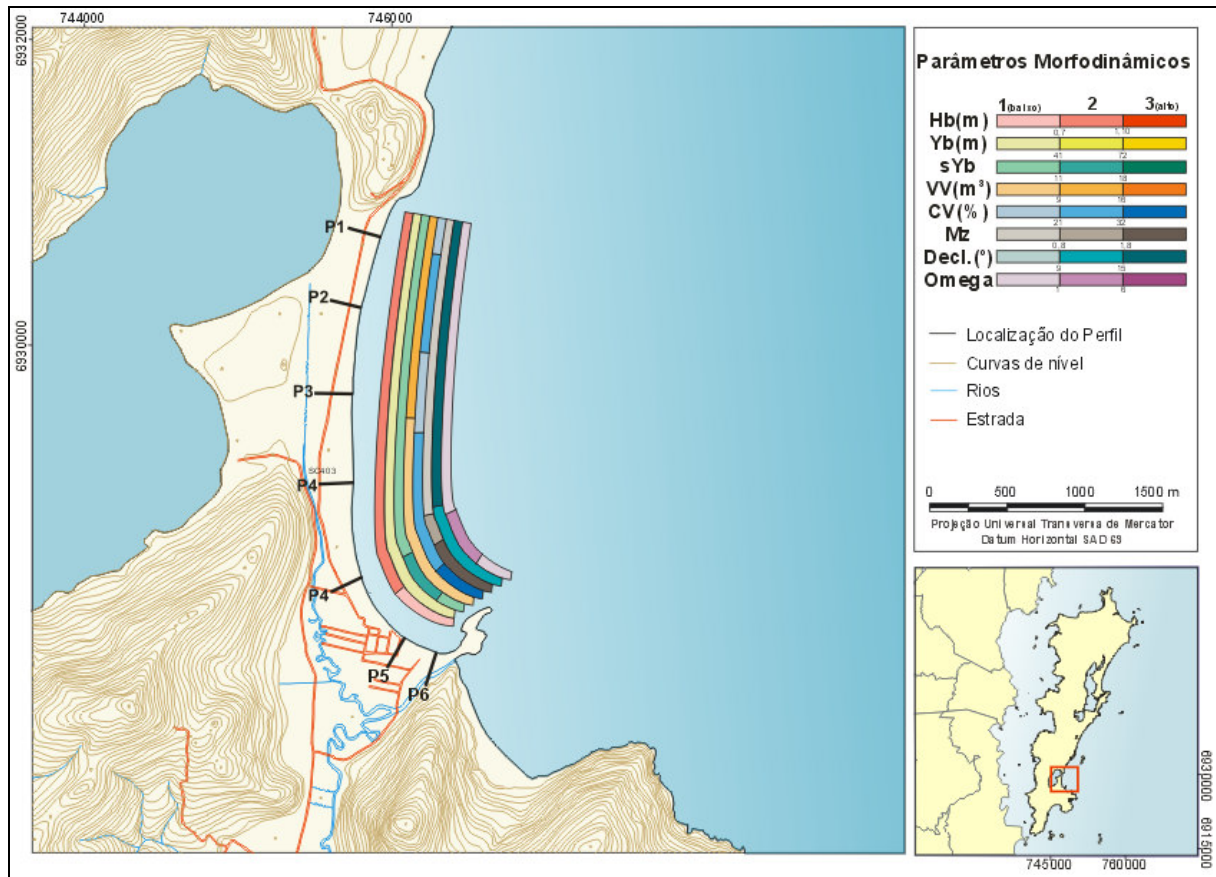
Hb – altura significativa de onda em metros; Decliv. – declividade média da face praial em graus; Yb – largura média da praia em metros;  $\sigma_{Yb}$  – desvio padrão de Yb; CV% - coeficiente de variação da linha de costa; Vv – variação do volume médio da porção subaérea da praia  $\Omega$  - parâmetro adimensional ômega.

### 2.3 PRAIA DA ARMAÇÃO

A Praia da Armação é um arco praial em forma de espiral, com 3,2 km de extensão, sendo limitada ao norte pela Ponta Morro das Pedras ao norte e pela Ponta das Campanhas ao sul (ABREU DE CASTILHOS, 1997) (FIGURA 5).

ABREU DE CASTILHOS (1995) monitorou cinco perfis na Praia da Armação e os principais parâmetros morfodinâmicos obtidos neste monitoramento estão espacializados na FIGURA 5. No setor sul a praia é de baixa energia de onda, de granulometria fina, apresenta um alto coeficiente de variação de linha de costa (CV), mas uma variação do volume médio (Vv) baixo, com predomínio do estágio morfodinâmico intermediário. Nos demais setores praia apresenta uma maior variação nas características, todavia, de uma forma geral a praia é de energia de

onda média, a granulometria aumenta em direção ao norte e apresenta características predominantemente reflectivas.



**FIGURA 5 - Localização da Praia da Armação.**

Hb – altura significativa de onda em metros; Decliv. – declividade média da face praial em graus; Yb – largura média da praia em metros;  $\sigma Yb$  – desvio padrão de Yb; CV% - coeficiente de variação da linha de costa; Vv – variação do volume médio da porção subaérea da praia  $\Omega$  - parâmetro adimensional ômega.

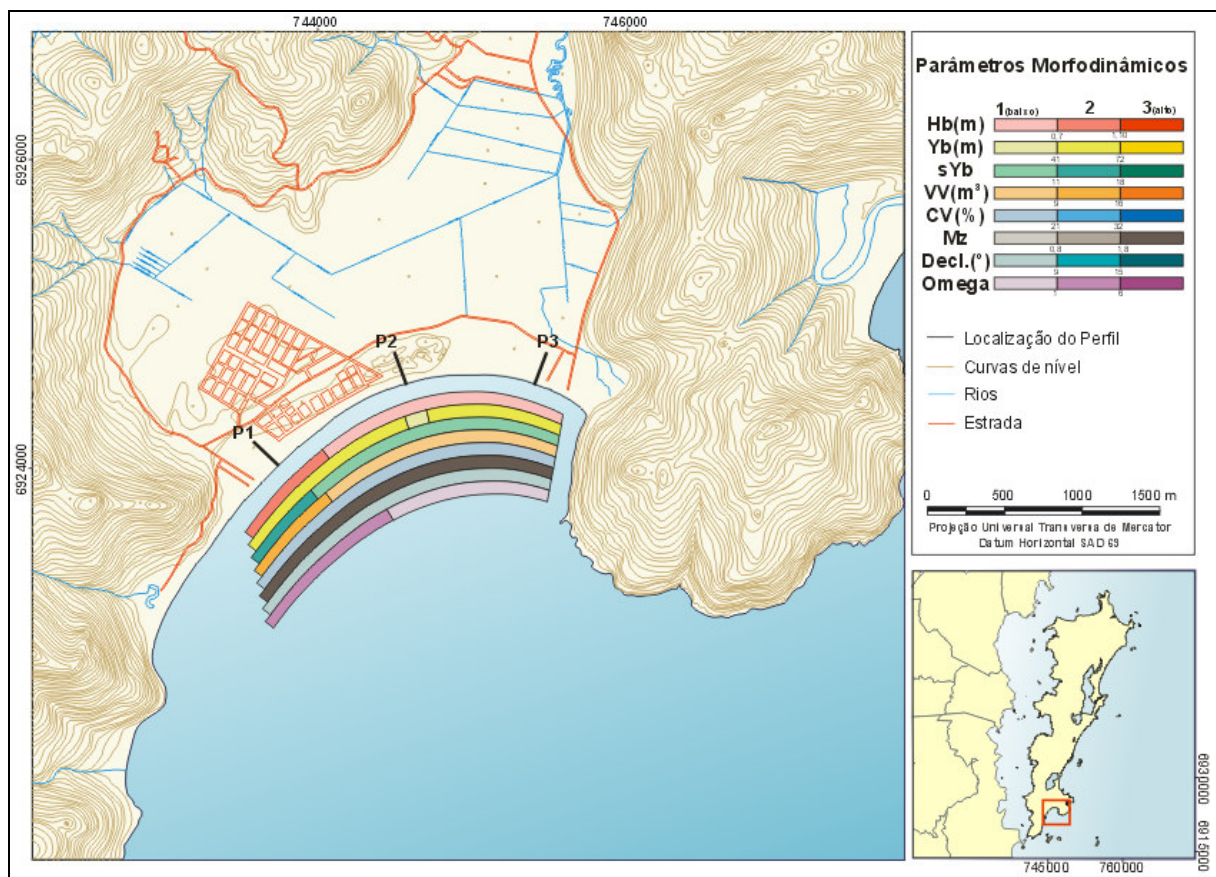
O setor sul, classificado por SIMÓ (2003) como de alto risco, é o mais ocupado, com casas, bares, muros e rampas construídas na praia. O restante da praia não é urbanizado, com exceção do setor central, onde algumas casas estão construídas à beira-mar. Segundo ABREU DE CASTILHOS & GRÉ (1997) a praia é erosiva ao longo de todo arco, sendo que no setor sul a taxa de erosão é mais acentuada, onde foi verificada taxa de erosão de 0,5 m/ano com base em fotointerpretação.

## 2.4 PRAIA PÂNTANO DO SUL

A Praia Pântano do Sul, em conjunto com a Praia dos Açores, formam um arco praial voltado para o sul (FIGURA 6). Todavia, a presença das Ilhas Moleques, Irmãs Pequena, do Meio e de Fora e do costão leste, fazem com que este arco seja



protegido de grandes ondulações, principalmente no setor leste, onde está a Praia Pântano do Sul. Segundo OLIVEIRA (2004), este setor apresenta baixa energia de onda (Altura Significativa de Onda = 0,23 e a praia é predominantemente intermediária ( $\Omega = 1,37$ ) (FIGURA 6). Apesar de ser relativamente protegida, a ocupação urbana está muito próxima da orla marítima, não havendo dunas frontais que poderiam proteger as edificações durante tempestades severas. Assim, durante frentes frias intensas ou ciclones extratropicais, freqüentemente ocorrem prejuízos devido ao avanço do mar sobre as edificações (SIMÓ, 2003). Segundo este mesmo autor, a praia Pântano do Sul foi classificada como sendo de alto risco.

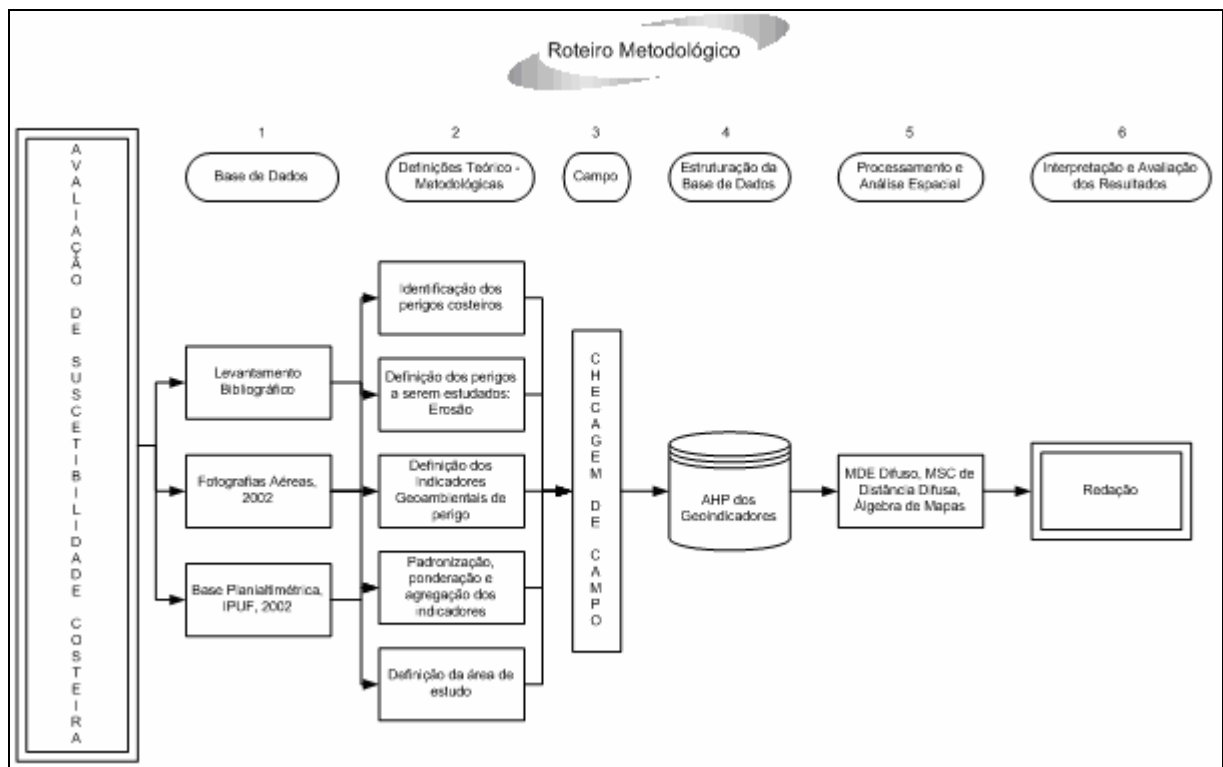


**FIGURA 6 - Localização da Praia Pântano do Sul**

Hb – altura significativa de onda em metros; Decliv. – declividade média da face praiar em graus; Yb – largura média da praia em metros;  $\sigma_{Yb}$  – desvio padrão de Yb; CV% - coeficiente de variação da linha de costa; Vv – variação do volume médio da porção subaérea da praia  $\Omega$  - parâmetro adimensional ômega.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado mediante seis etapas distintas: 1) levantamento da base de dados; 2) definições teórico-metodológicas; 3) checagem de campo; 4) estruturação da base de dados em um ambiente SIG; 5) processamento e análise de dados; e finalmente 6) redação e interpretação dos resultados. Estas etapas estão descritas nos itens seguintes e representadas no fluxograma da FIGURA 7.



**FIGURA 7 - Roteiro Metodológico.**

#### 3.1 LEVANTAMENTO DA BASE DE DADOS

Esta etapa consistiu basicamente nos levantamentos bibliográfico e cartográfico. O levantamento bibliográfico foi feito junto às bibliotecas da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da Universidade de São Paulo (USP) e pela Internet. Já o levantamento cartográfico foi feito junto ao Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) onde foram adquiridas fotografias aéreas e bases planialtimétrica de 2002. O levantamento aéreo que serviu de base para a elaboração das cartas planialtimétricas foi realizado em escala 1:8.000 e restituído para escala 1:2.000.

## 3.2 DEFINIÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS

### 3.2.1 Geoindicadores

Os geoindicadores foram previamente selecionados a partir de um conjunto proposto por BUSH et al. (1999) e COBURN (2001) e adaptados para a avaliação da suscetibilidade a erosão durante tempestades extratropicais intensas nas praias da costa leste da Ilha de Santa Catarina. A matriz dos geoindicadores está representada no QUADRO 1.

QUADRO 1 - Geoindicadores de suscetibilidade.

<b>Categoria</b>	<b>Peso</b>	<b>Indicador Geoambiental</b>	<b>Peso</b>	<b>Pontuação norm.</b>	<b>Atributo do indicador</b>	<b>Peso</b>	<b>Pontuação</b>
<b>Linha de Costa</b>	0,9	Taxa de erosão (QUADRO 2)	0,3	0,27	Erosão severa	10	<b>2,700</b>
					Erosão	5	1,350
					Acreção	1	0,270
		Altura da duna frontal	0,2	0,18	< 2	10	<b>1,800</b>
					= 2	5	0,900
					> 2	1	0,180
		Estado da Duna Frontal	0,1	0,09	Escarpada	10	<b>0,900</b>
					Sem escarpas	5	0,450
		Tipo de duna frontal	0,1	0,09	Alterada	10	<b>0,900</b>
					Natural	5	0,450
		Vegetação da duna frontal	0,1	0,09	Ausente	10	<b>0,90</b>
					Presente	5	0,450
					Estabelecida	1	0,090
		Energia de onda	0,05	0,045	Alta	10	<b>0,450</b>
					Média	5	0,225
Baixa	1				0,045		
Largura da praia seca	0,1	0,09	< 11 m	10	<b>0,900</b>		
			> 11 m e < 18 m	5	0,450		
			> 18	1	0,090		
Estruturas de engenharia	0,05	0,045	Diversas	10	<b>0,450</b>		
			Poucas	5	0,225		
			Ausentes	1	0,045		
<b>Interior</b>	0,1	Estado da duna interior	1	0,1	Duna removida ou ausente	10	<b>1,000</b>
					Descontínua c/ vegetação	5	0,500
					Alta, bem desenvolvida	1	0,050
<b>Pontuação Total</b>							<b>10,000</b>

Esta matriz contém as categorias de geoindicadores; os pesos de cada categoria; os geoindicadores; os pesos de cada geoindicador; a pontuação normalizada; os atributos de cada geoindicador; os pesos de cada atributo; e finalmente a pontuação. Os pesos das categorias e dos geoindicadores foram

atribuídos tendo como base os pesos atribuídos por COBURN (2001), porém, adaptando às características das praias leste da Ilha de Santa Catarina sujeitas à erosão durante tempestades extratropicais. A pontuação normalizada foi obtida pela multiplicação do peso do geoindicador pelo peso de sua categoria. Já a pontuação foi obtida pelo produto da pontuação normalizada e do peso do atributo. Finalmente, a pontuação total foi obtida pela soma das pontuações dos geoindicadores. A soma das pontuações máximas de cada geoindicador resulta numa pontuação máxima de 10,0.

Os indicadores foram agrupados em duas categorias com pesos distintos: Linha de Costa (0,9), e Interior (0,1). Os atributos do indicador de taxa de erosão foram classificados com base no QUADRO 2. Os índices de suscetibilidade foram divididos em cinco classes: *Suscetibilidade Muito Alta* (8-10); *Suscetibilidade Alta* (6-8); *Suscetibilidade Moderada* (4-6); e *Suscetibilidade Baixa* (2-4); *Suscetibilidade Muito Baixa* (<2).

QUADRO 2 - Lista de geoindicadores suplementares para avaliação dos principais geoindicadores de mudança da linha de costa.

<b>Erosão severa</b>	Dunas ausentes com leques de sobrelavagem freqüentes
	Escarpamento ativo de falésias ou remanescentes de dunas por ondas
	Canais de marés expostos na zona de surf
	Vegetação ausente
	Estruturas construídas pelo homem na orla e que agora estão no pós-praia, na face praial, praia média ou antepraia
	Escarpamento da praia evidente
<b>Erosão</b>	Dunas escarpadas ou fragmentadas
	Turfa, lama ou pedaços de árvore expostos na praia.
	Praia estreita ou ausência de praia seca
	Vegetação efêmera ou derrubada ao longo da linha da escarpa
<b>Acresção ou estabilidade de longo termo</b>	Dunas e cristas praias robustas, sem rupturas, vegetadas.
	Praia larga com berma bem desenvolvida
	Leques de sobrelavagem ausentes
	Vegetação bem desenvolvida de restinga no interior, arbustos de duna e gramínea pioneira.

Fonte: Adaptado de BUSH et al. (1999).

Os indicadores largura média de praia ( $Y_b$ ) e energia de onda ( $H_b$ ) do QUADRO 1 são os únicos que não foram medidos diretamente em campo. Como estes indicadores podem variar muito ao longo do tempo em função das condições meteorológicas e oceanográficas, optou-se por utilizar os parâmetros calculados a partir de perfis monitorados mensalmente por ABREU DE CASTILHO (1995), LEAL (1999), TORRONTEGUY (2002), FARACO (2003) e OLIVEIRA (2004) para as

respectivas Praias da Armação, arco praiial Moçambique – Barra da Lagoa, arco praiial Joaquina – Morro das Pedras, Praia dos Ingleses e Praia Pântano do Sul.

Os parâmetros foram classificados em três classes distintas, com base nos valores máximos e mínimos calculados a partir do monitoramento dos perfis praiiais mencionados acima. Apesar de estes perfis praiiais terem sido monitorados em anos diferentes, os monitoramentos tiveram duração de 9 a 14 meses, sendo, portanto considerados mais representativos para a avaliação de suscetibilidade do que um levantamento único durante a checagem de campo. Ressalta-se que todos os perfis foram monitorados com nível e estádia, seguindo o método descrito por BIRKMEIER (1984) e a altura significativa de onda calculada a partir de observações visuais, seguindo a metodologia de MELO FILHO (1991).

A fim de espacializar os parâmetros ao longo da praia, os valores não amostrados entre dois perfis foram estimados de forma visual, seguindo uma tendência linear. Estes indicadores, assim como outros parâmetros morfodinâmicos estão representados nas FIGURAS 3, 4, 5 e 6.

### **3.3 CHECAGEM DE CAMPO**

Para a identificação dos geoindicadores foram realizadas saídas de campo na Praia Morro das Pedras (9 de maio de 2004), na Praia Pântano do Sul (26 de janeiro de 2005), na Praia dos Ingleses (2 de fevereiro de 2005), e na Praia da Armação (7 de fevereiro de 2005).

Os pontos foram identificados e posicionados com um GPS Garmin que possui precisão em torno de 7 a 11 m. Com o intuito de minimizar o erro de posicionamento, cada ponto teve sua posição corrigida em relação à linha de costa a partir da fotografia aérea restituída. Neste trabalho a base das dunas frontais foi considerada como sendo a linha de costa.

Nas Praias Morro das Pedras e Pântano do Sul os geoindicadores foram avaliados somente nas áreas onde a ocupação urbana estava próxima à orla. Já nas Praias dos Ingleses e Armação a avaliação foi realizada em toda a extensão das praias. Durante a checagem, cada novo ponto era obtido assim que se notasse

alguma variação notável das características avaliadas. Desta forma, os pontos foram amostrados irregularmente ao longo da linha de costa.

Posteriormente, foram visitados alguns setores mais suscetíveis durante ou após eventos erosivos intensos, como os ciclones de 26 de maio e 4 de junho de 2004, e o ciclone de 5 agosto de 2005 para verificar a ocorrência de possíveis efeitos adversos nas respectivas áreas.

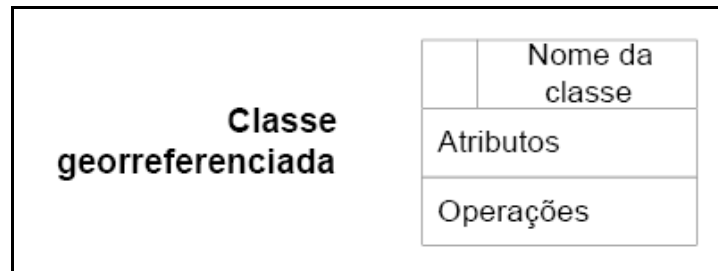
### **3.4 ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS EM UM SIG**

As principais fontes de dados que foram incorporados ao SIG são: fotografias aéreas; cartas planialtimétricas do IPUF e os índices dos geoindicadores.

Os planos de informação curvas de nível, pontos altimétricos, rios, estradas, quadras de esporte, edificações, cercas e muros foram separados e integrados ao SIG no *software* ArcGis. Para a altimetria, foram atribuídas as cotas das respectivas curvas de nível e dos pontos altimétricos até a elevação de 15 m, sendo eliminadas aquelas com valores superiores.

### **3.5 ANÁLISE E PROCESSAMENTO**

A análise e o processamento dos dados foram modelados com base no OMT-G (Modelo de Dados Orientado a Objetos para Aplicações Geográficas) com o intuito de organizar e estruturar as etapas dos processamentos que foram realizados durante a avaliação da suscetibilidade. O modelo OMT-G é um diagrama de classes que fornece subsídios para modelar a geometria e a topologia de dados espaciais, suportando diferentes estruturas topológicas, visões múltiplas de objetos e relacionamentos espaciais (DAVIS et al., 2002). O modelo também permite que atributos alfanuméricos sejam especificados, bem como os métodos associados a cada classe (DAVIS et al., 2002). As classes georreferenciadas são representadas através de pictogramas onde são definidos o nome da classe, os atributos da classe e as operações. (FIGURA 8)

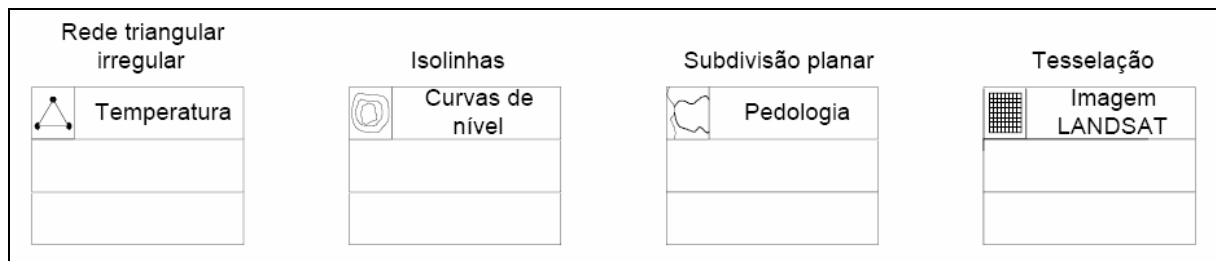


**FIGURA 8 - Notação Gráfica para as classes do modelo.**

Fonte: Modificado de DAVIS (2000).

O OMT-G é modelado com base nas classes, nos relacionamentos e nas restrições de integridade espacial. São as classes e os relacionamentos que definem as primitivas básicas do modelo. As classes representam os três principais grupos de dados que podem ser encontrados em dados geográficos: contínuos, discretos e não espaciais.

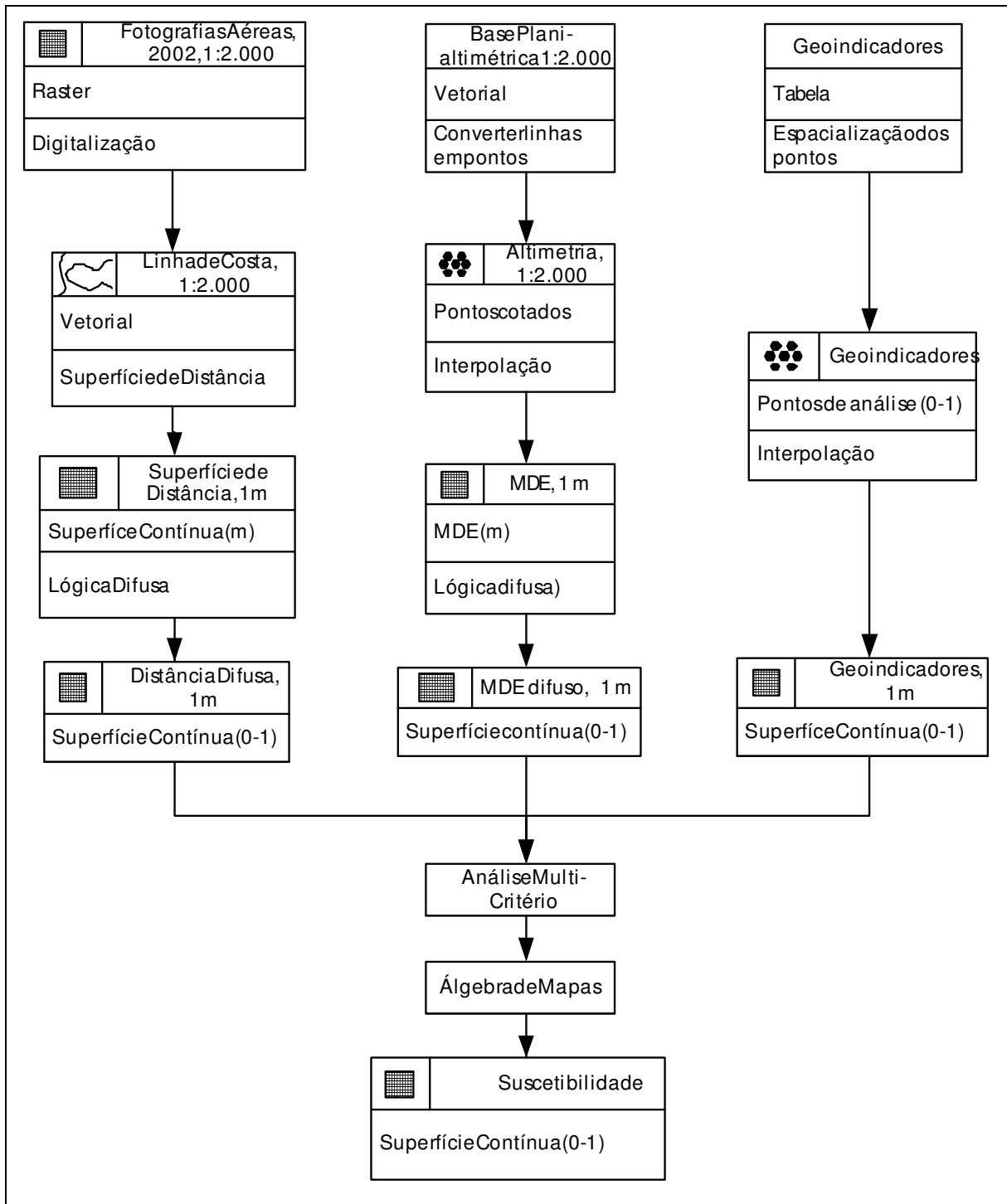
Classes contínuas, ou geo-campos representam objetos e fenômenos que estão distribuídos continuamente no espaço, como uso do solo, pedologia, relevo. Segundo, o modelo OMT-G define cinco classes descendentes de geo-campos: isolinhas, subdivisão planar, tesselação, amostragem e rede triangular irregular (TIM). Estas classes estão representadas na FIGURA 9.



**FIGURA 9 - Notação Gráfica para as classes do modelo.**

Fonte: Modificado de DAVIS (2000).

O Modelo OMT-G gerado para o presente trabalho está representado na FIGURA 10. De forma geral ele mostra: as três principais bases de dados (fotografias aéreas, bases plani-altimétricas e geoindicadores); as etapas dos processamentos executadas para a obtenção das superfícies contínuas de distância difusa, do MDE difuso e dos geoindicadores; e finalmente a análise multicritério e a álgebra de mapas realizada para a elaboração da superfície contínua de suscetibilidade. Estas etapas serão descritas nos itens a seguir.



**FIGURA 10 - Modelo OMT-G para o mapeamento de suscetibilidade costeira.**

### 3.5.1 Modelo Digital de Elevação Difuso

A topografia é um indicador de suscetibilidade costeira importante uma vez que as áreas mais baixas do terreno têm uma maior propensão de sofrer efeitos adversos por erosão durante tempestades severas. Para integrar o MDE na avaliação da suscetibilidade optou-se por utilizar a teoria dos conjuntos difusos



(DRAGICEVIC, 2004; ROBIN, 2002). Assim, a incerteza na definição de limites ou limiares é de certa forma contornada através da utilização de uma função de pertencimento difuso, onde fronteiras e limiares entre classes são indefinidos (BURROUGH & MCDONALD, 1998).

Para gerar o MDE foram atribuídas as respectivas cotas altimétricas das curvas de nível até a cota de elevação de 15 m. Pontos cotados espalhados ao longo do terreno, principalmente nas áreas mais planas, cumes e depressões também foram utilizados. As curvas de nível foram então transformadas em pontos e integradas aos outros pontos cotados para finalmente serem interpolados por krigagem para a geração da superfície contínua do MDE.

O MDE difuso foi obtido a partir da aplicação da lógica difusa sobre o MDE. A base conceitual utilizada é que altitudes com valores próximos de 0 têm suscetibilidades máximas próximas de 10 e que as maiores altitudes tendem a ter suscetibilidades mínimas, próximas de 0. Segundo BURROUGH & MCDONALD (1998), as funções de associação difusa mais utilizadas são as funções linear e senoidal. Assim sendo, foi utilizada a seguinte equação senoidal de pertencimento difuso:

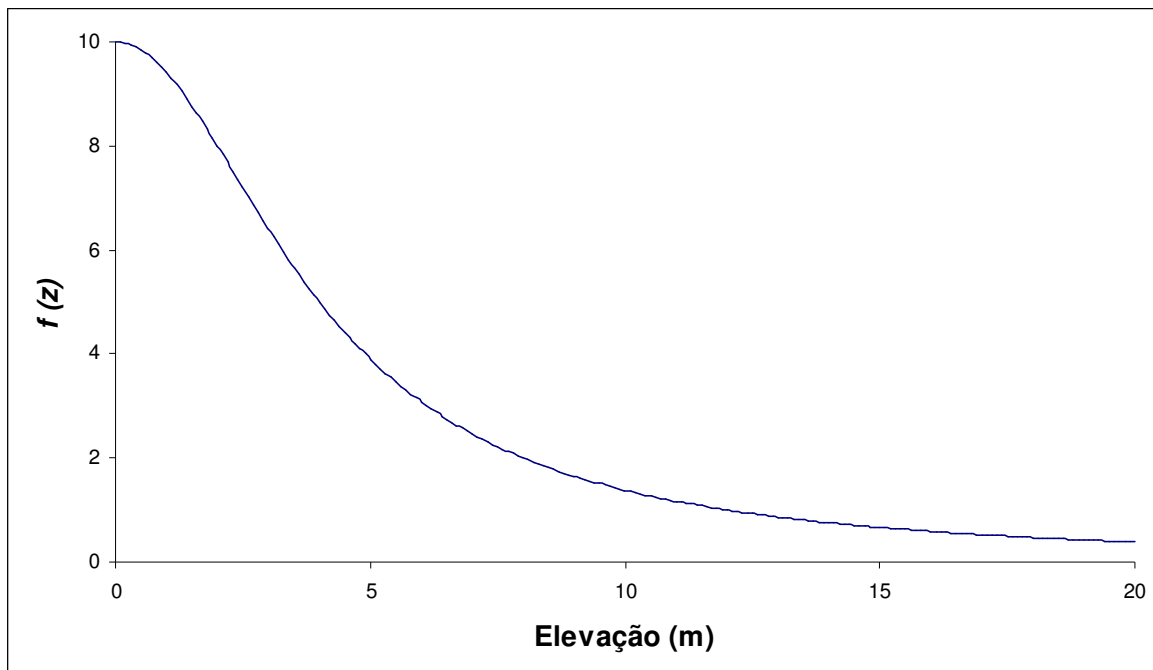
$$\alpha = \frac{1}{(z_{0,5} - \beta)^2} \quad (6)$$

$$f(z) = \frac{1}{1 + (\alpha(z - \beta)^2)} \quad (7)$$

onde,

$z_{0,5}$  representa o potencial de suscetibilidade 0,5 a uma altitude determinada; e  $\beta$  representa o valor máximo do potencial de suscetibilidade (1). Para  $z_{0,5}$  foi arbitrariamente determinada a altitude de 4 m. Já o valor máximo de potencial de suscetibilidade  $\beta$  foi definido como sendo a altitude de 0 m.

A representação gráfica da lógica difusa aplicada ao MDE está na FIGURA 11. Assim os valores do MDE foram todos transformados em uma escala que varia entre 0 e 1.



**FIGURA 11 - Representação gráfica da função lógica difusa do MDE.**

### 3.5.2 Geoindicadores

Os geoindicadores amostrados foram organizados em planilhas onde foram calculados os índices de suscetibilidade. Os geoindicadores foram então espacializados no *software* ArcGIS e foram atribuídos seus respectivos índices. Os pontos que foram medidos de forma irregular ao longo da praia foram interpolados com o intuito de gerar uma grade regular onde o índice de suscetibilidade varia continuamente ao longo da linha de costa. Os métodos de interpolação utilizados foram o MIQD e a krigagem. O desempenho de ambos os métodos foi avaliado com base em parâmetros estatísticos e através da análise visual.

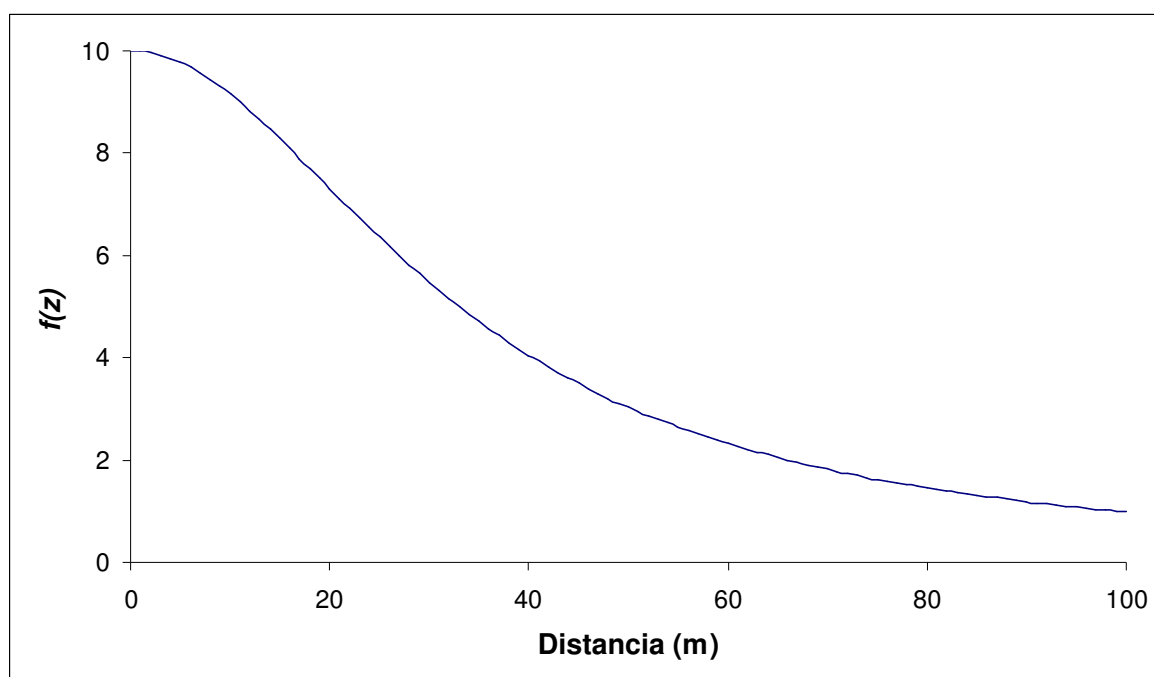
### 3.5.3 Superfície contínua de distância difusa

Partindo do pressuposto de que a suscetibilidade costeira à erosão é máxima na linha de costa e diminui continuamente conforme as distâncias aumentam, foi aplicada a lógica difusa visando a representação deste processo.

Com este intuito, inicialmente for gerada uma superfície contínua de distância à linha de costa onde a distância é 0 na linha de costa e aumenta continuamente em conforme a célula da grade se afasta da mesma. Posteriormente, foi aplicada a

mesma função de pertencimento difuso utilizada na elaboração do MDE difuso (EQUAÇÕES 6 e 7), apenas alterando os valores de  $z_{0,5}$  e  $\beta$ .

Assim,  $z_{0,5} = 33$  representa o potencial de distância 0,5 a 33 m da linha de costa; e  $\beta = 0$ , representa o valor máximo do potencial (1) a 0 m de distância. A linha de costa representa a linha da duna frontal e foi digitalizada a partir da linha de vegetação das fotografias aéreas. A distância de 33 m para  $z_{0,5}$  foi escolhida arbitrariamente. Na FIGURA 12 está representada graficamente a função de pertencimento difuso para a suscetibilidade em relação à distância da linha de costa.



**FIGURA 12 - Representação gráfica da função de pertencimento difuso da superfície contínua de distância.**

### 3.6 ÁLGEBRA DE MAPAS

A superfície contínua de suscetibilidade foi modelada em função dos geoindicadores interpolados, do MDE difuso e da superfície contínua de distância difusa. A partir de alguns testes através de cruzamentos visando o estabelecimento da relação funcional da suscetibilidade, optou-se por utilizar a seguinte função:

$$\text{Suscetibilidade} = ((\text{geoindicadores} \times \text{distância\_difusa}) \times 0,8) + (\text{MDE\_difuso} \times 0,2) \quad (8)$$

Para os geoindicadores interpolados e para a superfície contínua de distância difusa foi atribuído o peso 0,8, enquanto que para o MDE difuso o peso 0,2. O MDE difuso teve peso 0,2, seguindo o trabalho de (ROBIN, 2002) que, após consultar diversos especialistas concluiu que a topografia tem uma ordem de importância de 0,22 em relação a outros geoindicadores. Já para a superfície contínua de distância difusa optou-se por multiplicar com os geoindicadores, pois assim, poderia representar a diminuição da importância dos geoindicadores conforme a linha de costa aumenta. Desta forma, na linha de costa, onde a importância é máxima, seu valor não é influenciado pela superfície de distância difusa (*geoindicadores* x 1) e conforme a distância aumenta, ela causa uma diminuição dos valores de suscetibilidade relativa.

A opção por multiplicar a superfície contínua de distância difusa apenas com os geoindicadores foi pelo motivo de que assim a topografia não seria influenciada pela distância. Desta forma, em áreas baixas e planas, mesmo distantes em relação à linha de costa, teriam sua importância relativa (0,2) preservada.

Apesar de a suscetibilidade ter sido representada nos mapas na forma de superfícies contínuas, com o intuito de facilitar a interpretação dos resultados, foi realizada uma classificação da suscetibilidade dividindo-a em cinco classes: Suscetibilidade Muito Baixa, Suscetibilidade Baixa, Suscetibilidade Média, Suscetibilidade Alta e Suscetibilidade Muito Alta.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão primeiramente analisados e discutidos os resultados das análises espaciais e das suscetibilidades obtidas para as praias. Por fim, será feita uma análise crítica dos resultados com base nas checagens de campo realizadas posteriormente aos levantamentos dos geoindicadores, durante tempestades extratropicais.

### 4.1 ANÁLISE ESPACIAL

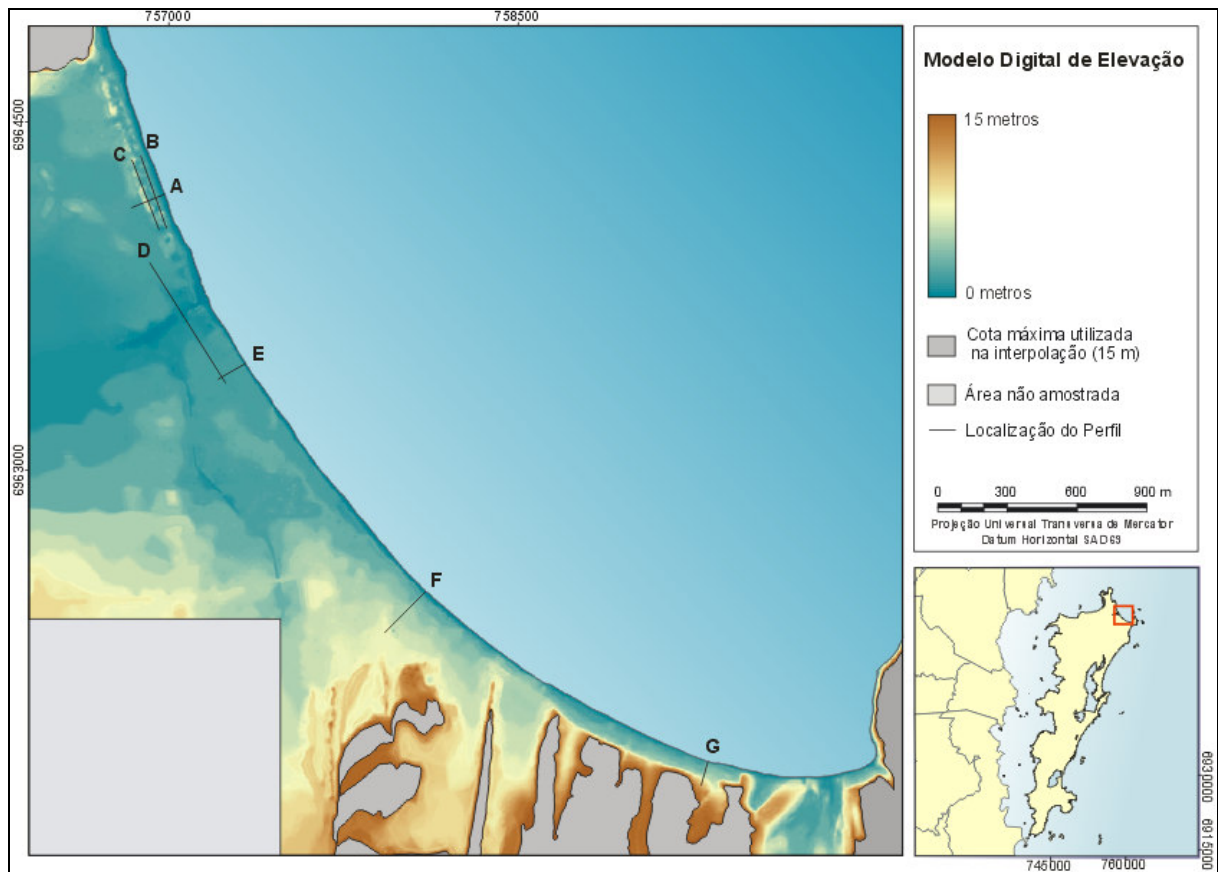
#### 4.1.1 Praia dos Ingleses

##### 4.1.1.1 Modelo Digital de Elevação

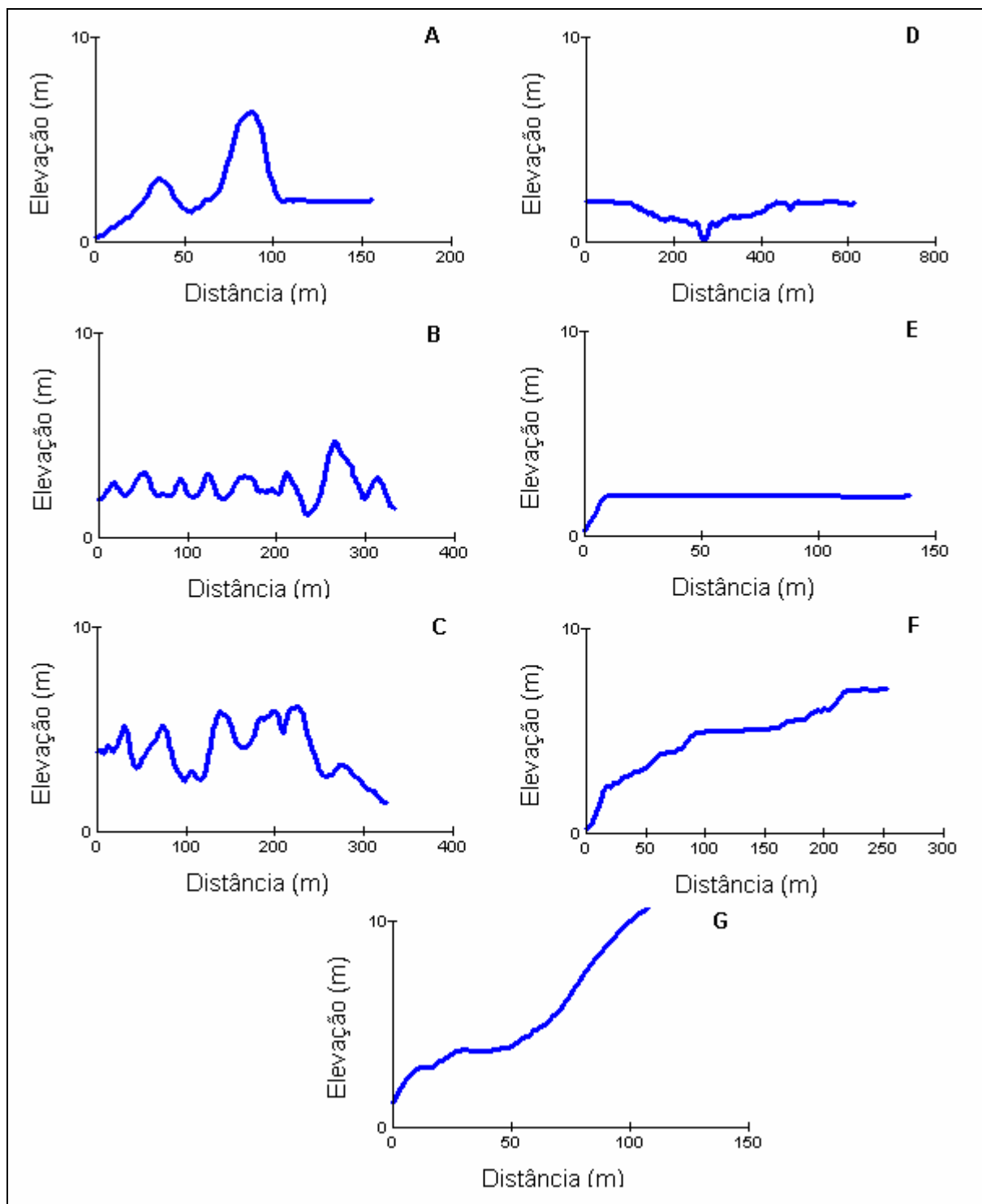
O MDE da Praia dos Ingleses está representado na FIGURA 13. Para a interpolação foram utilizados 30.351 pontos cotados. Esta grande quantidade de pontos permitiu que o modelo representasse de forma bastante satisfatória o relevo. A utilização de pontos espalhados nas áreas planas e nos cumes ou depressões, além das isolinhas altimétricas foi importante para que se obtivesse uma representação mais fiel da realidade. Desta forma, problemas como aqueles relatados por BURROUG (1998), que a interpolação por krigagem a partir apenas de contornos altimétricos gera feições do “tipo terraços de arroz”, não ocorreram. Apenas nas áreas mais afastadas da linha de costa (550 m ou mais) não foram utilizados estes pontos adicionais e, portanto nestas áreas este problema pode ter sido mais significativo. Todavia este tipo de erro não foi importante na elaboração do mapa de suscetibilidade, pois ocorreu em áreas com suscetibilidades mínimas.

As áreas que apresentaram cotas acima de 15 m estão localizadas nos extremos norte e sul da praia, associadas ao embasamento cristalino, e na metade sul da praia, associadas aos campos de dunas móveis. Na porção norte da praia é possível observar o cordão de dunas frontais com altura em torno de 1,5 m e as dunas interiores com altura em torno de 4 m de altura, conforme está representado no perfil da FIGURAS 13 e 14 A . A presença de diversos *blowouts* tanto nas dunas frontais como nas dunas interiores torna o terreno bastante irregular, conforme pode ser observado no perfil D das FIGURAS 13 e 14. As áreas mais planas e baixas

estão localizadas nas proximidades do Rio Capivari, onde as altitudes raramente ultrapassam 1 m de (FIGURAS 13 e 14 C). No perfil E, observa-se uma restinga bastante baixa e plana (2 m). Na porção sul da praia a morfologia muda drasticamente devido à presença das dunas móveis, fazendo com que as altitudes elevem rapidamente continente adentro (FIGURAS 13 e 14 F e G).



**FIGURA 13 - Modelo Digital de Elevação da Praia dos Ingleses.**

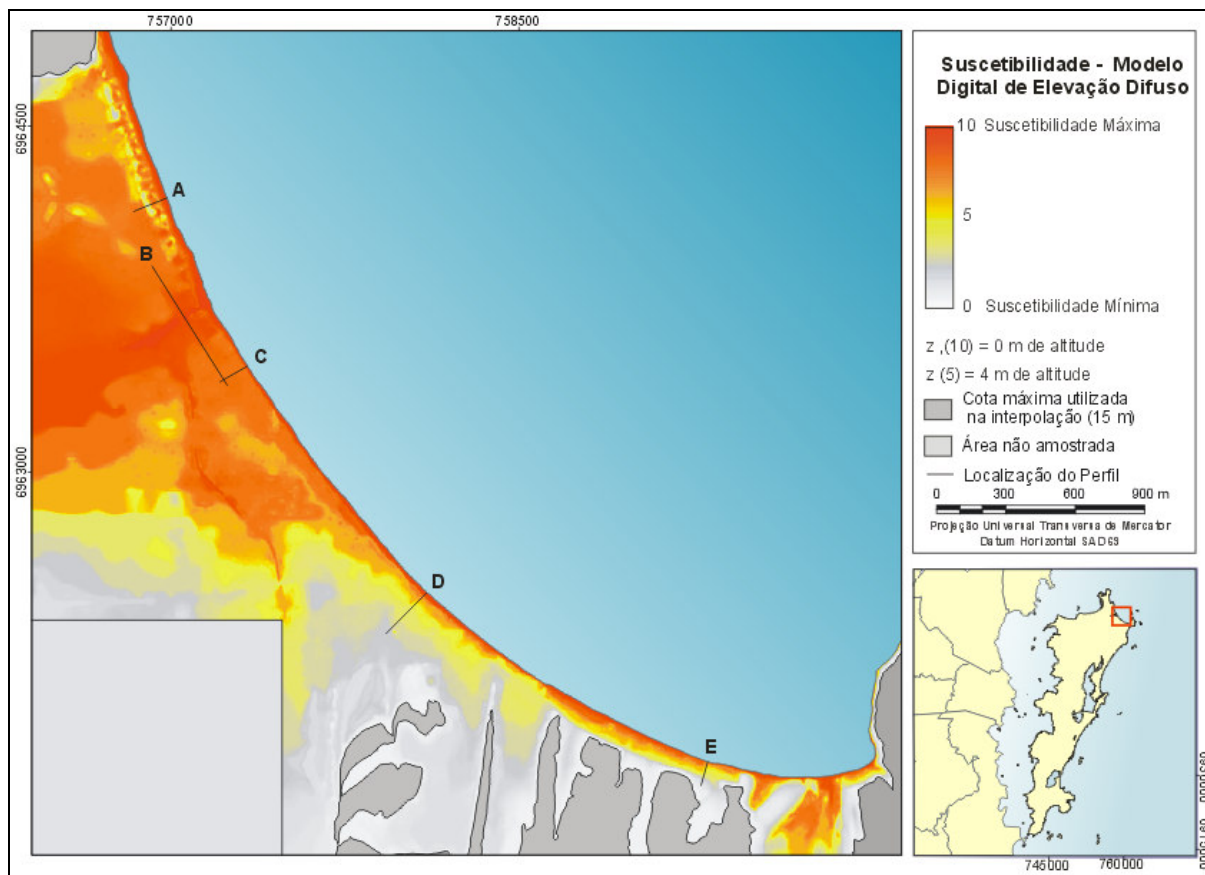


**FIGURA 14 – Perfis altimétricos na Praia dos Ingleses.**

#### **4.1.1.2 Suscetibilidade em Relação ao Modelo Digital de Elevação Difuso**

A superfície contínua difusa de suscetibilidade parcial gerada a partir do MDE da Praia dos Ingleses está representada na FIGURA 15. A superfície do MDE difuso teve uma relação inversa com a do MDE, conforme a FIGURA 11. Todavia, esta relação não é linear, pois equação aplicada dá importâncias elevadas para as

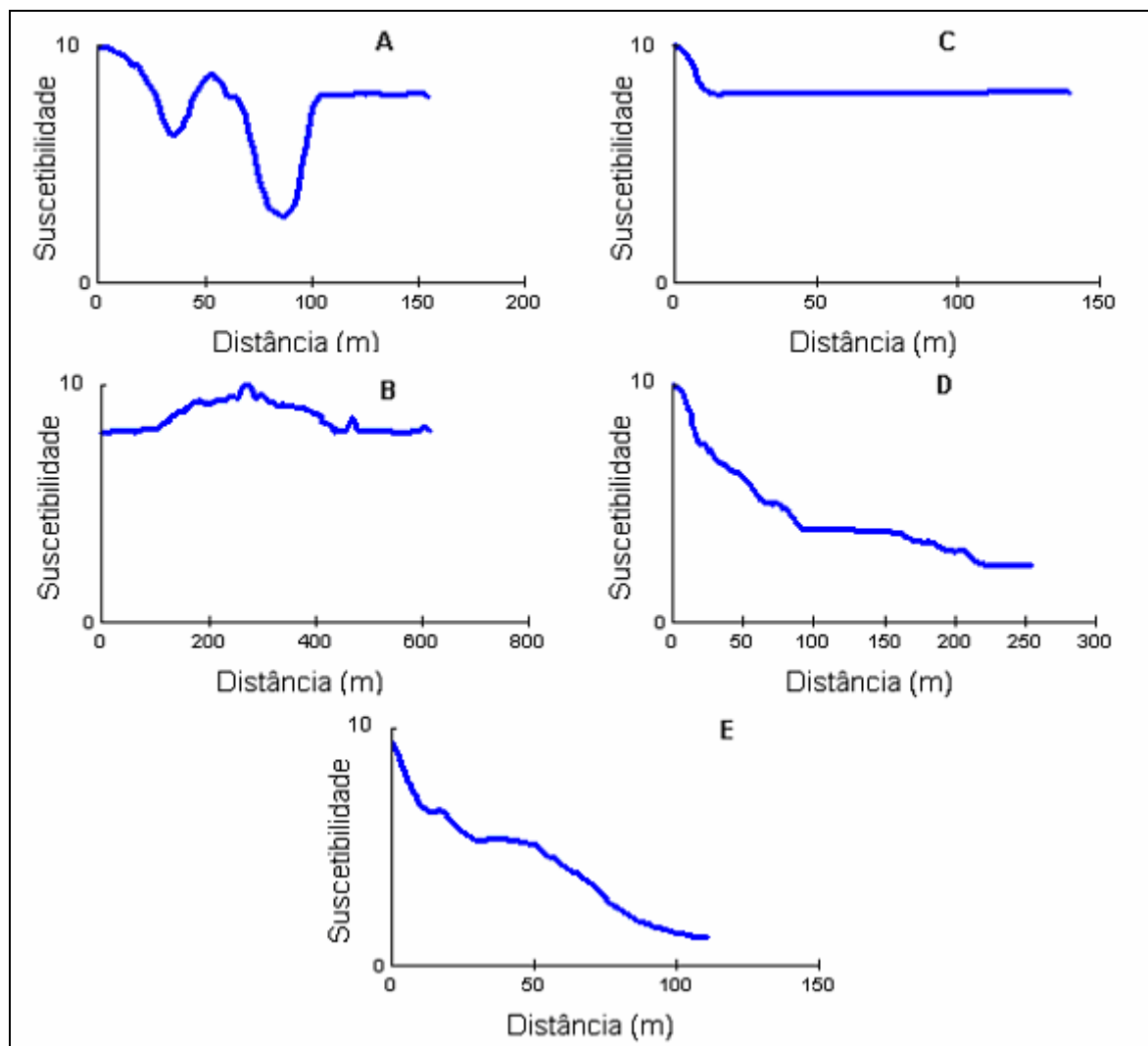
altitudes mais próximas de 0 m, diminuindo rapidamente conforme as altitudes elevam. Desta forma, a lógica difusa aplicada ao MDE permitiu identificar de forma clara quais são as áreas mais suscetíveis em relação à topografia.



**FIGURA 15 - MDE difuso da suscetibilidade em relação à elevação da Praia dos Ingleses.**

De forma geral, ao longo de toda praia a suscetibilidade é próxima a 10, todavia, em direção ao continente esta variação é bastante heterogênea, sendo elevada na porção norte e baixa na porção sul. No perfil A (FIGURAS 15 e 16), a suscetibilidade diminui rapidamente até o topo da duna frontal (próximo de 6), depois aumenta na cava para 9, diminui novamente na crista da duna interior (3) e posteriormente se estabiliza em torno de 8. No perfil do rio (FIGURAS 15 e 16 B) a suscetibilidade permaneceu alta, entre 10 na calha do rio, e 8, na planície. Um pouco mais ao sul, no perfil C a suscetibilidade também oscilou entre 10, na praia, e 8, na planície. Já os dois perfis localizados na porção sul mostram uma queda mais intensa da suscetibilidade continente adentro. No perfil D esta diminuição da suscetibilidade é gradual, enquanto que no perfil E a diminuição é mais intensa.





**FIGURA 16 - Perfis do MDE difuso na Praia dos Ingleses.**

ROBIN (2002) também transformou o MDE para valores entre 0 e 1 para a avaliação de riscos costeiros, todavia ele utilizou uma função senoidal onde  $f(z) = \text{TANH}(z/3)$ . Os resultados foram similares aos obtidos neste trabalho uma vez que os valores de  $f(z)$  diminuem rapidamente conforme  $z$  aumenta. O que diferenciou foi a maneira com que os valores de  $f(z)$  diminuíram. Em ROBIN (2002),  $z_{0,5}$  corresponde à elevação de 1,6 m, sendo que na elevação de 8 m a suscetibilidade é quase nula ( $z = 0,0091$ ). Desta forma os valores de  $f(z)$  diminuem com uma intensidade muito maior do que no presente trabalho. Provavelmente, esta função seria mais adequada para a avaliação da suscetibilidade, todavia, ela foi identificada somente após todos os dados terem sido processados e, portanto, ficou inviável aplica-la neste estudo. Assim, para estudos futuros, seria interessante testar esta, assim como outras funções.

Como a teoria dos conjuntos difusos é baseada em um modelo conceitual estabelecido pelo especialista fica difícil avaliar qual modelo é melhor ou mais adequado. Além disso, o modelo conceitual leva em consideração diversos processos (i.e. ondas, marés, correntes) cujas interações se dão de forma diferenciada de ambiente para ambiente. Portanto o modelo a ser utilizado deve ser adaptado para as características locais de cada ambiente. Talvez uma ferramenta que poderia auxiliar muito o ajuste do modelo seria a probabilidade estatística. Todavia, isso requer que se tenha uma boa base de dados históricos, que raramente está disponível para ambientes costeiros brasileiros. De qualquer forma, pode-se dizer que o MDE difuso na Praia dos Ingleses conseguiu representar de forma satisfatória a diminuição da suscetibilidade conforme a elevação do terreno aumenta.

#### 4.1.1.3 Superfície Contínua da interpolação dos Geoindicadores

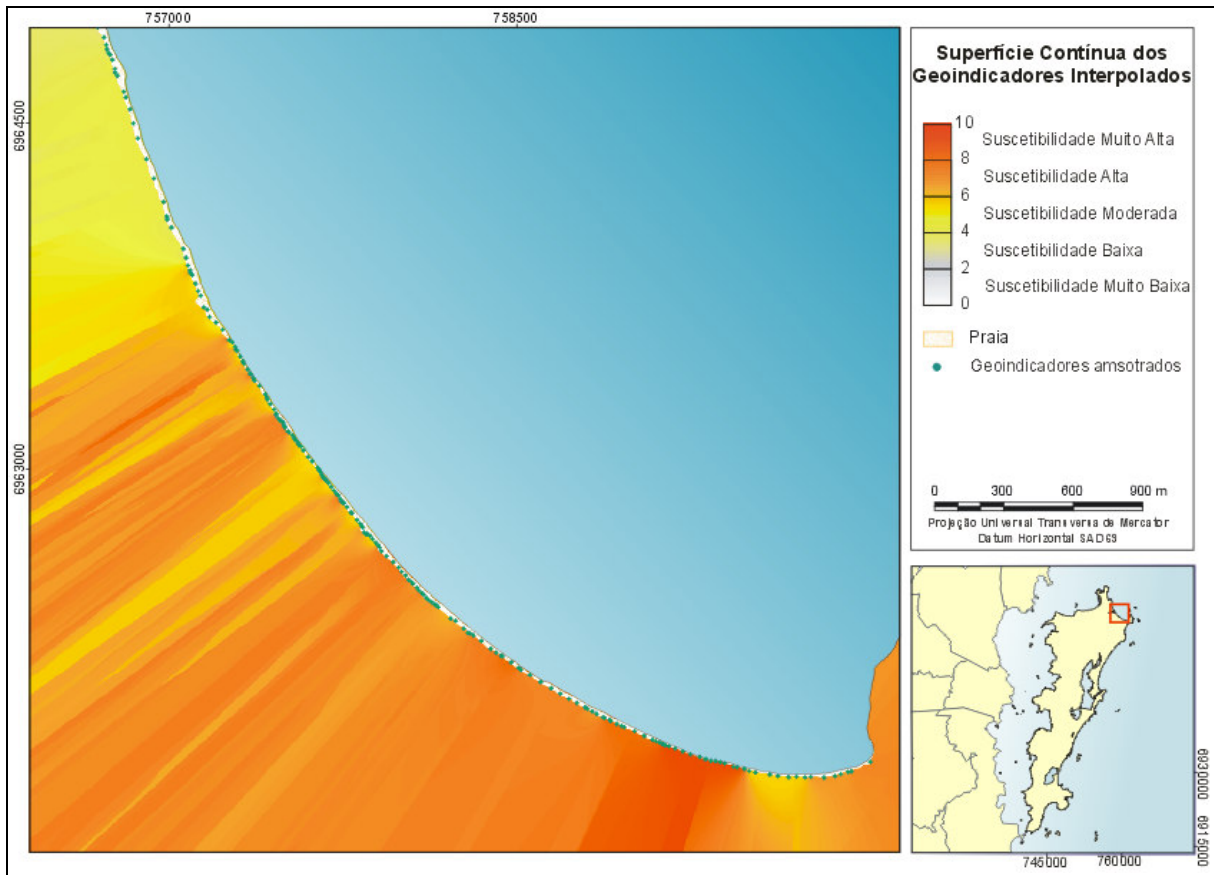
Para a interpolação dos geoindicadores foram utilizados 203 pontos distribuídos ao longo da linha de costa. Conforme pode ser visto no QUADRO 3, ambos os métodos de interpolação MIQD e Krigagem apresentaram valores máximos e mínimos quase idênticos. Isto se deve ao fato de que ambos os métodos são interpoladores exatos, ou seja, as estimativas próximas aos pontos medidos tendem a apresentar os mesmos valores (BURROUGH, 1998). Todavia, os desvios padrões apresentam valores diferenciados, indicando que existem variações nas estimativas dos valores mais distantes.

QUADRO 3 - Geoindicadores de suscetibilidade.

	Pontos	MIQD	Krigagem
<b>Mínimo</b>	3,38	3,38	3,39
<b>Máximo</b>	9,6	9,6	9,61
<b>Média</b>	6,7	6,5	6,49
<b>Desvio Padrão</b>	1,39	1,17	1,28

A krigagem, apesar de conceitualmente ser considerado o método mais consistente na interpolação de dados (LONGLEY et al., 2005) não foi a que apresentou os melhores resultados. A superfície interpolada à direita dos pontos amostrados (ao longo da linha de costa) teve um resultado bem diferente do que a superfície à esquerda. O fato dos pontos amostrais não estarem distribuídos de forma regular no terreno e sim ao longo de uma linha pode ter sido a razão pelo baixo desempenho apresentado. Já o método MIQD conseguiu representar de forma

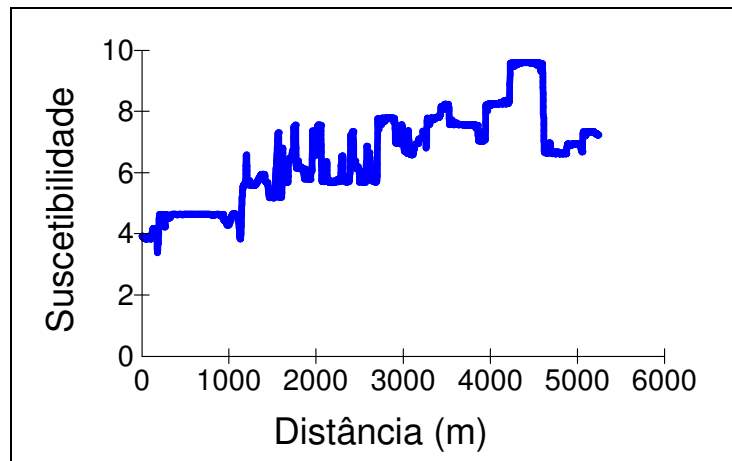
satisfatória a variação dos geoindicadores ao longo da linha de costa e, portanto foi o método de interpolação escolhido para esta praia (FIGURA 17).



**FIGURA 17 – Superfície contínua da interpolação dos geoindicadores na praia dos Ingleses.**

Na FIGURA 18 está representado o perfil da variação dos geoindicadores ao longo da praia. O setor mais ao norte teve susceptibilidade moderada, pois de acordo com os geoindicadores avaliados, as dunas frontais eram naturais, com vegetação presente, sem sinais de escarpas recentes, sem estruturas de engenharia e com dunas interiores descontínuas à bem estabelecidas. Mais ao sul, a praia é erosiva, as dunas começam a apresentar escarpas, todavia em diversos trechos elas são preservadas, com vegetação presente à bem estabelecida. Assim, este setor apresentou susceptibilidades que variaram muito entre moderada à alta, dependendo do grau de preservação das dunas e presença antrópica. A partir da praça no centro dos Ingleses, a presença de bares, restaurantes, hotéis e casas passam a ser marcantes na praia. As dunas frontais, com exceção de alguns trechos, não existem e a praia fica estreita. Assim a susceptibilidade é alta em todo o setor. Mais ao sul, a praia seca praticamente desaparece, e a presença de diversos muros de contenção

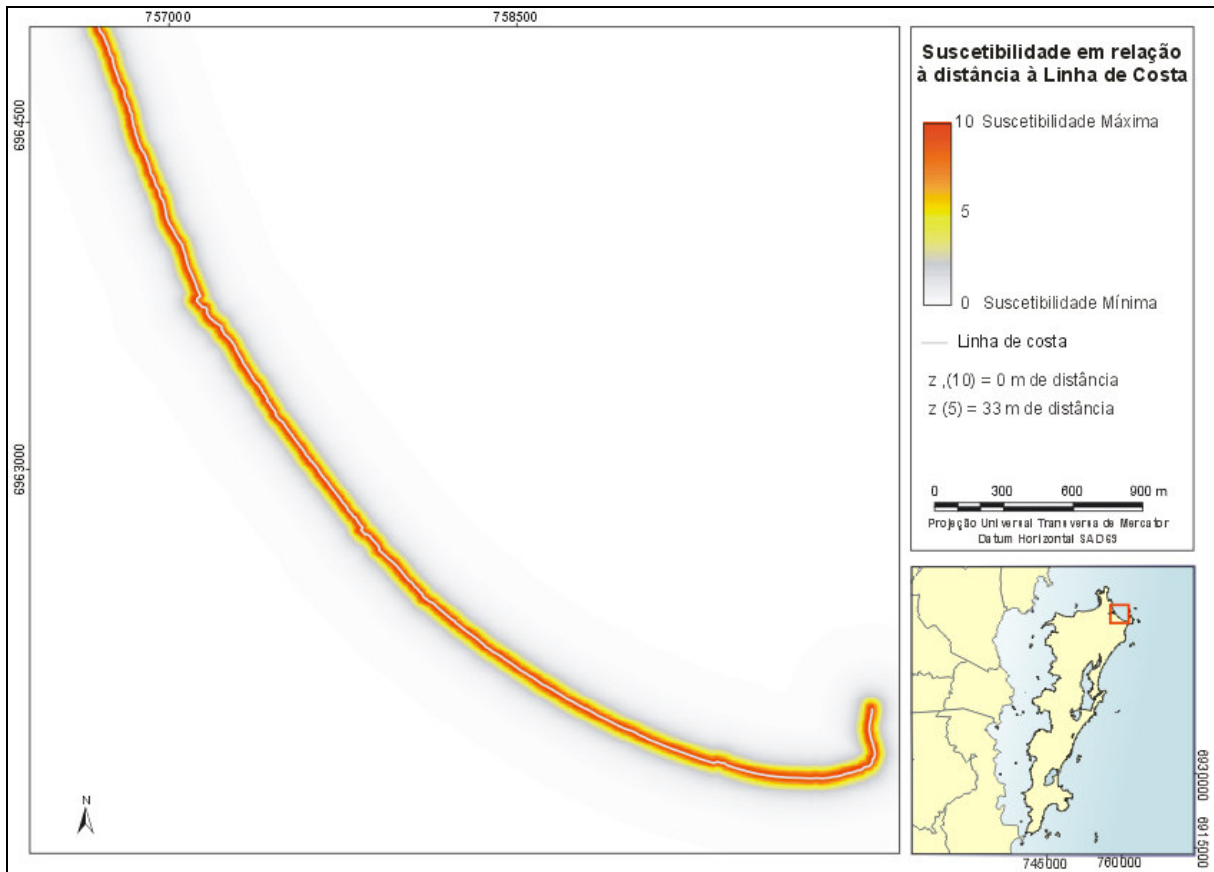
indicam que este setor sofre erosão severa, apresentando uma Suscetibilidade Muito Alta. Mais para leste, a suscetibilidade diminui para valores em torno de 6,6. Este setor não é urbanizado, porém é marcado por uma praia muito estreita, onde dunas móveis altas avançam sobre a face praial. Enfim, no final da praia a suscetibilidade aumenta para em torno de 7. As dunas frontais são baixas e escarpadas, a vegetação é presente e ocorrem algumas estruturas de contenção.



**FIGURA 18 - Perfil NW-SE dos geoindicadores interpolados ao longo da Praia dos Ingleses.**

#### **4.1.1.4 Superfície Contínua de Distância Difusa**

Na FIGURA 19 está representada a superfície contínua de distância difusa para a Praia dos Ingleses. A equação da lógica difusa conseguiu representar a diminuição da suscetibilidade conforme as distâncias em relação à linha de costa aumentam.



**FIGURA 19 - Superfície contínua de distância difusa da Praia dos Ingleses.**

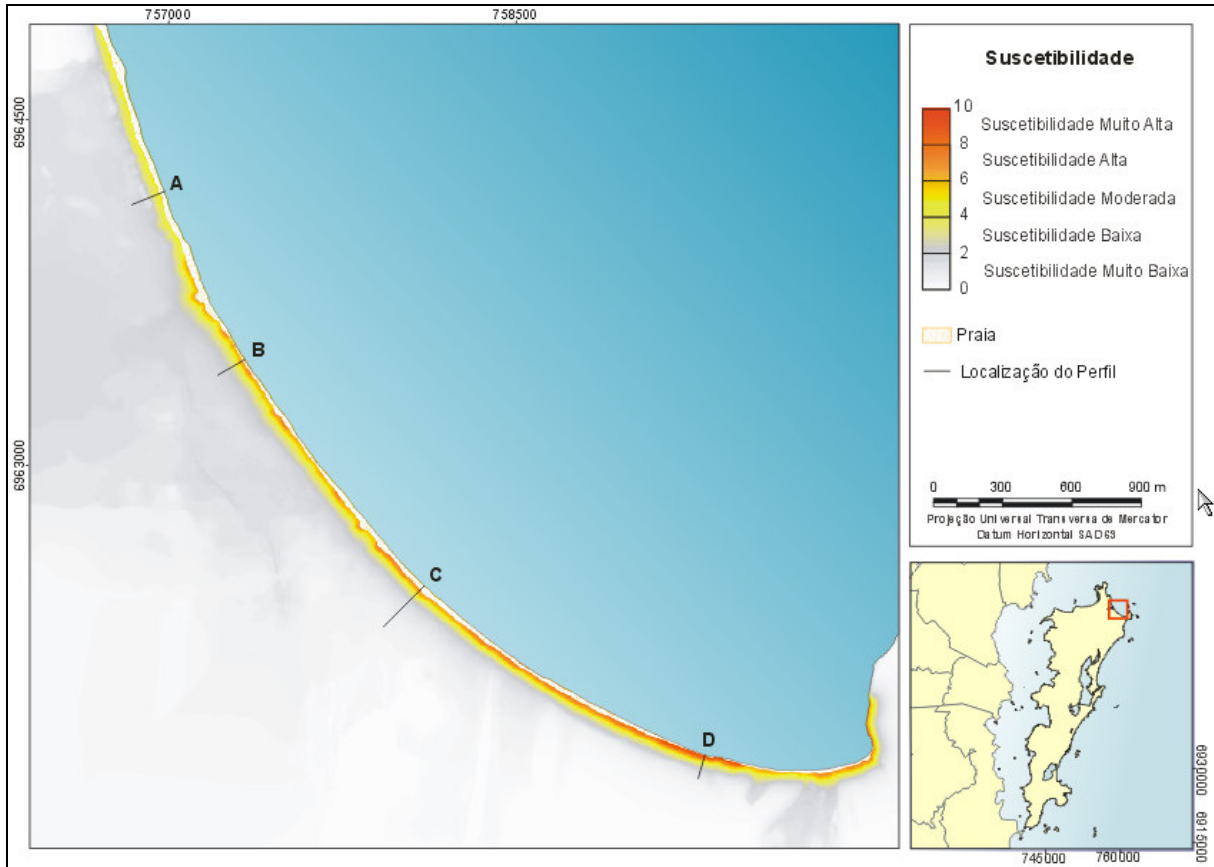
#### 4.1.1.5 Superfície Contínua de Suscetibilidade

Na FIGURA 20 está representada a superfície contínua de suscetibilidade resultante da integração dos geoindicadores interpolados, do MDE difuso e da superfície contínua de distância difusa. De um modo geral, a superfície contínua de suscetibilidade final teve um comportamento similar ao dos geoindicadores ao longo da linha de costa, e similar à superfície contínua de distância difusa, perpendicularmente à mesma.

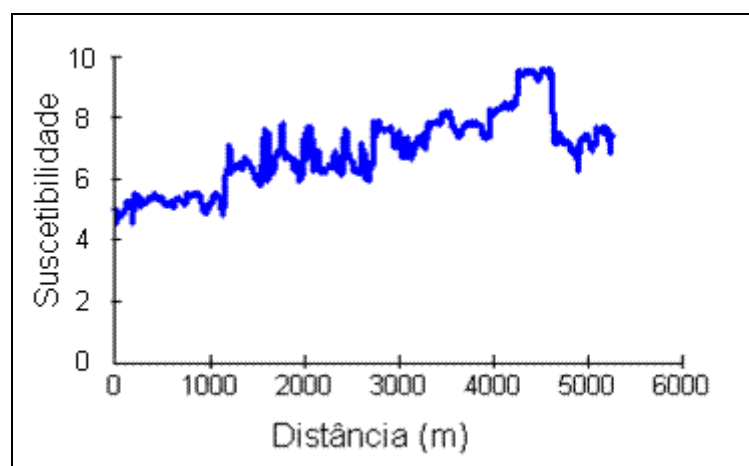
A alta correlação ao longo da linha de costa entre a suscetibilidade dos geoindicadores e a superfície final é bastante evidente quando comparadas as FIGURAS 18 e 21. Contudo o MDE difuso também influenciou na suscetibilidade ao longo da linha de costa, ora intensificando, ora amenizando a suscetibilidade (FIGURA 21)

A similaridade entre o comportamento das superfícies contínuas de suscetibilidade e de distância difusa é bastante evidente, principalmente quando comparamos os perfis da FIGURA 22 com o gráfico da equação de distância difusa

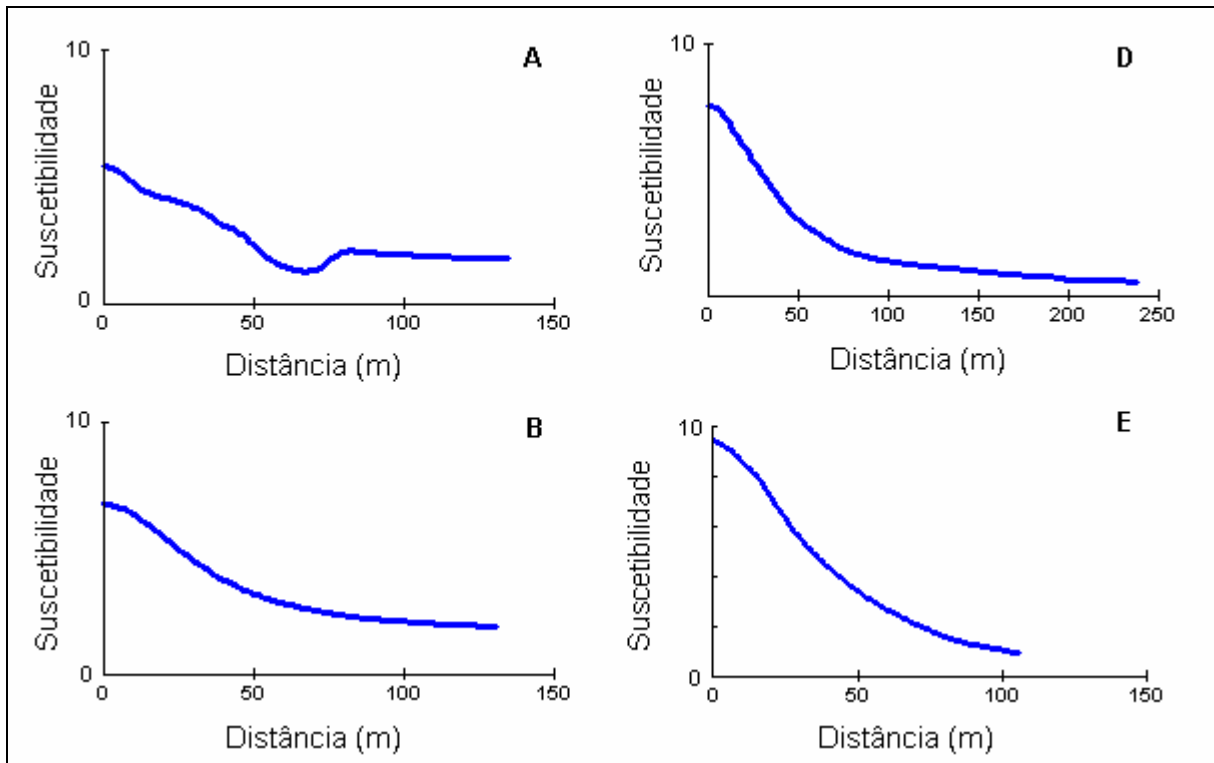
(FIGURA 11). Entretanto, o MDE difuso também teve uma influência, pois em áreas mais planas a declividade do perfil foi menor (FIGURAS 22 A e B), enquanto que em áreas mais íngremes a declividade foi maior (FIGURAS 22 C e D).



**FIGURA 20 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.**



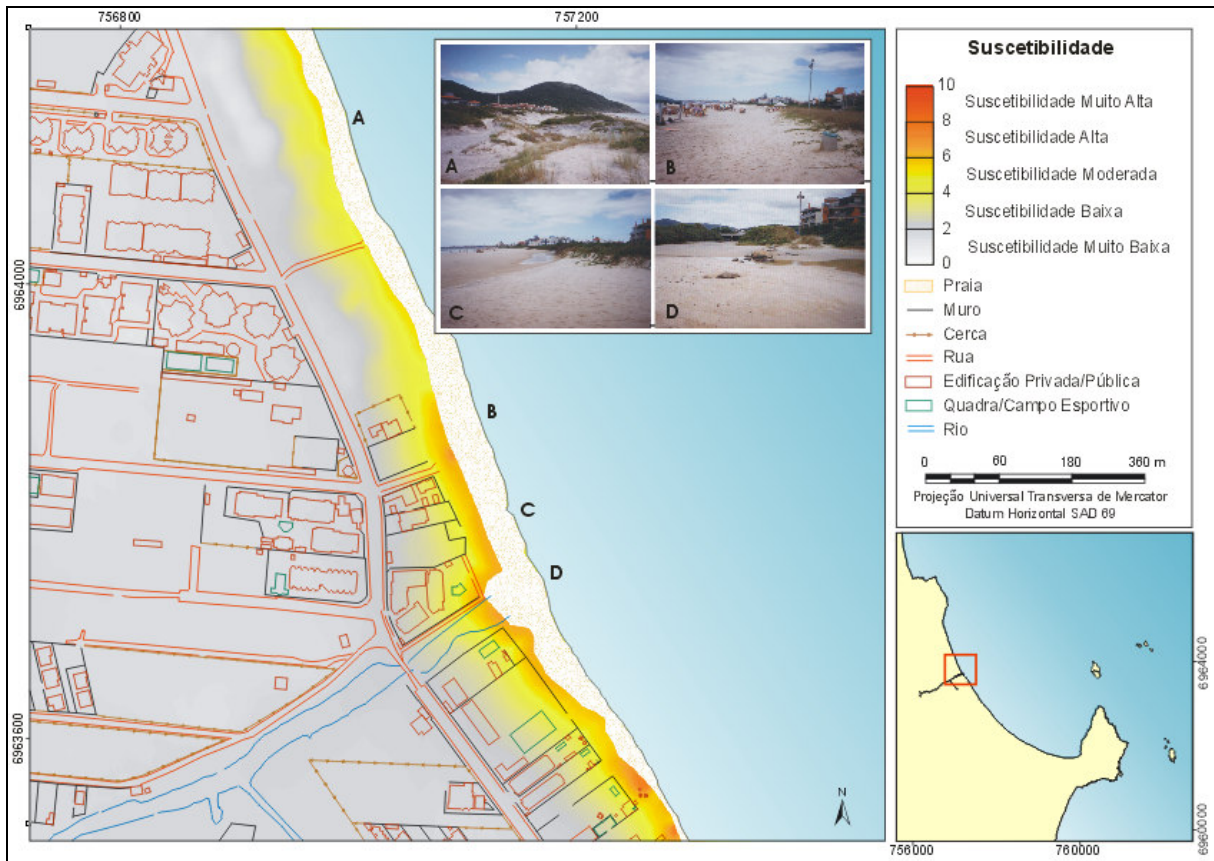
**FIGURA 21 – Perfil NW-SE da suscetibilidade ao longo da Praia dos Ingleses.**



**FIGURA 22 – Perfis de suscetibilidade perpendiculares à linha de costa na Praia dos Ingleses.**

A seguir são apresentados alguns setores de superfícies contínuas de suscetibilidade em maior detalhe, contendo informações adicionais como edificações, muros, cercas, estradas, entre outras.

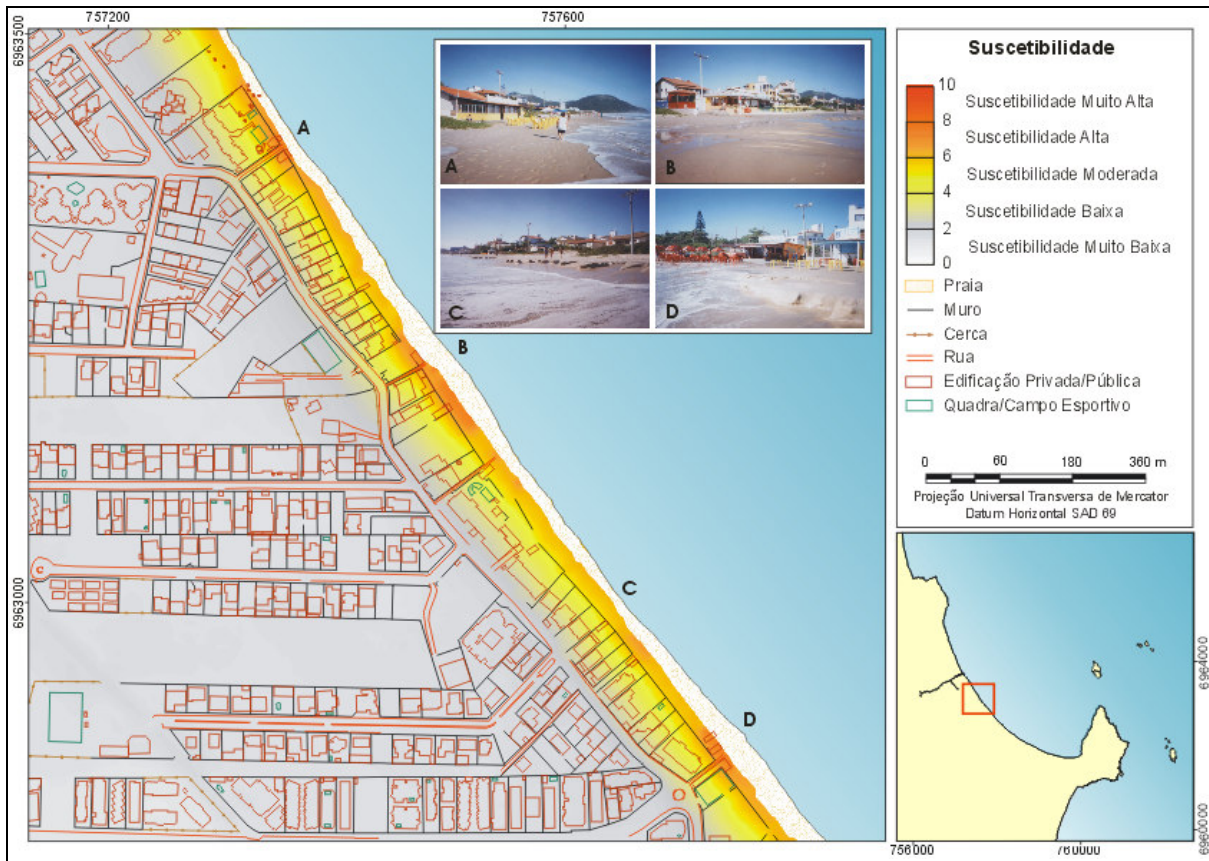
Na FIGURA 23 está representado o setor próximo à desembocadura do rio. Ao norte, encontra-se o setor de suscetibilidade moderada, com dunas frontais e interiores vegetadas, porém descontínuas. Nas imediações do rio, principalmente mais ao sul fica evidente que a ocupação está diretamente relacionada com o aumento da suscetibilidade. Neste setor a suscetibilidade é alta, todavia a mesma poderia ser mais elevada se a proximidade de rios fosse considerada como um fator de suscetibilidade.



**FIGURA 23 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.**

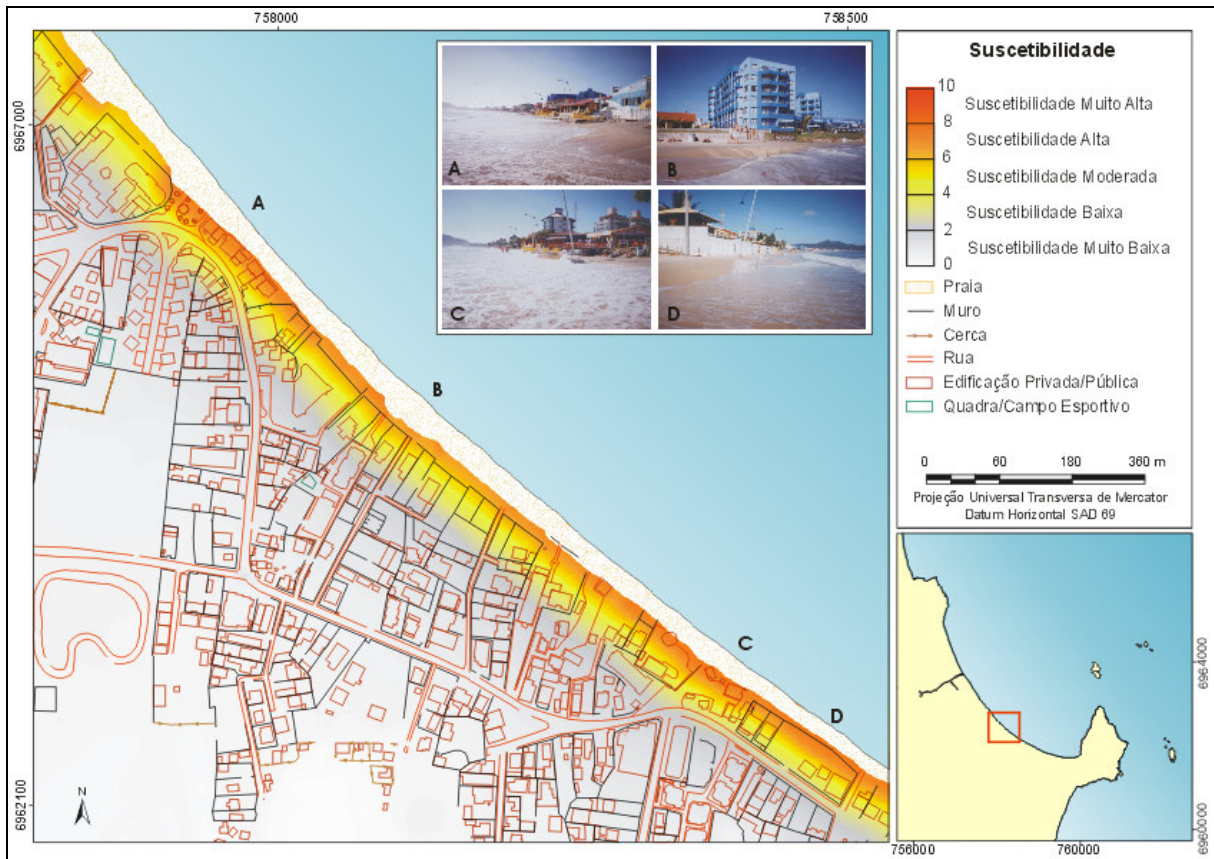
Mais o sul, a suscetibilidade apresenta índices mais elevados que variam bastante entre 6 e 8, e portanto dentro da classe de Suscetibilidade Alta (FIGURA 24). Nesta FIGURA pode-se observar que as edificações e muros estão mais próximos à praia. As fotografias representadas nas FIGURAS 24 A, B, C e D mostram os pontos mais críticos deste setor, onde a praia seca é bastante estreita e o mar freqüentemente atinge as cadeiras e bares à beira mar.





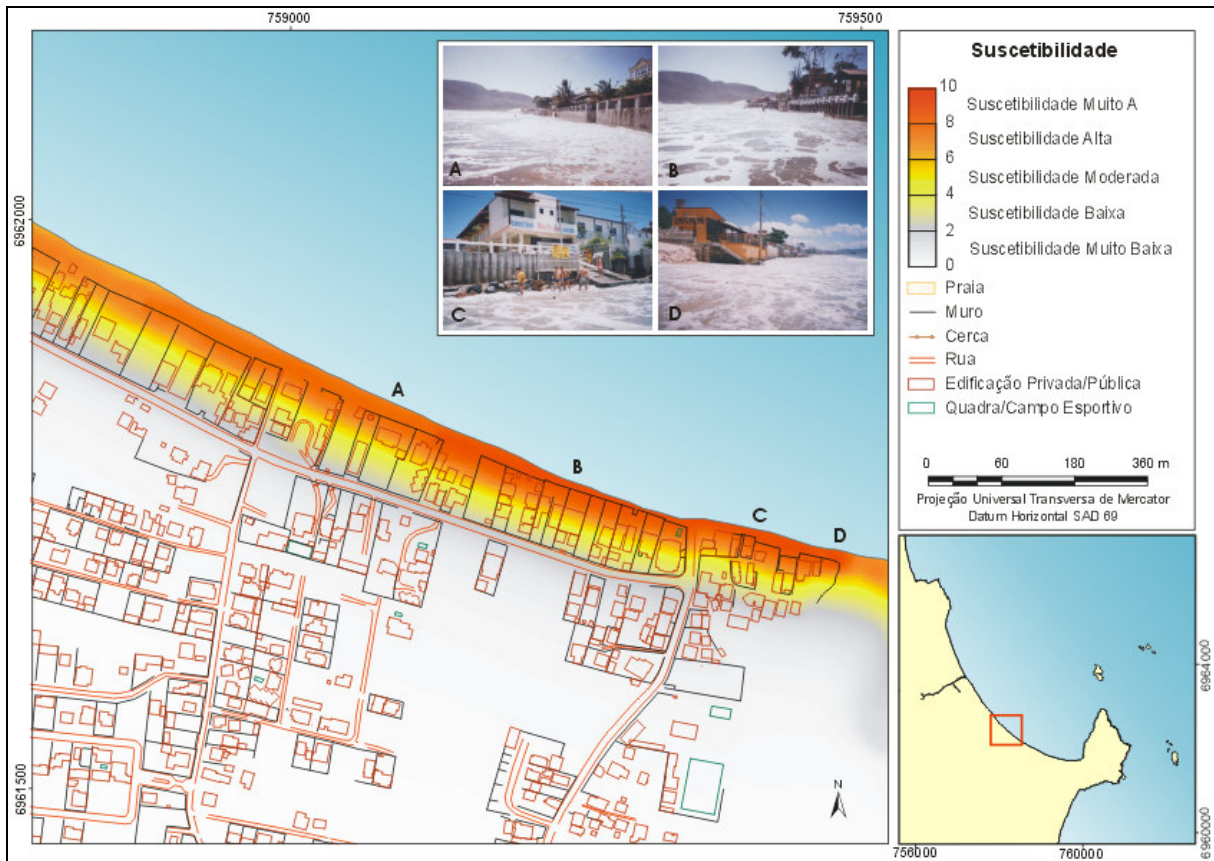
**FIGURA 24 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.**

Nas proximidades do centrinho da Praia dos Ingleses a suscetibilidade oscilou entre 6 e 8,2 na linha de costa, chegando assim a atingir a classe de Suscetibilidade Muito Alta. Entretanto, o valor médio encontrado foi de 7,2. Nas FIGURAS 25 A, B, C e D nota-se que diversas edificações e muros encontram-se na beira da praia.



**FIGURA 25 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.**

Um pouco mais ao sul está situado o setor mais suscetível da praia. A praia seca praticamente desaparece e existem diversos enrocamentos e muros para impedir o avanço do mar (FIGURAS 26 A, B, C e D). Neste setor o valor médio de suscetibilidade foi de 8,8, sendo que boa parte do mesmo apresenta suscetibilidade em torno de 9,6. Um pouco mais ao sul a suscetibilidade diminui devido à presença das dunas móveis altas e pela ausência de estruturas de contenção.

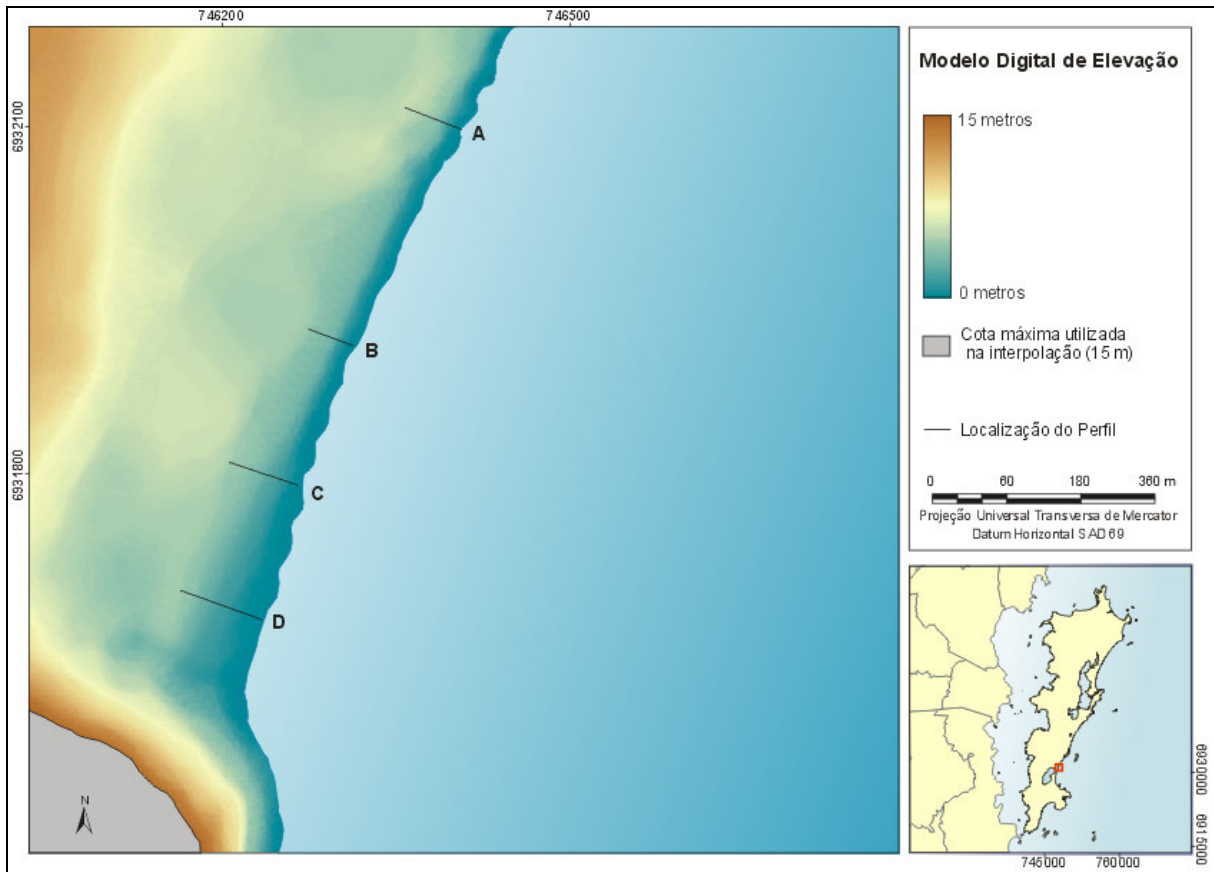


**FIGURA 26 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia dos Ingleses.**

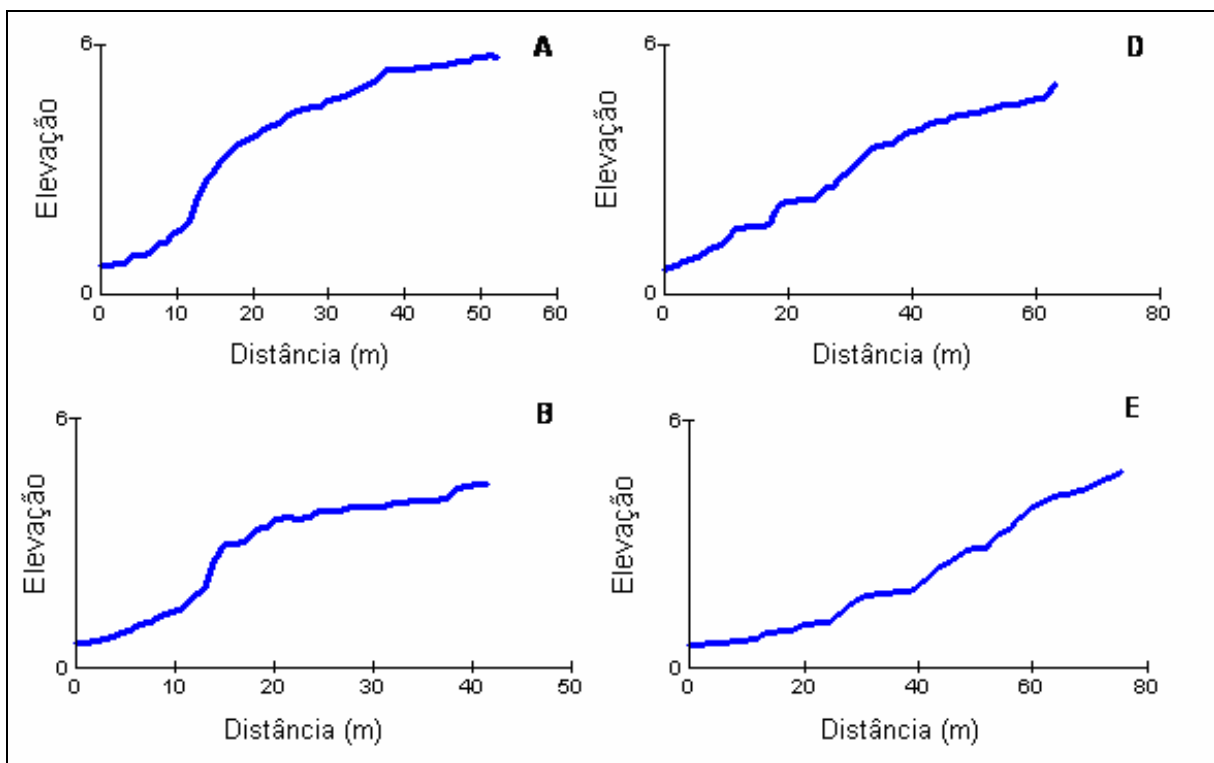
#### 4.1.2 Praia Morro das Pedras

##### 4.1.2.1 Modelo Digital de Elevação

O MDE da Praia Morro das Pedras foi gerado a partir da interpolação de 5.709 pontos. De uma forma geral as dunas frontais são mais bem desenvolvidas nos perfis A e B das FIGURAS 27 e 28. Na restinga as altitudes aumentam gradualmente para em torno de 6 m nos depósitos holocênicos e em seguida a elevação rapidamente aumenta para os 12 m nos depósitos pleistocênicos. As maiores altitudes são encontradas no embasamento cristalino, localizado no costão sul da praia, onde as altitudes ultrapassam os 15 m. Ao lado do embasamento, na praia, ocorre uma área mais baixa, que está associada à presença de um arroio.



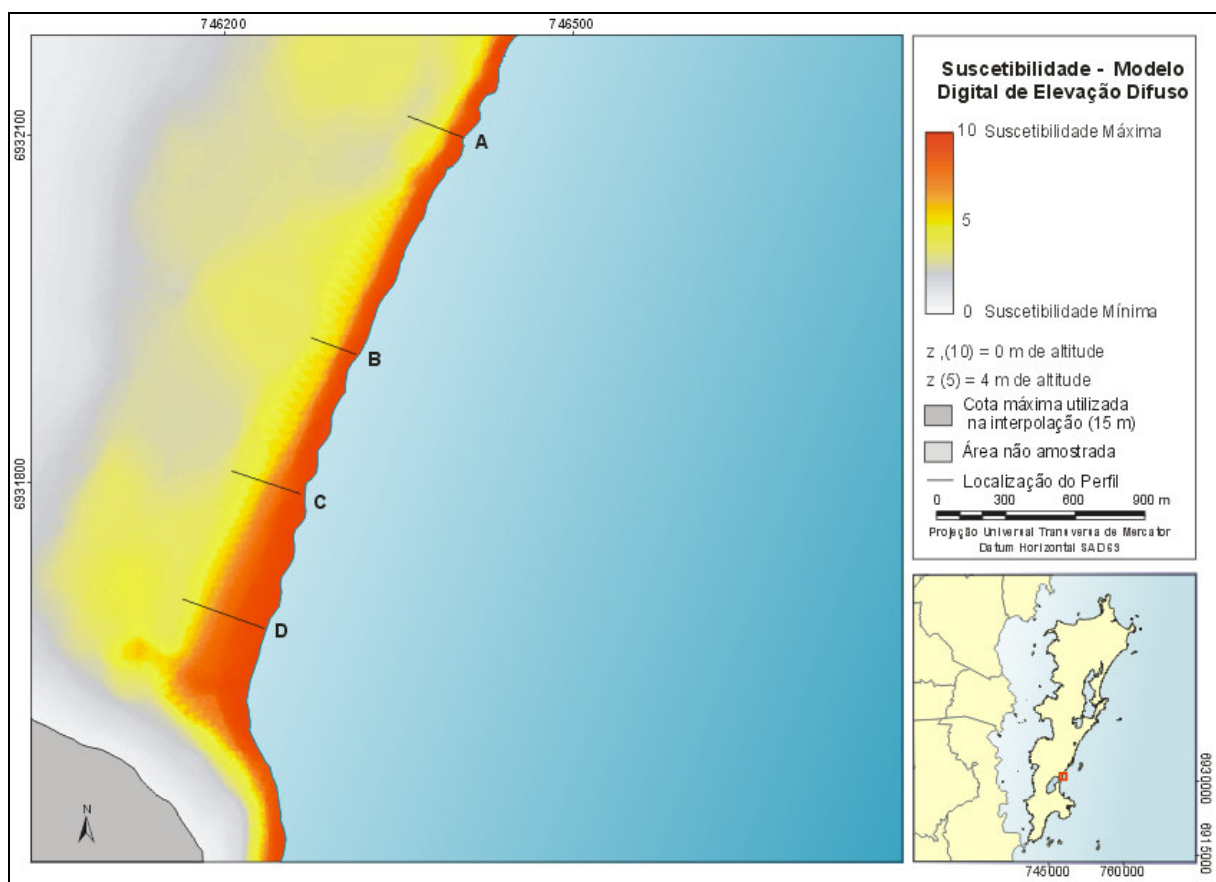
**FIGURA 27 - Modelo Digital de Elevação da Praia Morro das Pedras.**



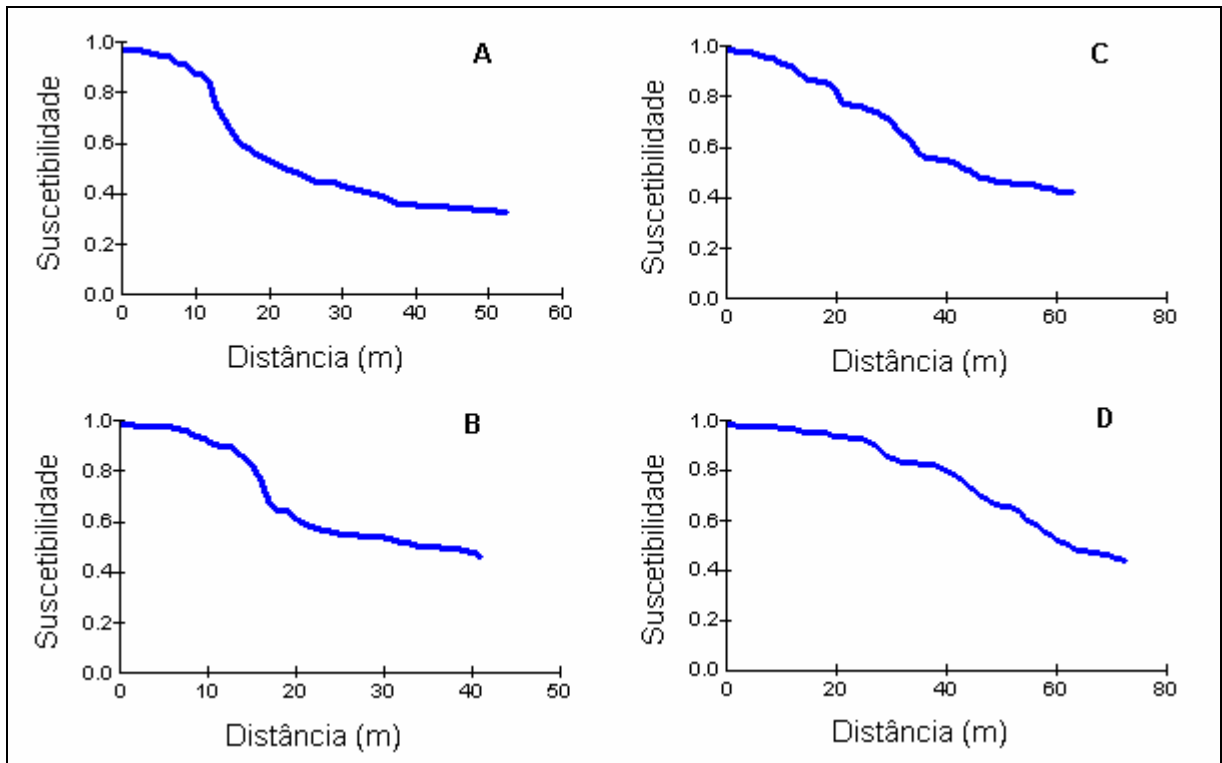
**FIGURA 28 – Perfis altimétricos na Morro das Pedras.**

#### 4.1.2.2 Suscetibilidade em Relação ao Modelo Digital de Elevação Difuso

Como já havia sido observado na praia dos Ingleses, o MDE difuso conseguiu destacar as áreas mais suscetíveis em relação à elevação. Nota-se que a faixa de maior suscetibilidade fica mais larga no sentido norte-sul (FIGURA 29). Isto é evidenciado analisando os perfis A, B, C e D das FIGURAS 29 e 30. No perfil A a suscetibilidade diminui rapidamente na duna frontal e depois diminui gradualmente na restinga. No perfil B observa-se o mesmo comportamento, mas com menor intensidade. Já nos perfis D e E a diminuição da suscetibilidade é bem mais suave.



**FIGURA 29 – MDE difuso da suscetibilidade em relação à elevação da Praia Morro das Pedras.**



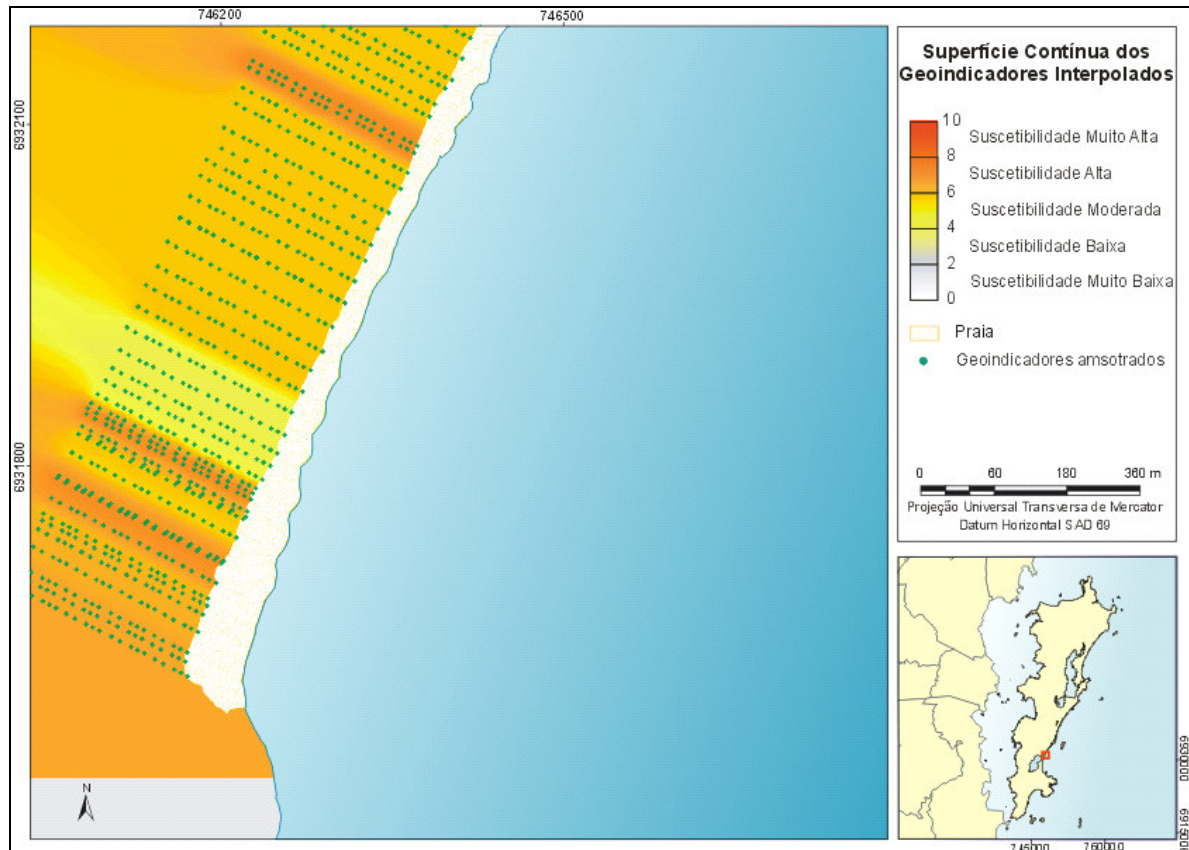
**FIGURA 30 – Perfis do MDE difuso na Praia Morro das Pedras.**

#### 4.1.2.3 Superfície Contínua da interpolação dos Geoindicadores

Para a interpolação inicialmente foram utilizados os 45 pontos amostrados ao longo da praia. Todavia, tanto a krigagem como o MIQD estavam gerando feições esféricas em torno dos pontos amostrados. BURROUGH (1998) menciona que este tipo de problema pode ocorrer, principalmente com o método MIQD. Para contornar este problema foram criadas artificialmente diversas faixas paralelas dos pontos amostrados, auxiliando o interpolador para que a variação dos geoindicadores fosse a mesma ao longo da linha de costa e no interior. No total foram utilizados 864 pontos e os parâmetros estatísticos dos pontos e de cada método constam no QUADRO 4. O interpolador que apresentou os resultados mais satisfatórios foi o MIQD FIGURA 31.

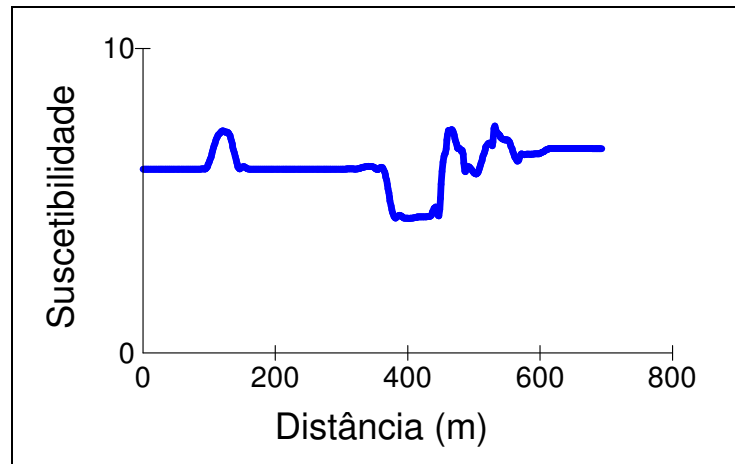
**QUADRO 4 - Geoindicadores de suscetibilidade.**

	<b>Pontos</b>	<b>MIQD</b>	<b>Krigagem</b>
<b>Mínimo</b>	4,42	4,42	4,42
<b>Máximo</b>	7,53	7,51	7,38
<b>Média</b>	6,17	6,15	6,08
<b>Desvio Padrão</b>	1,42	0,87	1,29



**FIGURA 31 – Superfície contínua da interpolação dos geoindicadores na praia Morro das Pedras.**

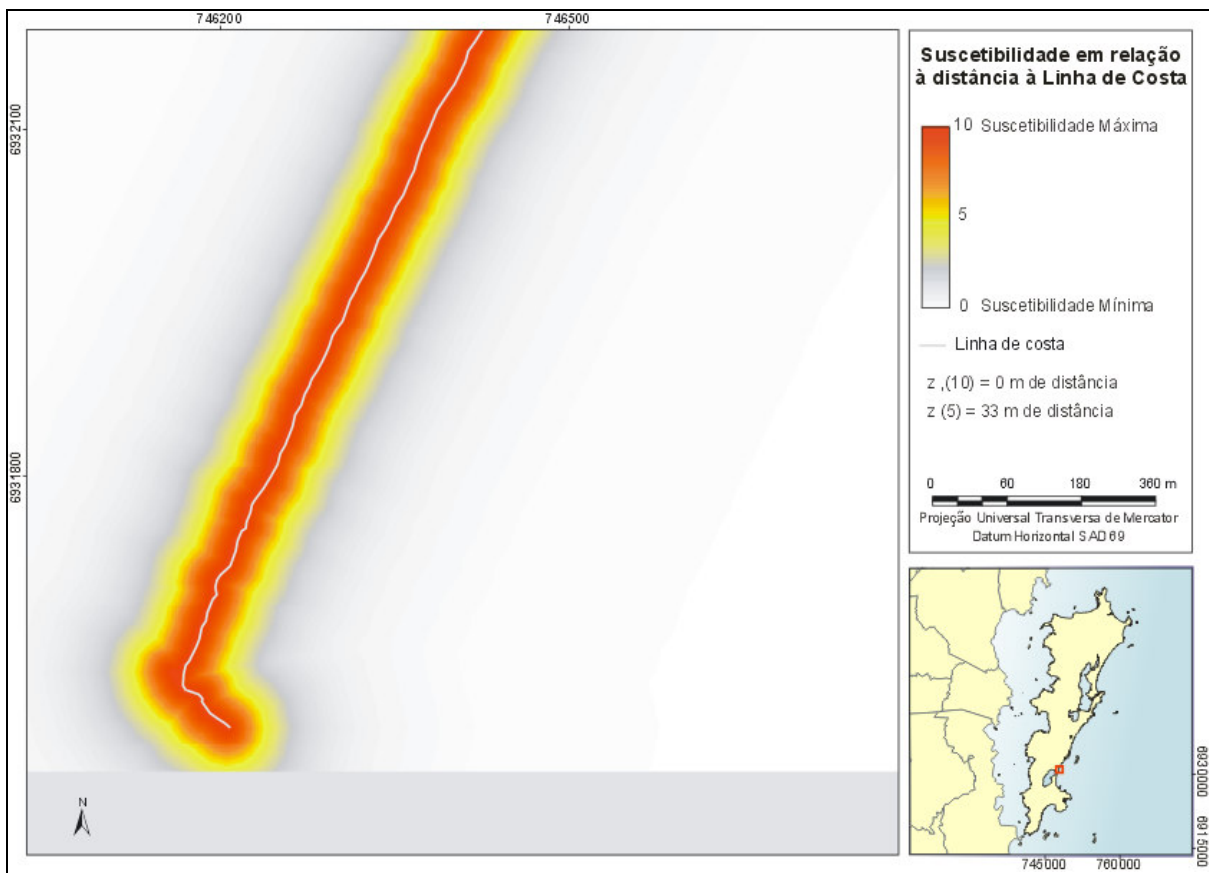
A variação dos índices ao longo da linha de costa está representado no perfil da FIGURA 32. Bem ao sul a praia apresentou susceptibilidade em torno de 6,5 (Suscetibilidade Alta). As dunas eram baixas e escarpadas, porém vegetadas ou estabelecidas. As duas faixas mais suscetíveis neste setor estão associados à presença de estruturas de engenharia mais próximos à base da duna frontal e pela vegetação mais degradada. Logo acima a susceptibilidade diminui rapidamente para 4,5 (Suscetibilidade Moderada), onde as dunas frontais são maiores e bem vegetadas. No setor central e norte a praia apresentou susceptibilidade em torno de 6,0 com dunas inferiores a 2 m e bem vegetadas. Em um trecho ao norte onde a duna estava alterada e sem vegetação e, portanto teve uma susceptibilidade de 7,5 (Suscetibilidade Alta).



**FIGURA 32 – Perfil NE-SW dos geoindicadores interpolados ao longo da Praia Morro das Pedras.**

#### 4.1.2.4 Superfície Contínua de Distância Difusa

A seguir está representada a superfície contínua de distância difusa para a Praia Morro das Pedras, mostrando a diminuição da suscetibilidade conforme a distância à linha de costa aumenta (FIGURA 33).

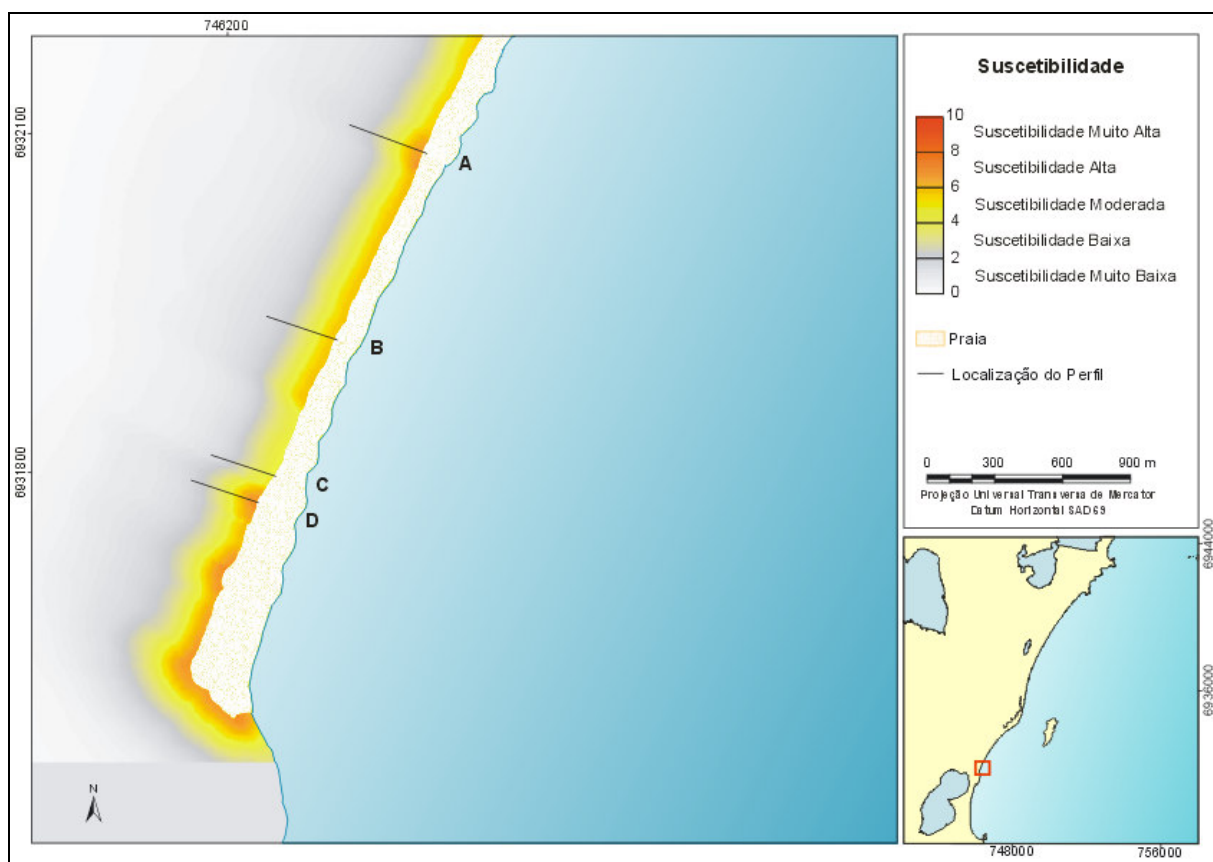


**FIGURA 33 – Superfície contínua de distância difusa da Praia Morro das Pedras.**



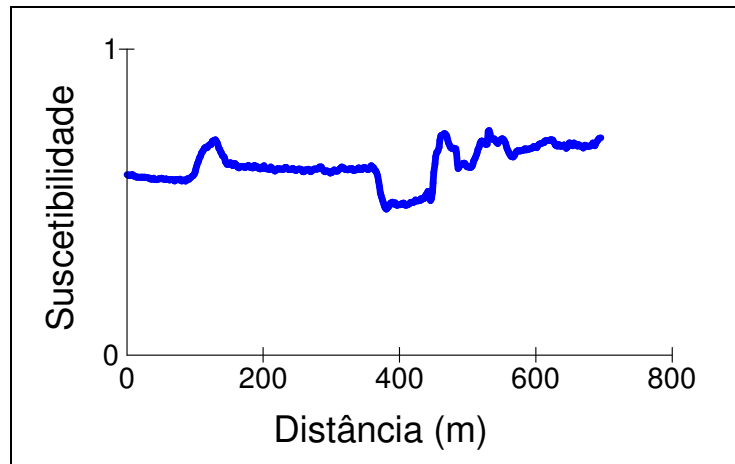
#### 4.1.2.5 Superfície Contínua de Suscetibilidade

A superfície contínua de suscetibilidade resultante da integração dos geoindicadores, do MDE difuso e da distância difusa está representada na FIGURA 34. Assim como na Praia dos Ingleses, ao longo da linha de costa, a suscetibilidade teve uma variação similar com à dos geoindicadores, conforme mostra o perfil da FIGURA 35. Todavia, nota-se que o MDE difuso também teve uma contribuição. De forma geral, a elevação aumentou a suscetibilidade ao sul, onde as áreas eram mais baixas, e diminuiu ao norte, onde as altitudes eram mais elevadas.

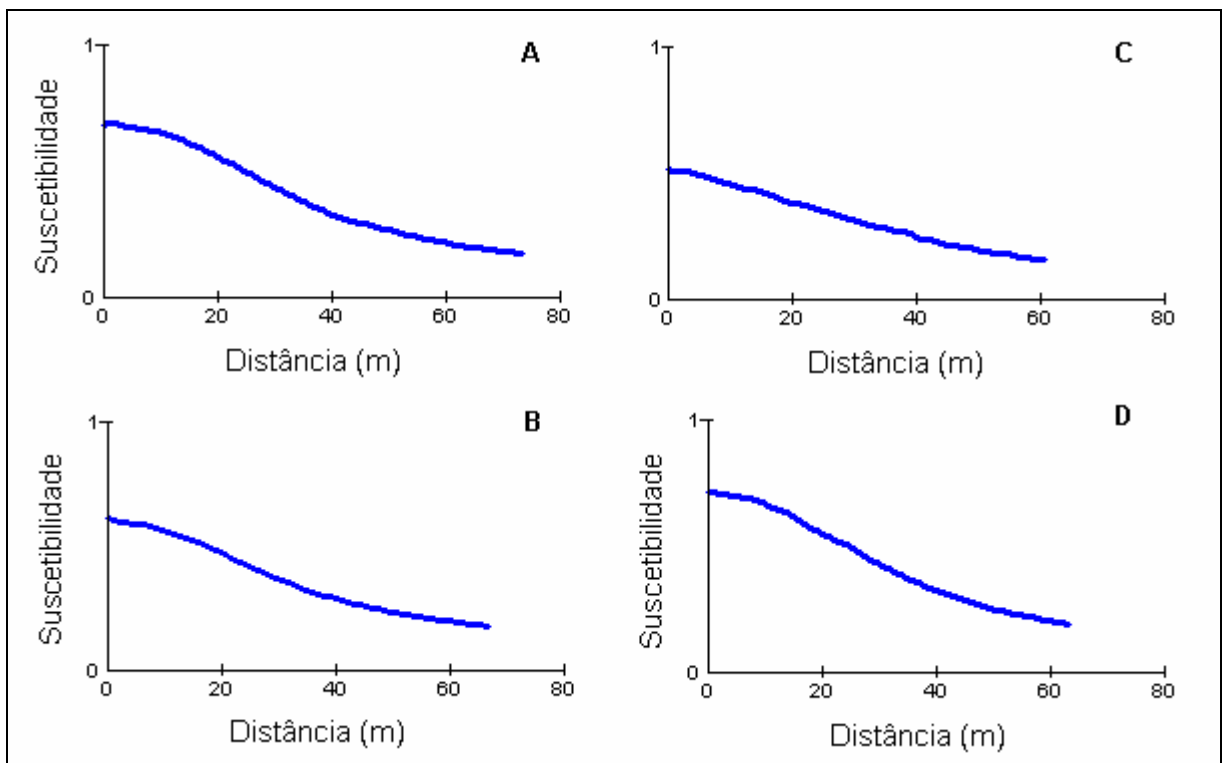


**FIGURA 34 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia Morro das Pedras.**

Em direção ao interior a diminuição da suscetibilidade esteve relacionada com a superfície contínua de distância difusa, já que ela teve uma importância de 0,8, enquanto que o MDE difuso apenas 0,2 (FIGURA 36).



**FIGURA 35 – Perfil NE-SW da suscetibilidade ao longo da Praia Morro das Pedras.**



**FIGURA 36 – Perfis de suscetibilidade perpendicularmente à linha de costa na Praia Morro das Pedras.**

Sobrepondo a base cartográfica com a superfície contínua de suscetibilidade pode-se observar como a suscetibilidade também está relacionada com a ocupação urbana. A FIGURA 37 A mostra dunas escarpadas, com vegetação estabelecida e pouca influência antrópica, apresentando Suscetibilidade Moderada a Alta. Já a FIGURA 37 B mostra uma visão panorâmica do setor sul da praia, com dunas frontais baixas, bastante vegetadas, porém fragmentadas. Desta forma, fica evidente também que a ocupação humana é um fator determinante na suscetibilidade, pois as

áreas mais suscetíveis ocorrem nas áreas onde a presença de muros e edificações (FIGURA 37 C) está mais próxima da praia.



**FIGURA 37 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia Morro das Pedras.**

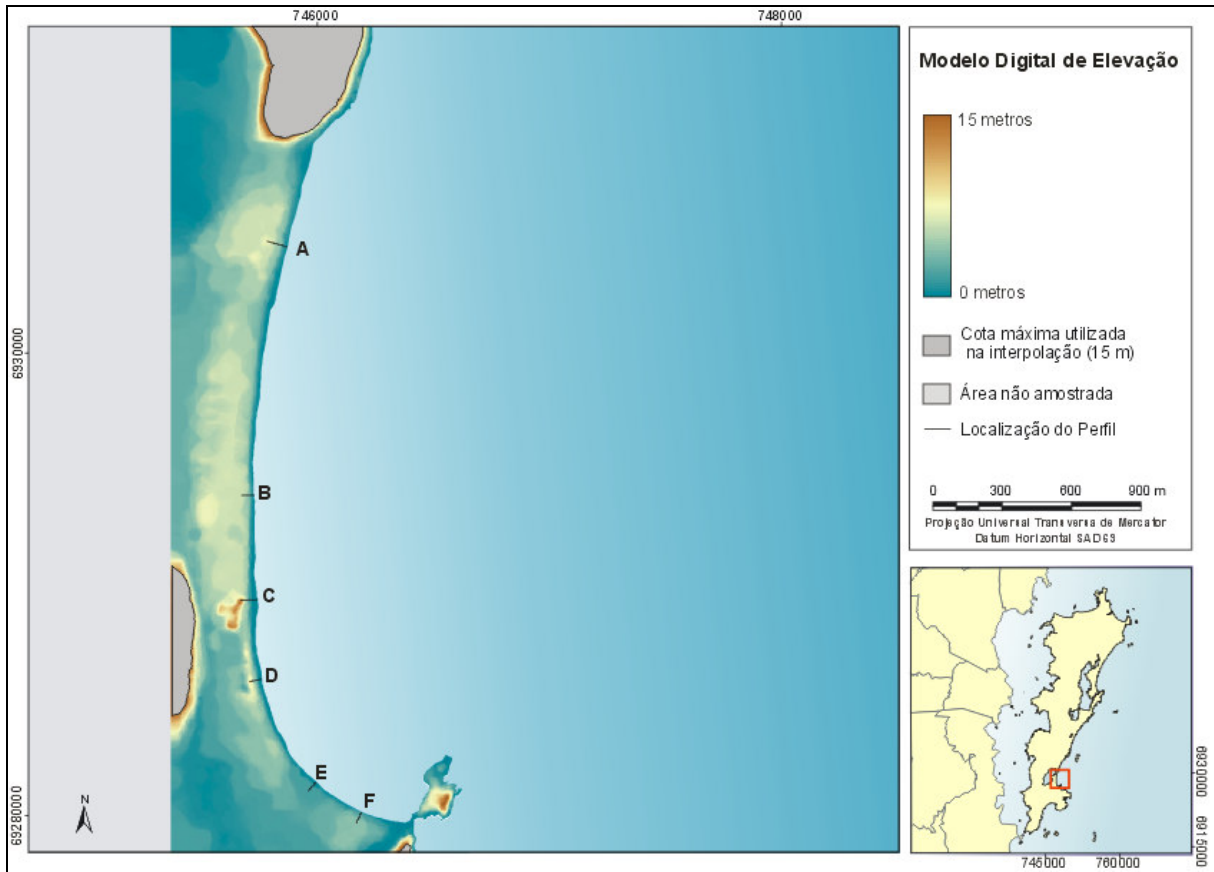
De forma geral os resultados do mapeamento da suscetibilidade foram satisfatórios, pois conseguiu integrar na avaliação fatores como os geoindicadores, a topografia e a distância. Todavia, um fator importante que não foi considerado na avaliação da suscetibilidade é a geologia local. Ao sul da praia encontra-se o embasamento cristalino, que tem uma suscetibilidade de sofrer os efeitos erosivos de uma maré de tempestade muito inferior do que depósitos arenosos. Esta área acabou obtendo valores maiores do que na realidade deveriam ter e, portanto, esta informação enriqueceria bastante a qualidade da avaliação e deveria ser considerada em outros trabalhos.

### 4.1.3 Praia da Armação

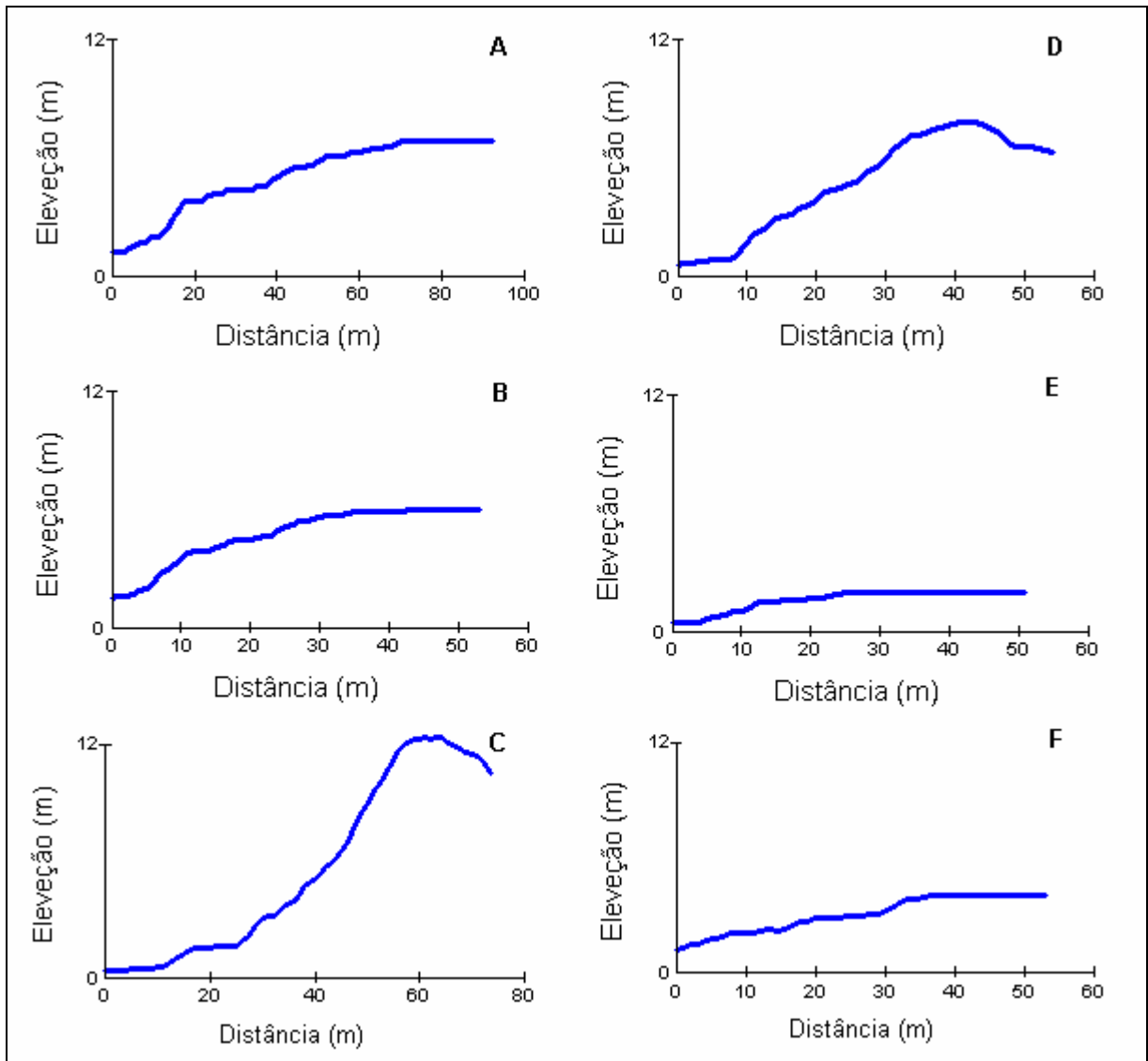
#### 4.1.3.1 Modelo Digital de Elevação

O MDE da Praia da Armação foi obtido a partir da interpolação de 25.406 pontos (FIGURA 38). As maiores altitudes estão associadas ao Granito Florianópolis

a oeste e a norte, e à Formação Cambirela, na Ponta das Campanhas a sul. Já as menores elevações são encontradas ao longo do Rio Quinco Antônio (em torno de 0 m). Analisando perfis perpendiculares, nota-se que as dunas são baixas na porção norte da praia (em torno de 1 m) e as altitudes aumentam gradativamente para cerca de 7 m na restinga (Perfis A e B das FIGURAS 38 e 39). No perfil C (FIGURAS 38 e 39) ocorrem as dunas frontais mais altas, com cerca de 10 m de altura. Um pouco mais ao sul as dunas frontais também são bem desenvolvidas, com alturas maiores que 2 m (Perfil C, FIGURAS 38 e 39). Já na porção sul as dunas frontais são baixas ou inexistentes e as altitudes variam em torno de 2 a 4 m (Perfis E e F, FIGURAS 38 e 39).



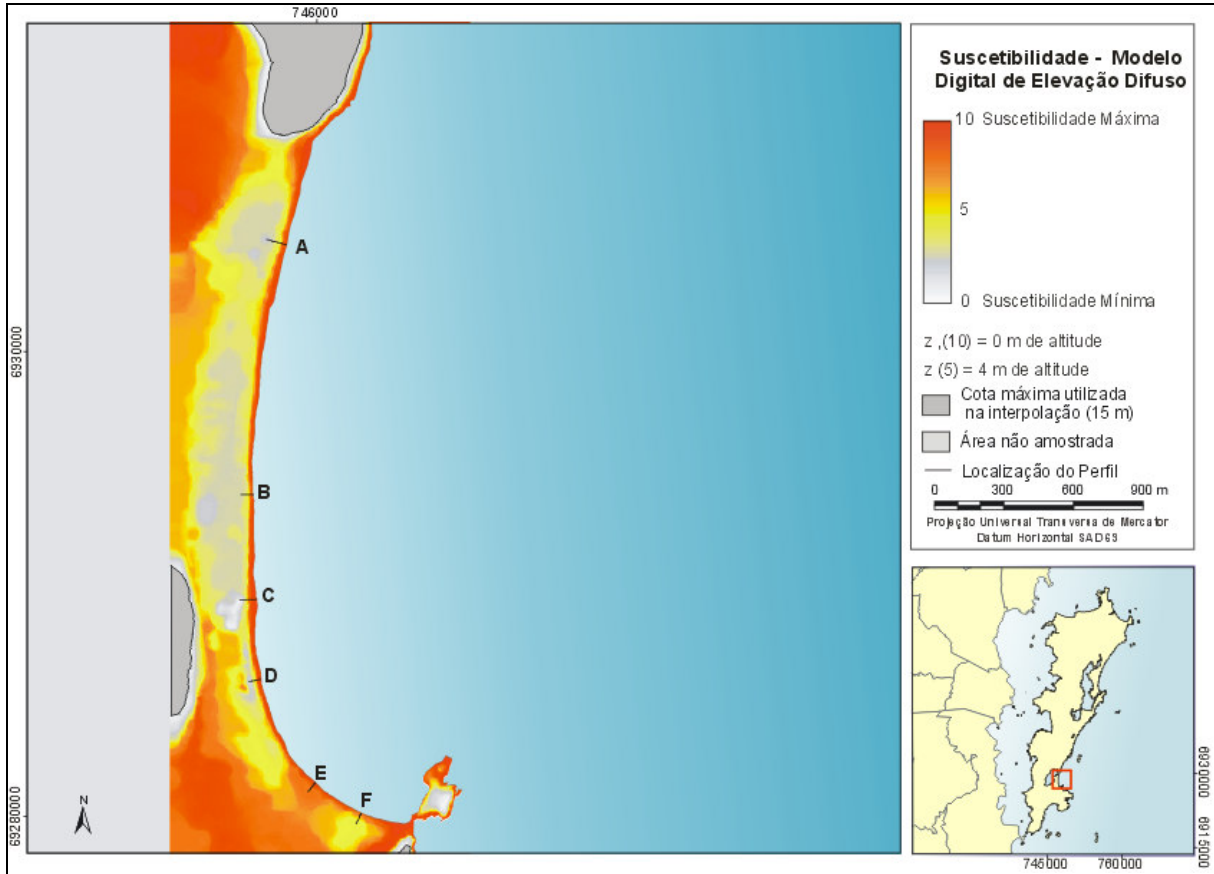
**FIGURA 38 - Modelo Digital de Elevação da Praia da Armação.**



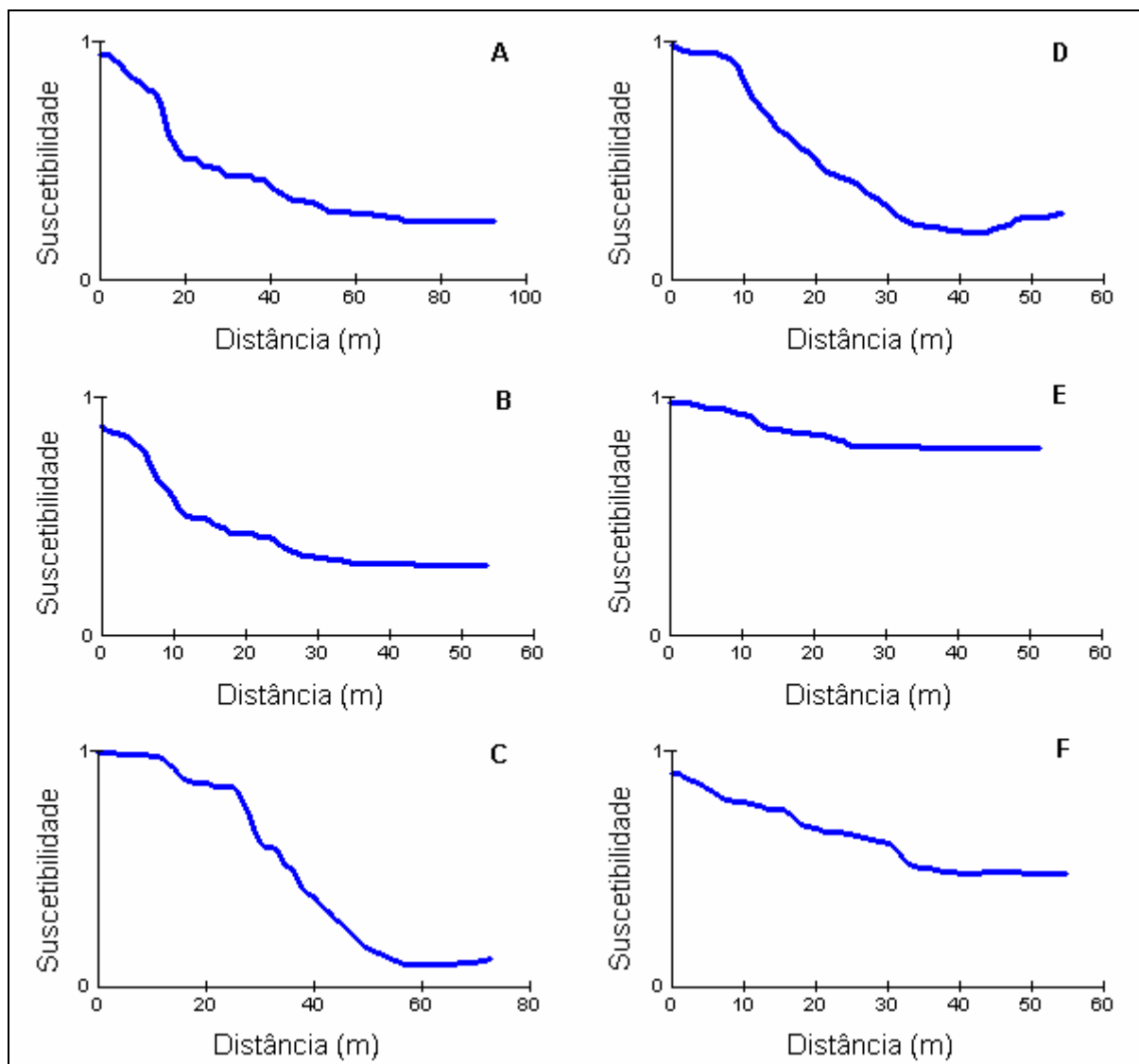
**FIGURA 39 – Perfis altimétricos na Praia da Armação.**

#### 4.1.3.2 Suscetibilidade em Relação ao Modelo Digital de Elevação Difuso

O MDE difuso está representado na FIGURA 40. Analisado os perfis das FIGURAS 40 e 41 nota-se que no setor norte (Perfis A, B e C e D) a suscetibilidade diminui rapidamente nos primeiros 20 a 50 m, em função da alta declividade da face praiar e da duna frontal. Quando o perfil atinge a restinga as sustentibilidades estabilizam entre 0,1 e 0,3. Já no Perfil E, devido à baixa declividade do terreno, a suscetibilidade permaneceu superior a 0,78.



**FIGURA 40 – MDE difuso da suscetibilidade em relação à elevação da Praia da Armação.**



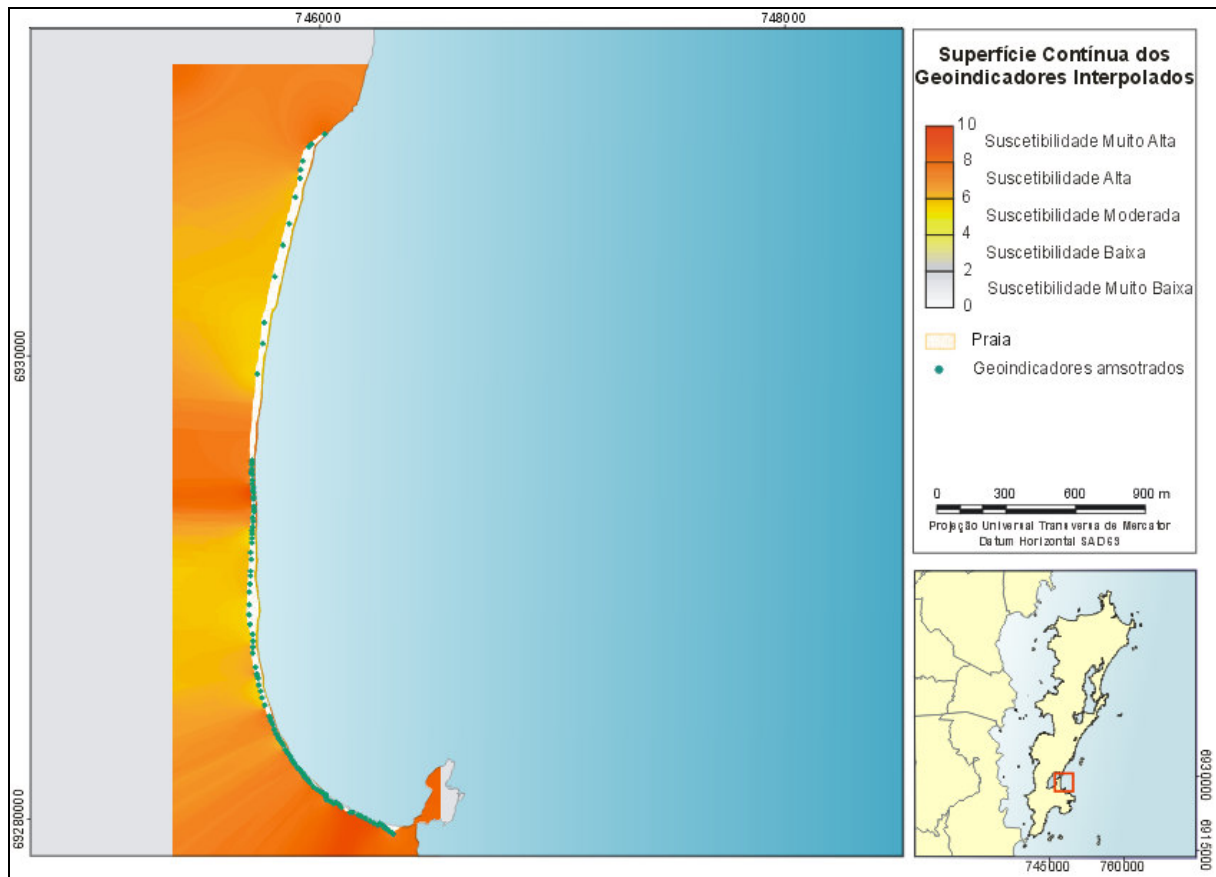
**FIGURA 41 – Perfis do MDE difuso na Praia da Armação.**

#### 4.1.3.3 Superfície Contínua da interpolação dos Geoindicadores

Para a interpolação dos geoindicadores foram utilizados 122 pontos amostrados ao longo da praia. No QUADRO 5 constam os principais parâmetros estatísticos dos pontos e dos métodos de interpolação MIQD e Krigagem. Ambos os métodos obtiveram resultados semelhantes, todavia, o MIQD foi o que melhor estimou a variação dos índices (FIGURA 42).

**QUADRO 5 - Geoindicadores de susceptibilidade.**

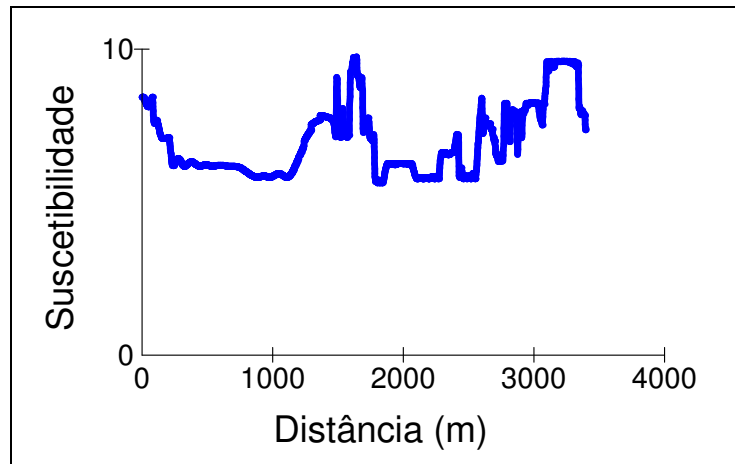
	<b>Pontos</b>	<b>MIQD</b>	<b>Krigagem</b>
<b>Mínimo</b>	5,63	5,63	5,95
<b>Máximo</b>	9,78	9,77	9,6
<b>Média</b>	7,51	7,18	7,21
<b>Desvio Padrão</b>	1,42	0,87	0,84



**FIGURA 42 – Superfície contínua da interpolação dos geoindicadores na praia da Armação.**

Na FIGURA 43 está representado um perfil dos geoindicadores ao longo da linha de costa. Os maiores valores são encontrados nos setores norte, central e sul. No setor sul, apesar de apresentar baixa energia de onda a praia apresenta indícios de erosão severa, com diversos muros de contenção e ausência de dunas frontais. De acordo com ABREU DE CASTILHOS (1997), este setor apresenta taxas de erosão de 0,5 m/ano. No setor central, a energia de onda é média, e a praia também apresenta indicadores de erosão severa, com muros na praia e ausência de dunas frontais. No extremo norte a susceptibilidade aumentou novamente devido à proximidade da estrada com a praia, pois não havia mais dunas frontais e interiores. Nos demais setores, as dunas frontais em geral são naturais, escarpadas e com vegetação presente ou estabelecida, apresentando uma Suscetibilidade Moderada e Alta em alguns pontos.

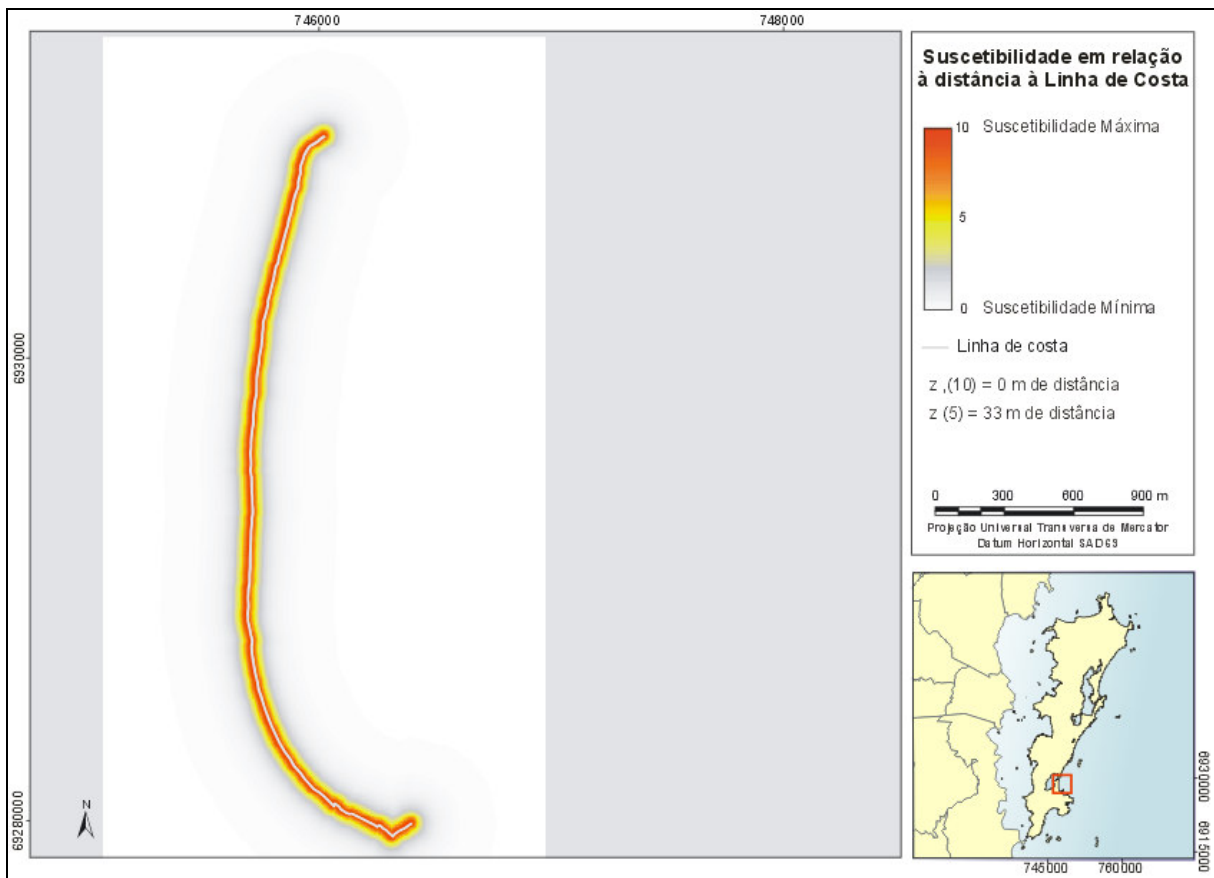




**FIGURA 43 – Perfil N-S dos geoindicadores interpolados ao longo da Praia da Armação.**

#### 4.1.3.4 Superfície Contínua de Distância Difusa

A Superfície contínua de distância difusa da Praia da Armação está representada na FIGURA 44.

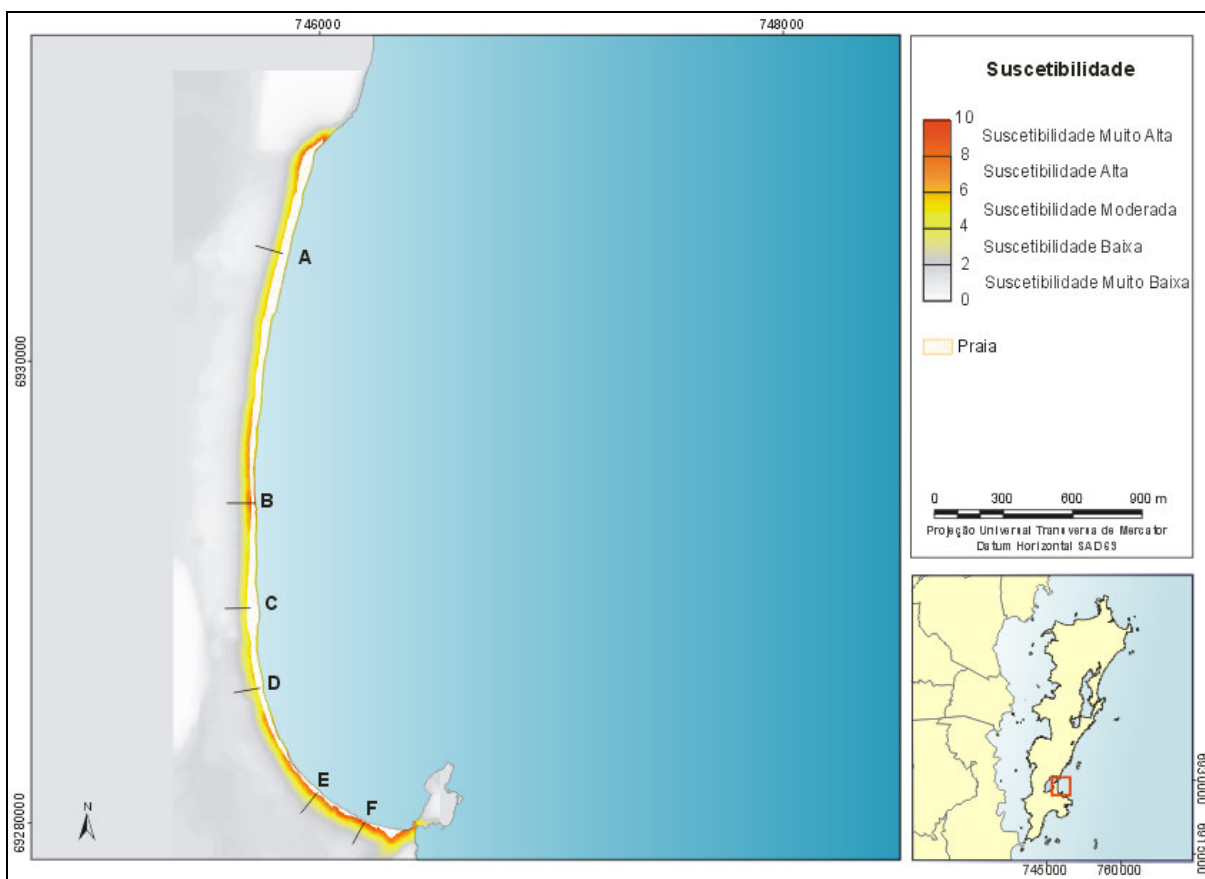


**FIGURA 44 – Superfície contínua de distância difusa da Praia da Armação.**

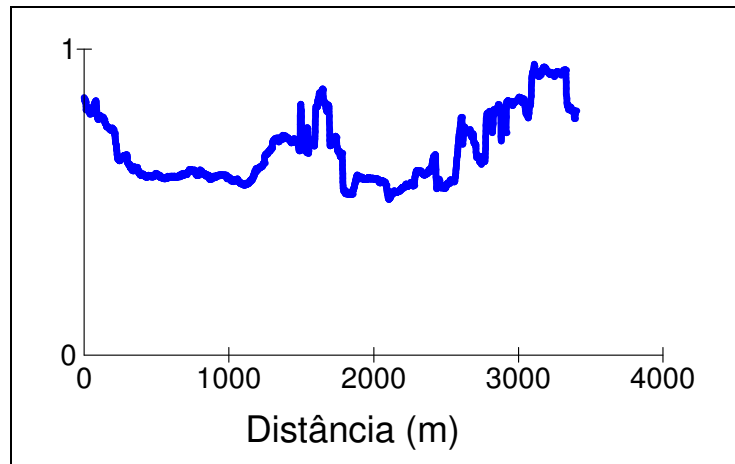
#### 4.1.3.5 Superfície Contínua de Suscetibilidade

A superfície contínua de suscetibilidade na Praia da Armação está representada na FIGURA 45. Destacam-se os setores de Suscetibilidade Muito Alta nos setores extremo norte, central e sul.

Ao longo da linha de costa a suscetibilidade teve uma variação bastante similar com a dos geoindicadores interpolados, todavia o MDE difuso foi importante para aumentar a suscetibilidade nos setores norte e sul (FIGURA 46), onde as altitudes eram mais baixas. Nos demais setores, o MDE difuso teve uma suscetibilidade menor, porém a grande variabilidade refletiu no perfil, conforme pode ser observado na FIGURA 49.

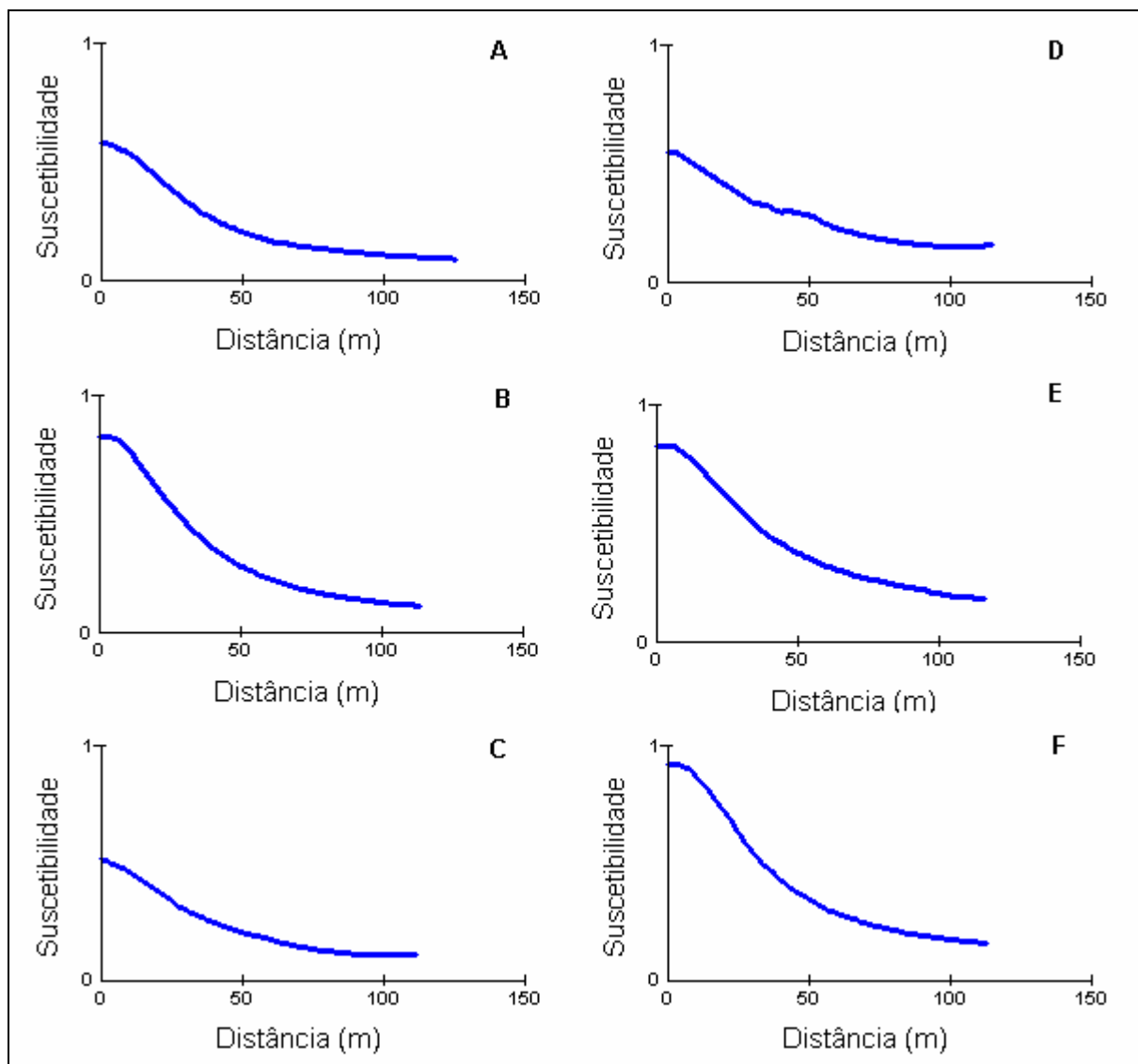


**FIGURA 45 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia da Armação.**



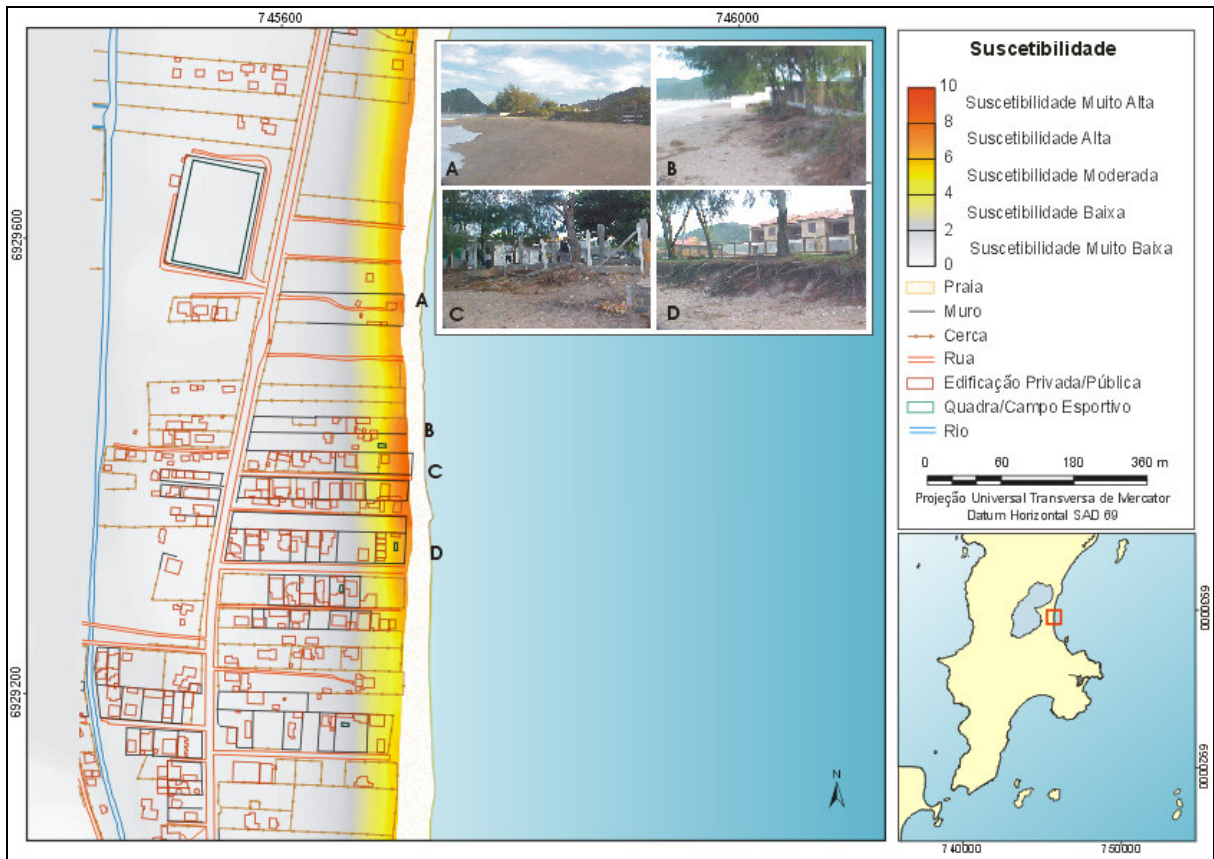
**FIGURA 46 – Perfil N-S da suscetibilidade ao longo da Praia da Armação.**

De acordo com os perfis das FIGURAS 45 e 47, a suscetibilidade diminui em direção ao interior de forma similar com a equação de distância difusa (FIGURA 11). Todavia, diferenças no comportamento podem ser notadas. Nos perfis A, B e C das FIGURAS 45 e 47 a suscetibilidade diminui para valores mais baixos, enquanto que nos perfis D, E e F para valores mais altos. Estas diferenças se devem principalmente ao MDE difuso.



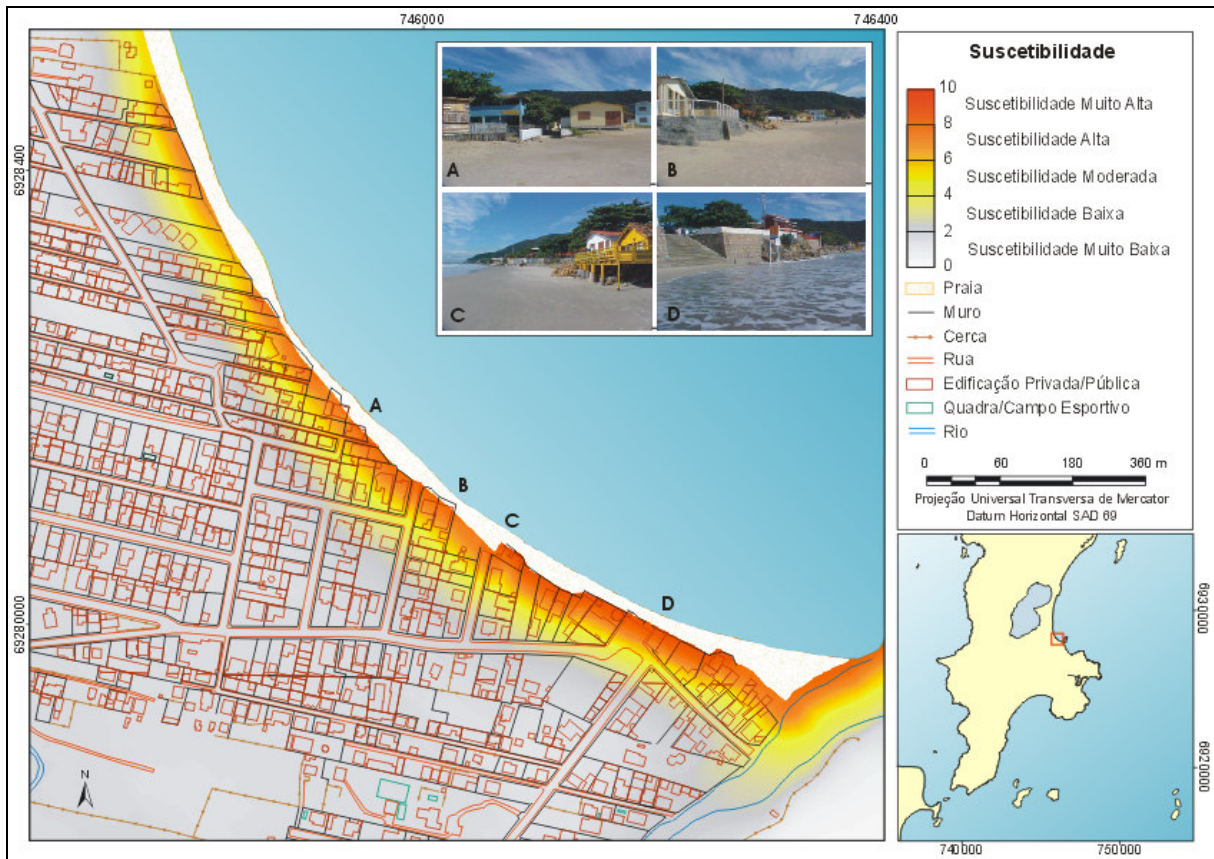
**FIGURA 47 – Perfis de suscetibilidade perpendiculares à linha de costa na Praia da Armação.**

A FIGURA 48 mostra em maior detalhe o setor central. Na FIGURA 48 A nota-se uma praia seca muito estreita, a duna frontal com indícios de escarpamento ativo e alterado pela presença de uma casa, cujo morador fez um muro de madeira para conter o avanço do mar. Nos pontos localizados nas FIGURAS 48 B, C e D, observa-se indícios de erosão severa, a duna frontal totalmente removida e a presença de muros praticamente na praia. No entorno destes quatro pontos a suscetibilidade foi avaliada como muito alta. Entre os pontos A e B e a norte de A a suscetibilidade esteve alta. Já a sul o ponto D a suscetibilidade diminui rapidamente para suscetibilidade moderada. As dunas frontais, apesar de baixas e escarpadas, estão preservadas e com vegetação bem estabelecida.



**FIGURA 48 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia da Armação.**

No setor sul foi onde a suscetibilidade teve os valores mais altos. Além de apresentar indícios de erosão intensa, com diversas estruturas de contenção e dunas frontais e interiores ausentes (FIGURAS 49 A, B, C e D), este setor é o setor mais baixo e plano (FIGURA 49).

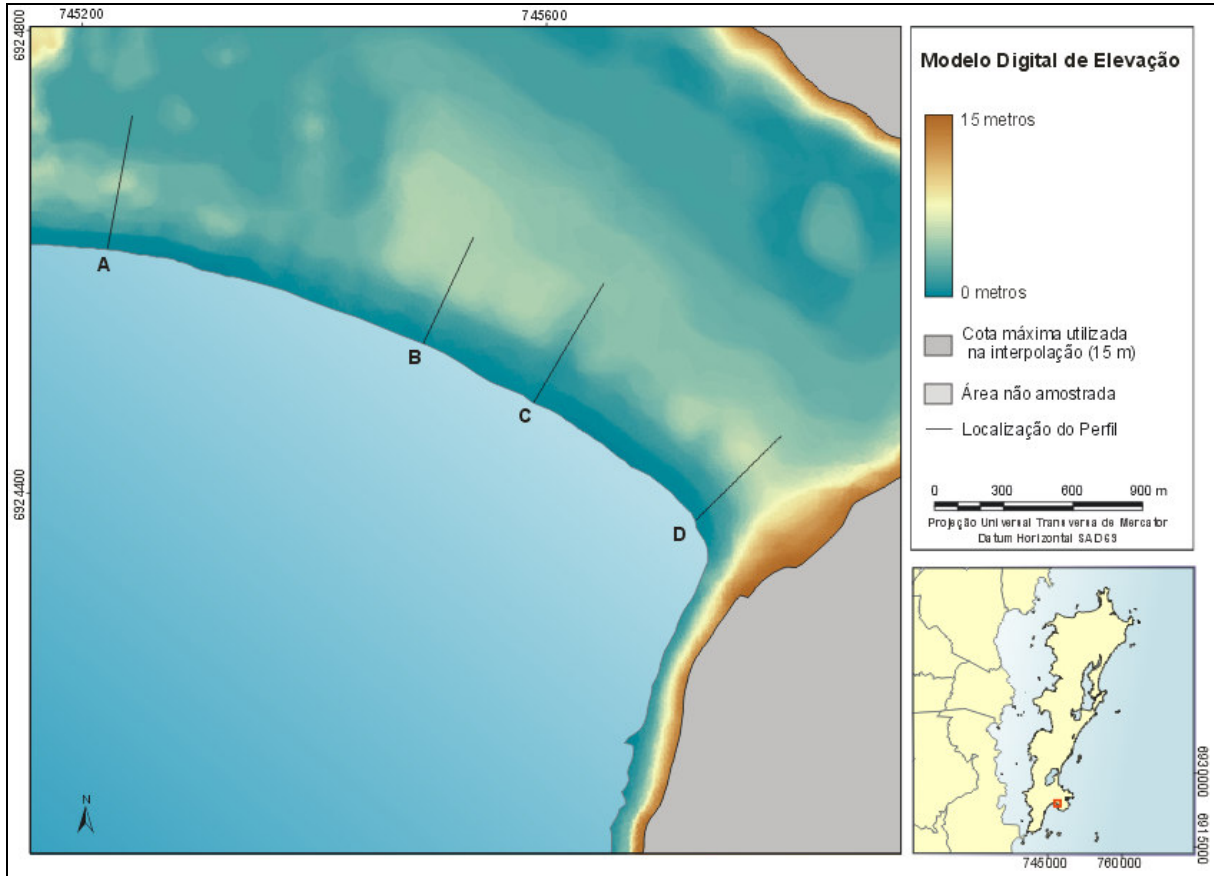


**FIGURA 49 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia da Armação.**

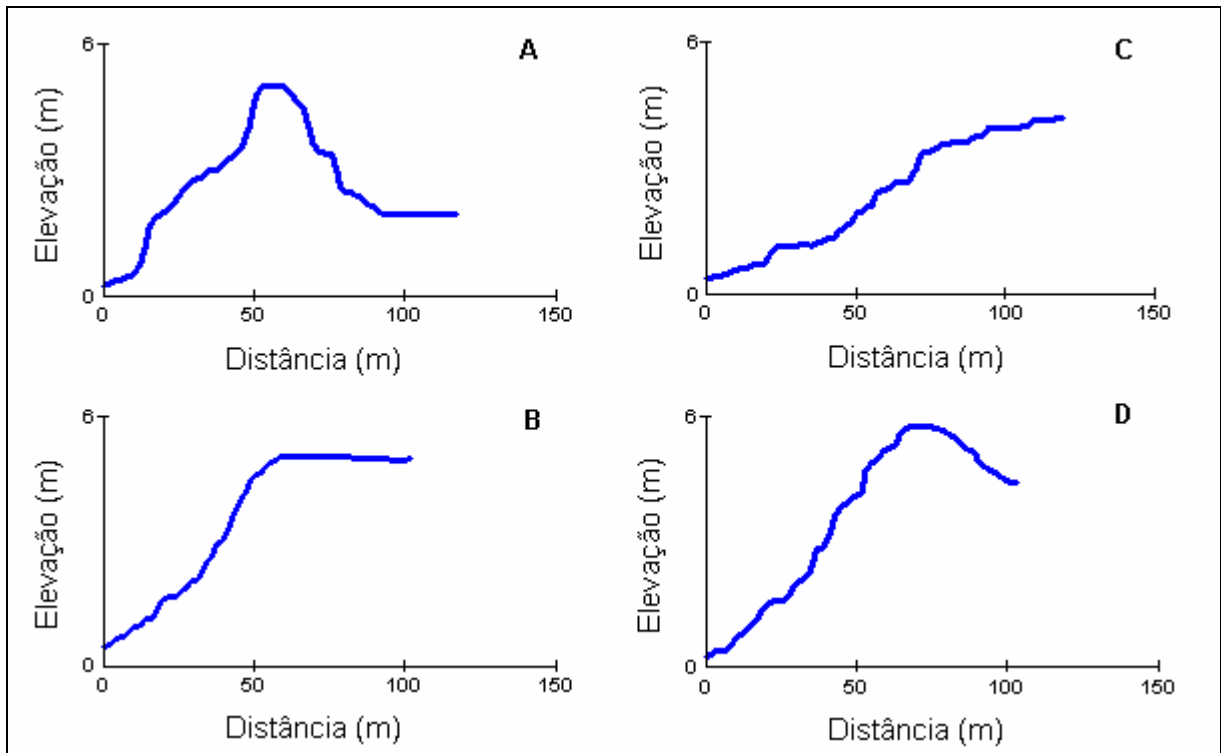
#### 4.1.4 Praia Pântano do Sul

##### 4.1.4.1 Modelo Digital de Elevação

O MDE da Praia Pântano do Sul foi gerado a partir da interpolação de 28.255 pontos e está representado na FIGURA 50. As maiores altitudes são encontradas no embasamento cristalino situados a leste e sudeste. No perfil A das FIGURAS 50 e 51 as dunas frontais atingem altitudes em torno de 2 a 3 m e as dunas interiores em torno de 5 m. Nos perfis B, C e D das FIGURAS 50 e 51 a presença do depósito marinho praiial holocênico faz com que as altitudes se desenvolvem gradativamente para 4 a 6 m e as dunas frontais são pouco desenvolvidas ou ausentes. Em direção ao interior as altitudes voltam a baixar para altitudes que variam em torno dos 2 m onde ocorrem depósitos lagunares e fluvio-lagunares holocênicos.



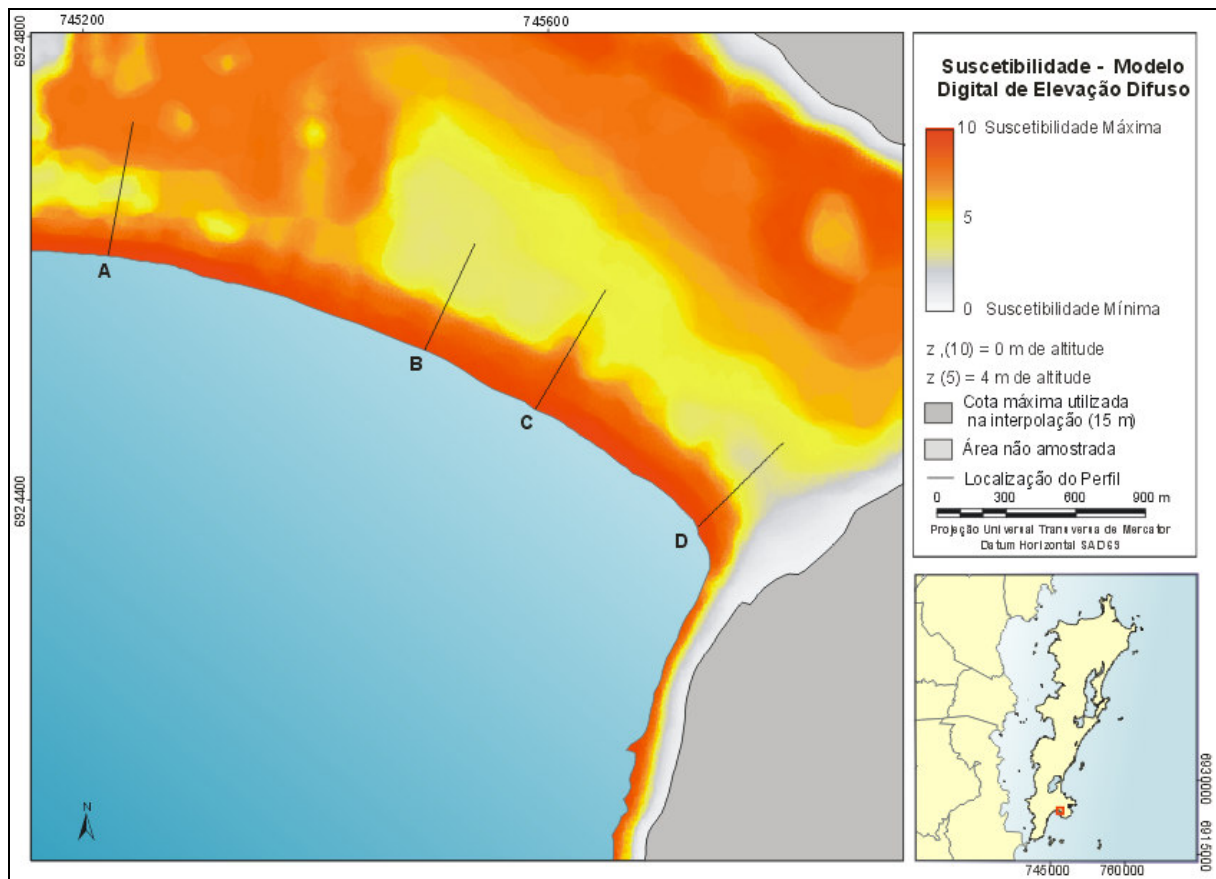
**FIGURA 50 - Modelo Digital de Elevação da Praia Pântano do Sul.**



**FIGURA 51 – Perfis altimétricos na Praia Pântano do Sul.**

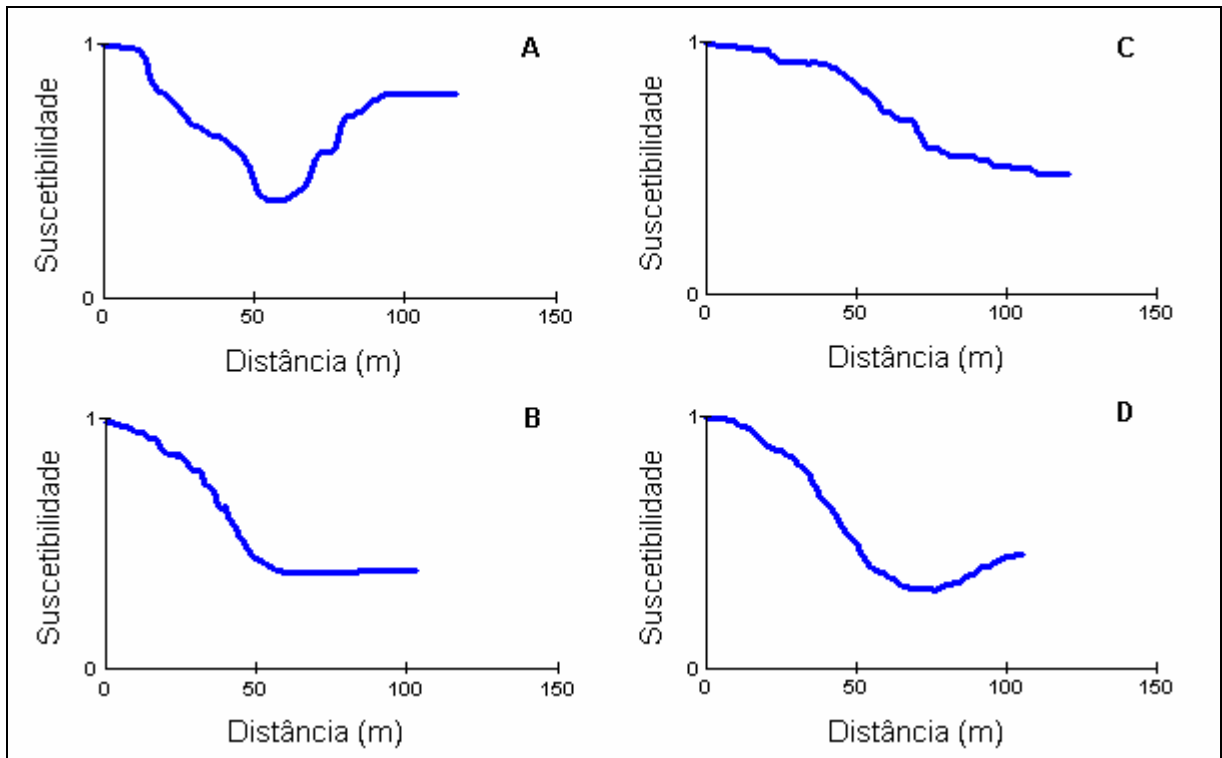
#### 4.1.4.2 Suscetibilidade em Relação ao Modelo Digital de Elevação Difuso

O MDE difuso da Praia Pântano do Sul mostra a suscetibilidade da área em relação à topografia (FIGURA 52). Elas estão localizadas no depósito marinho praiial holocênico mais recente, e no depósito lagunar e fluvio-lagunar. O perfil A das FIGURAS 52 e 53 mostra a suscetibilidade diminuindo rapidamente devido à presença das dunas frontais e interiores e aumentando novamente nas partes mais baixas da restinga. Já nos perfis B, C e D das FIGURAS 52 e 53 a suscetibilidade diminui de forma mais gradual e estabiliza em torno de 0,3 e 0,5 no depósito marinho-praiial holocênico.



**FIGURA 52 – MDE difuso da suscetibilidade em relação à elevação da Praia Pântano do Sul.**





**FIGURA 53 – Perfis do MDE difuso na Praia Pântano do Sul.**

#### 4.1.4.3 Superfície Contínua da interpolação dos Geoindicadores

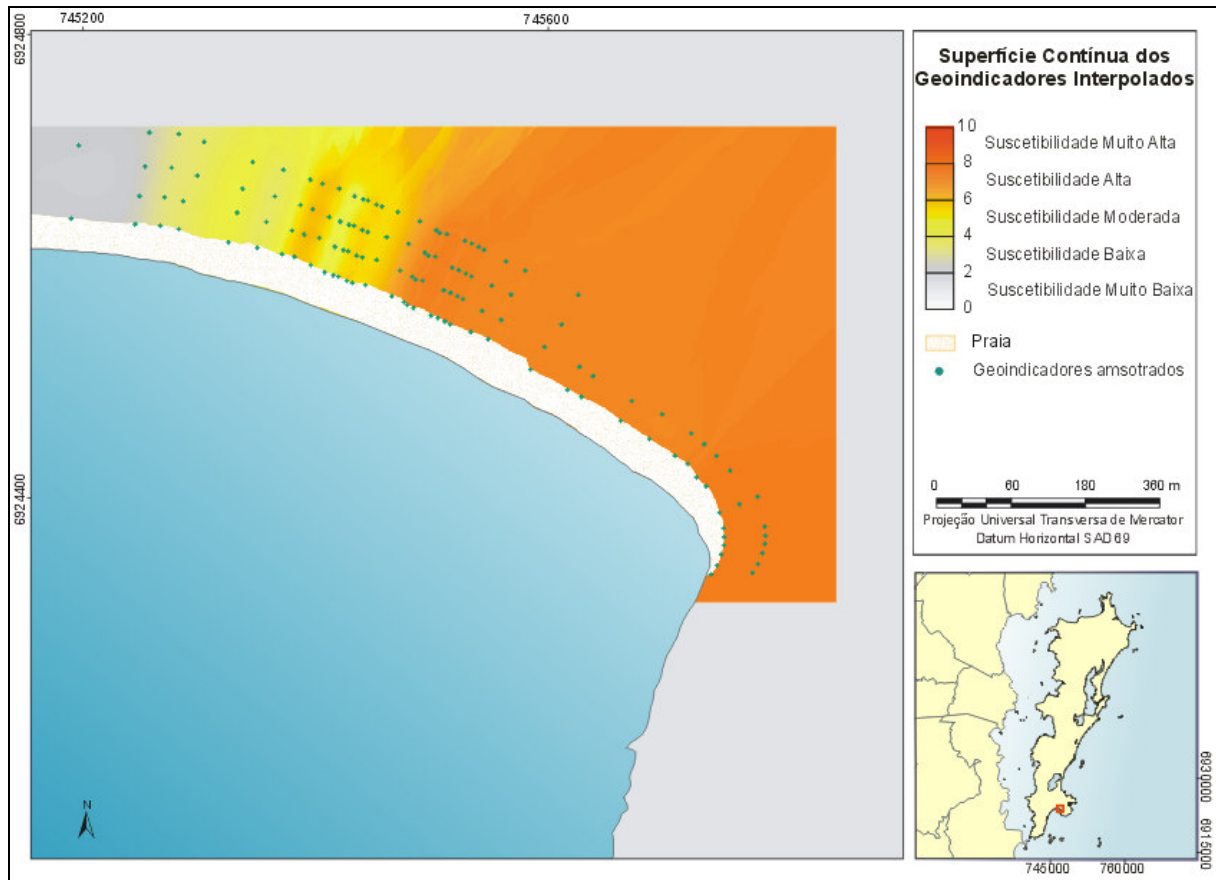
Os geoindicadores de suscetibilidade da Praia Pântano do Sul foram avaliados em 41 pontos ao longo da linha de costa. Como em alguns setores a interpolação estava gerando feições esféricas em torno dos pontos, assim como na Praia Morro das Pedras, foram criadas faixas paralelas dos pontos avaliados nas áreas localizadas atrás da linha de costa. Desta forma, para a interpolação foram utilizados 134 pontos. Os principais parâmetros estatísticos dos pontos e dos métodos de interpolação utilizados constam no QUADRO 6.

QUADRO 6 - Geoindicadores de suscetibilidade.

	Pontos	MIQD	Krigagem
<b>Mínimo</b>	2,48	2,48	2,39
<b>Máximo</b>	7,8	7,8	7,8
<b>Média</b>	6,29	6,25	6,18
<b>Desvio Padrão</b>	1,67	1,59	1,67

Com base nestes parâmetros o método MIQD apresentou os valores mais próximos aos pontos amostrados. Todavia, o método MIQD continuou apresentando feições to tipo olho de peixe, enquanto a krigagem conseguiu estimar de forma mais satisfatória a variação espacial dos geoindicadores. Desta forma o método utilizado para a interpolação foi krigagem e superfície contínua resultante está representada

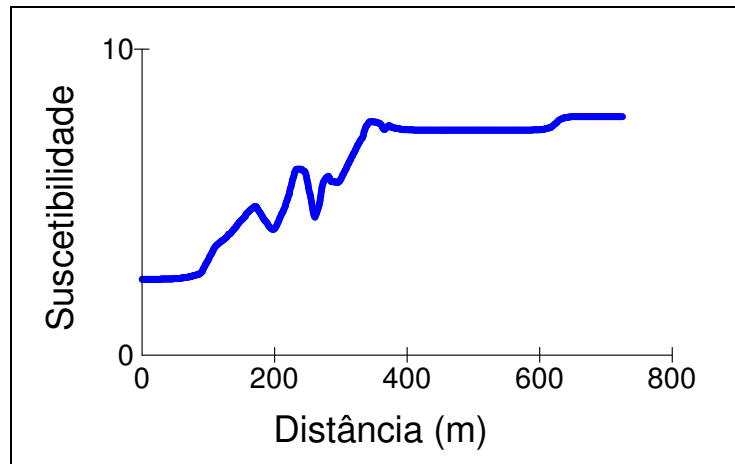
na FIGURA 54. Isto indica que não existe um interpolador ideal e que é importante testar o desempenho antes.



**FIGURA 54 – Superfície contínua da interpolação dos geoindicadores na Praia Pântano do Sul.**

Mais da metade do setor sudeste da praia apresentou Suscetibilidade Alta, com valores superiores a 7,35 (FIGURA 55). Neste setor a praia é erosiva, possui estruturas de contenção freqüentes e as dunas frontais são escarpadas, pouco vegetadas ou ausentes. Os valores máximos, em torno de 7,8, foram obtidos nos extremos noroeste e sudeste deste setor onde as dunas frontais eram ausentes e haviam diversas estruturas de contenção. Apesar destas características, este setor não foi tão suscetível como alguns setores das praias dos Ingleses e da Armação. Isto se deve ao fato deste setor não ter sido classificado como sendo de erosão severa, além da praia ter largura média e a energia de onda ser baixa.

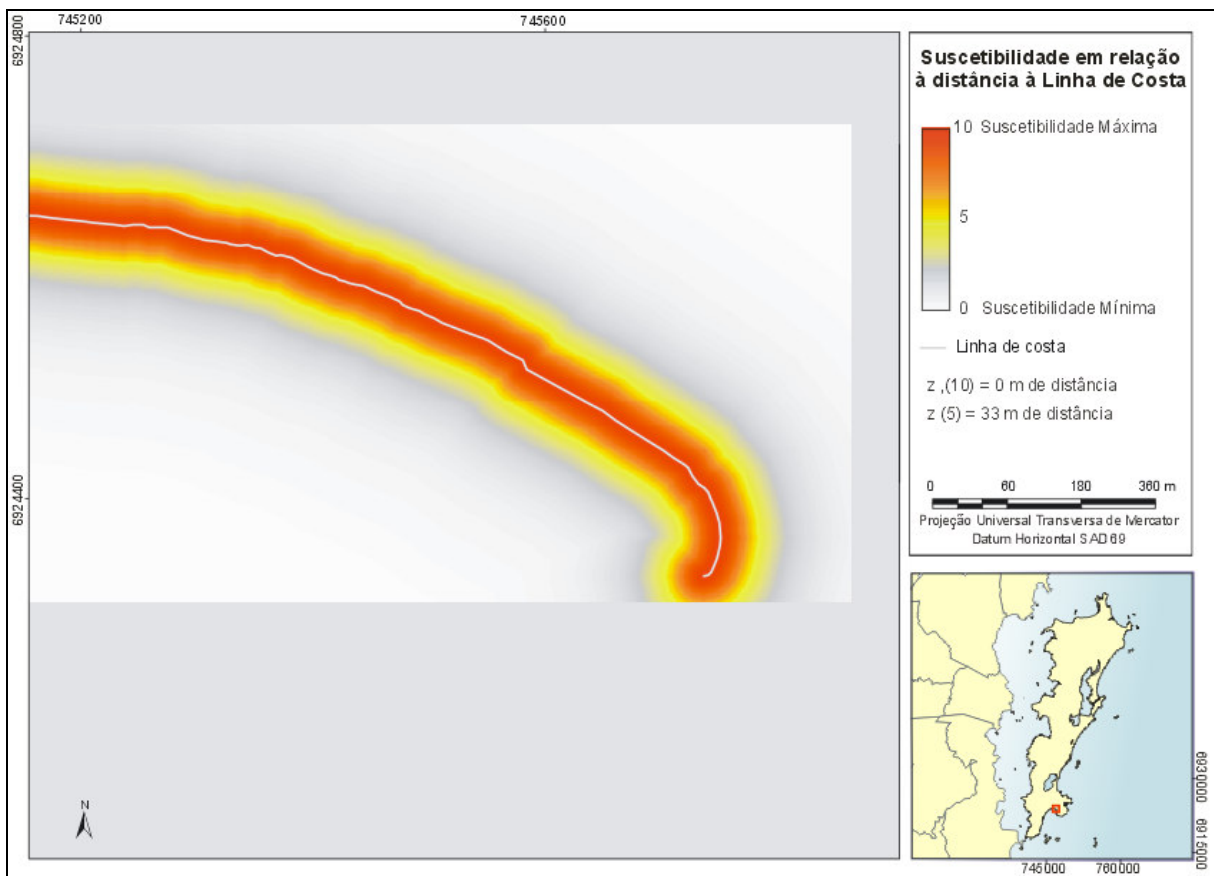
No sentido noroeste as dunas frontais são mais bem desenvolvidas, mais preservadas e menos escarpadas; as estruturas de contenção são ausentes e a praia não apresenta indícios de erosão recente. Conforme estas qualidades vão aumentando, a susceptibilidade vai diminuindo até se estabilizar em 2,48.



**FIGURA 55 – Perfil NW-SE dos geoindicadores interpolados ao longo da Praia Pântano do Sul.**

#### 4.1.4.4 Superfície Contínua de Distância Difusa

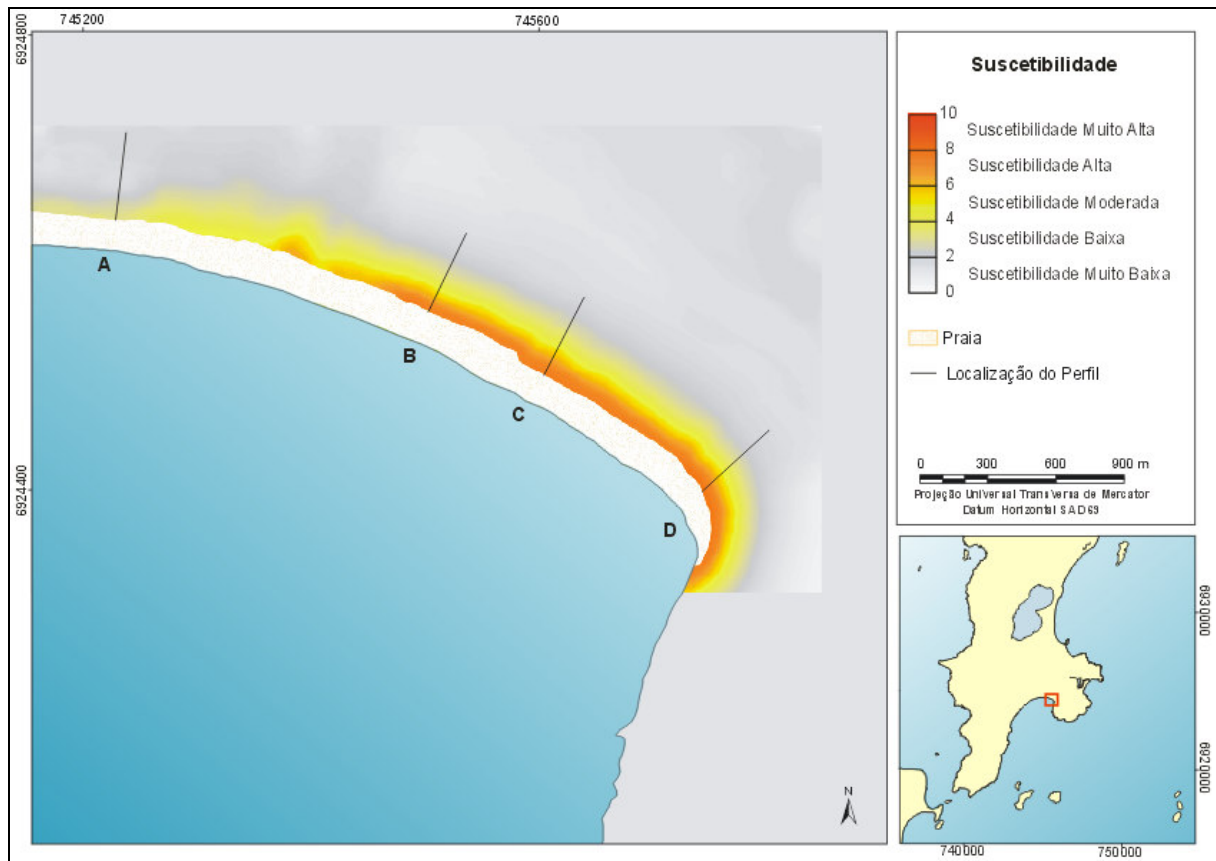
A superfície de distância difusa está representada na FIGURA 56. A suscetibilidade diminui conforme a distância da linha de costa aumenta, seguindo a função difusa representada graficamente na FIGURA 11.



**FIGURA 56 – Superfície contínua de distância difusa da Praia Pântano do Sul.**

#### 4.1.4.5 Superfície Contínua de Suscetibilidade

Na FIGURA 57 está representada a superfície contínua de suscetibilidade. Ao longo da linha de costa a suscetibilidade variou de forma similar aos geoindicadores interpolados (FIGURAS 55 e 58). Já perpendicularmente à linha de costa a diminuição seguiu o padrão na função difusa de distância, entretanto, é possível notar as influências do MDE difuso, principalmente no perfil A (FIGURAS 57 e 59).

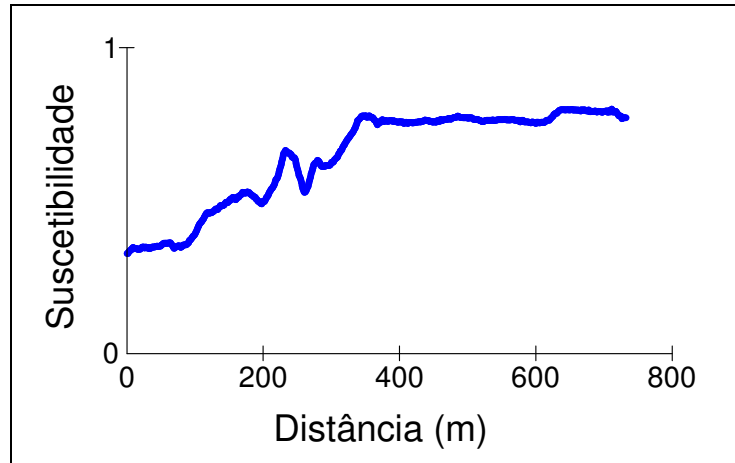


**FIGURA 57 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia Pântano do Sul.**

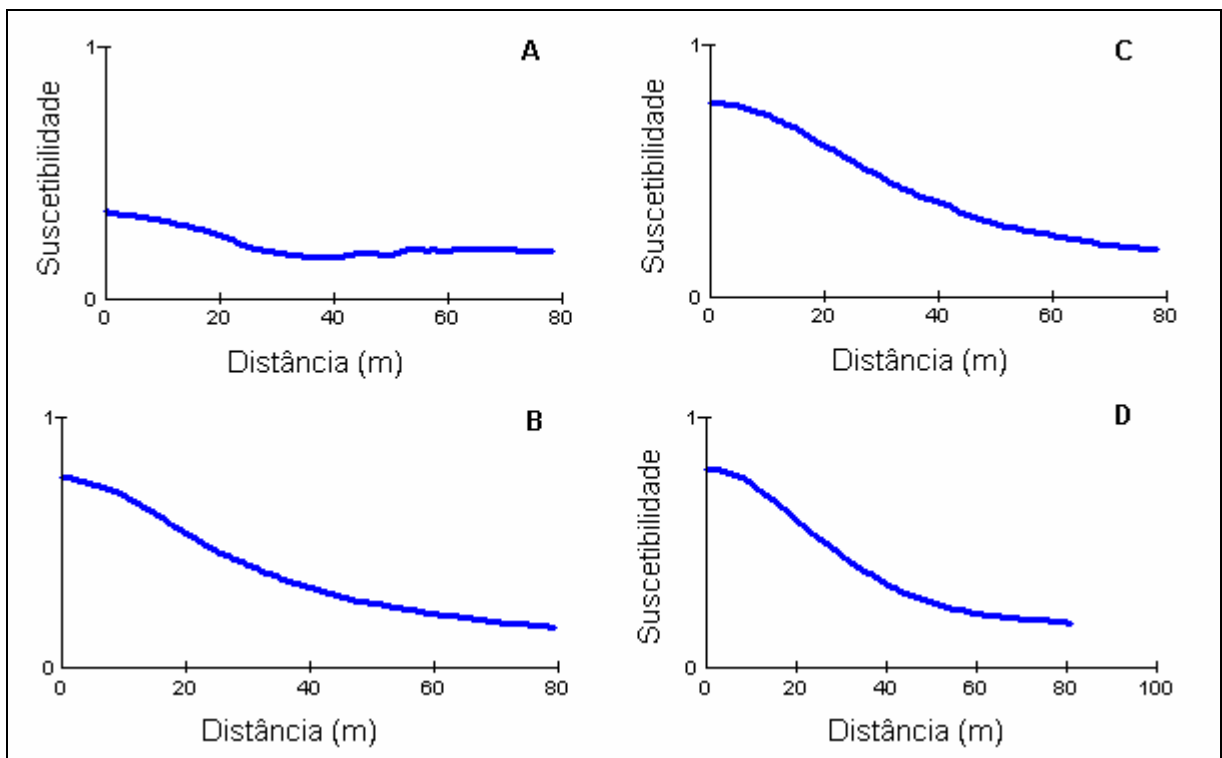
O setor mais suscetível apresentou valores em torno de 0,8, estando localizado nas áreas mais baixas da praia, indicando que o MDE difuso contribuiu para o aumento da suscetibilidade nesta faixa. Desta forma, este setor ficou no limiar entre Suscetibilidade Alta e Muito Alta.

O menor valor de suscetibilidade obtido foi de 0,07, estando localizado nas áreas mais elevadas do embasamento cristalino no costão sudeste, próximas da praia. Assim, as suscetibilidades mais baixas não foram apenas em função da maior distância, mas também em função da elevação, indicando uma boa sensibilidade do modelo. Todavia, uma limitação do modelo é que ele não considera a geologia local,

como foi discutido para a Praia Morro das Pedras. Assim, uma parte do embasamento cristalino do costão sul foi classificada como sendo de Suscetibilidade Alta, o que não representa a realidade.



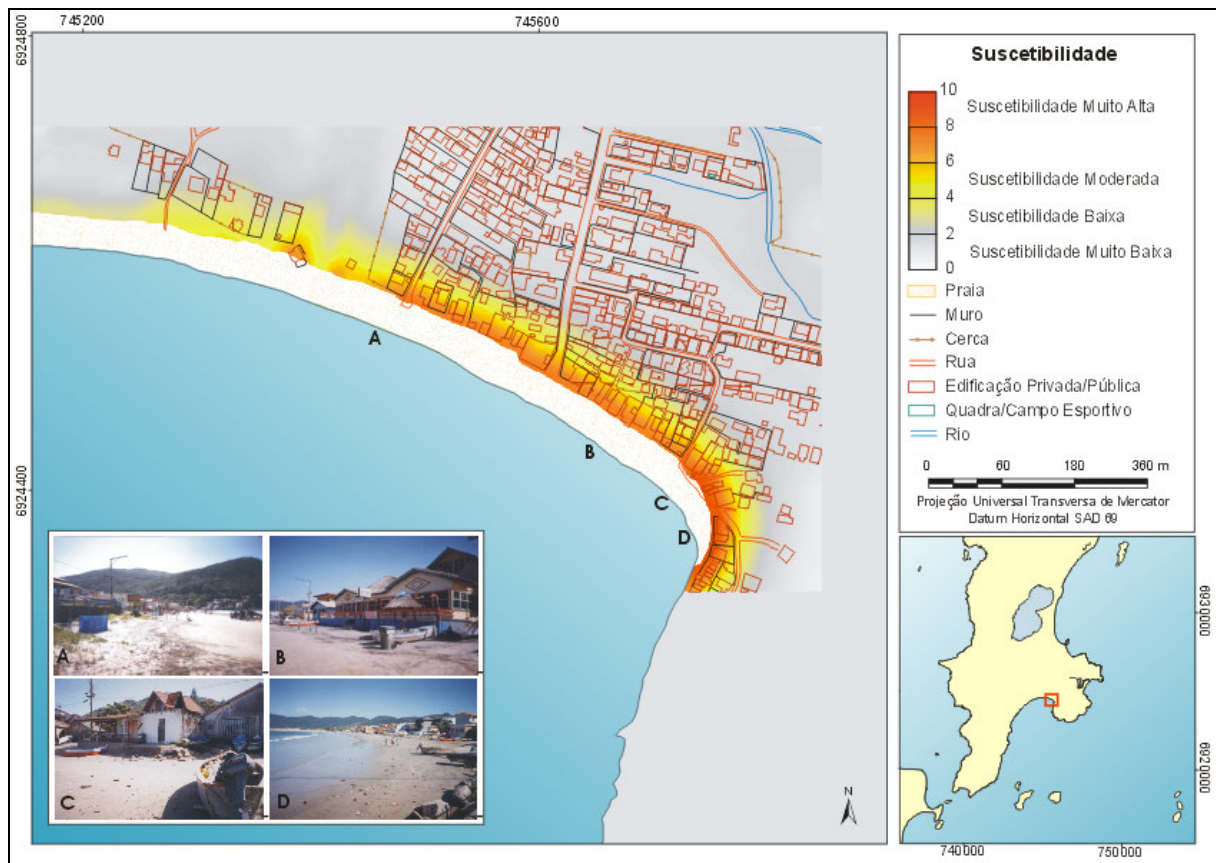
**FIGURA 58 – Perfil NW-SE da suscetibilidade ao longo da Praia Pântano do Sul.**



**FIGURA 59 – Perfis de suscetibilidade perpendiculares à linha de costa na Praia Pântano do Sul.**

Na FIGURA 60 fica bastante evidente que as maiores suscetibilidades estão diretamente relacionadas com a ocupação humana em áreas inadequadas. A FIGURA 60 A mostra a transição onde o aumento da ocupação na beira da praia passa a ser determinante no aumento da suscetibilidade. No setor sul, diversas

edificações estão na praia e a única proteção que elas tem contra as marés de tempestades são muros de contenção, quando eles existem (FIGURAS 60 B, C e D). Nas áreas mais planas, a suscetibilidade do MDE difuso permanece Alta até 50 m além da linha de costa. Nestas áreas, existem edificações que estão quase totalmente situadas em áreas de Suscetibilidade Alta.



**FIGURA 60 – Superfície contínua de suscetibilidade - Praia Pântano do Sul.**

#### **4.2 AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE SUSCETIBILIDADE APÓS A OCORRÊNCIA DE TEMPESTADES SEVERAS**

A seguir serão discutidas as conseqüências adversas causadas por tempestades extratropicais severas nas praias estudadas.

A única praia que não foi visitada em nenhum dos eventos citados abaixo foi a Praia dos Ingleses. Ainda, quando estava sendo realizada a checagem de campo dos geoindicadores nesta praia, no dia 02/02/05, a ondulação estava de leste com tamanho de 1 a 1,5 m. Assim, foi possível verificar as conseqüências de uma ondulação relativamente alta de leste, a qual grande parte da praia está exposta. Nas FIGURAS 24, 25 e 26 A, B, C e D, pode-se observar que a praia estava

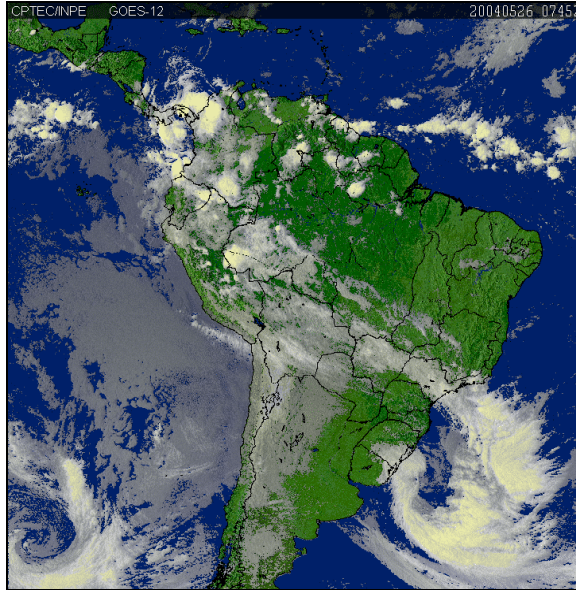
sofrendo processos erosivos e que em boa parte da praia praticamente não havia praia seca (FIGURAS 25 e 26). Inclusive, algumas edificações estavam sofrendo a ação direta das ondas, indicando que, nestes setores, a praia realmente apresenta suscetibilidade muito alta à erosão durante tempestades ou mesmo durante ondulações grandes de leste com períodos maiores (*swell*).

#### **4.2.1 Seqüência de eventos no primeiro semestre de 2004**

No primeiro semestre de 2004 houve uma alta incidência de frentes frias e ciclones extratropicais próximo à costa sul brasileira. Estes sistemas geraram uma seqüência de eventos com ondas altas, marés de tempestades e correntes de deriva litorânea que provocaram erosão severa na praia Morro das Pedras. Durante este período, somente a praia Morro das Pedras foi monitorada e os efeitos adversos serão apresentados a seguir.

Os meses mais críticos deste foram os meses de maio e começo de junho de 2004. No dia 03/05 um sistema frontal que se configurou no litoral e interior do Rio Grande do Sul e esteve associado a um sistema convectivo sobre o Paraná foi responsável pela geração de ondas grandes de SE (CLIMANALISE, 2004B). A ondulação esteve máxima no dia 06/05 quando foram observadas ondas de 2,5 m na Praia da Joaquina, diminuindo para cerca de 1 m a 1,5 m no dia 10/05 (WAVES). Ventos fortes de SE e SW atuaram durante todo o período e, portanto, deve ter gerado uma maré de tempestade intensa. Além disso, este evento esteve associado a uma maré de sizígia.

Ainda no mês de maio ocorreram outros três que geraram ondas que atingiram a praia da Joaquina com alturas entre 1 e 2 m (WAVES). Dentre estes eventos, destaca-se o ciclone extratropical do dia 26/05 (FIGURA 61).



**FIGURA 61 – Imagem do ciclone extratropical de 26/05/04.**

Este ciclone foi responsável pela geração de ondas do quadrante S acima de 1,5 m na praia. Os ventos fortes de SW devem ter contribuído para a ocorrência de maré de tempestade, pois durante este evento o nível do mar estava bastante alto, mesmo sendo este um período de maré de quadratura. Conforme pode ser observado na FIGURA 62, a praia sofreu um processo erosivo bastante intenso. A FIGURA 62 A, mostra um ponto no setor sul da praia com as dunas frontais densamente vegetadas e com um processo de esculpamento bastante intenso. Na FIGURA 62 B nota-se que a porção não vegetada da duna frontal situada em frente do restaurante sofreu maior erosão do que a duna vegetada logo à esquerda. Comparando as FIGURAS 62 B e C com as FIGURAS 37 C e D, é possível ter uma idéia da intensidade do processo erosivo que ocorreu neste período. Ressalta-se que a fotografia da FIGURAS 37 C foi tirada no dia 09/05, logo após a tempestade, quando foi realizada a avaliação dos geoindicadores.





**FIGURA 62 – Evidências erosivas na Praia Morro das Pedras após a o ciclone de 26/05/04.**

Todavia, os maiores danos durante uma ciclogênese próximo ao Rio Grande do Sul no dia 03/06. Apesar das ondas não terem sido tão altas (entre 1 e 1,5 m na praia da Joaquina), a coincidência com uma maré de sizígia foi importante para que o processo erosivo fosse intenso. Além disso, a seqüência de tempestades que antecederam esta foi importante para remover grande parte do estoque subaéreo de areia da praia e das dunas que serviam de proteção contra as ondas e marés de tempestade. Conseqüentemente, a erosão culminou com a queda de árvores, com a perda de parte do terreno de algumas propriedades e com a destruição de diversos muros, da varanda de um restaurante e do posto de salva vidas do Corpo de Bombeiros.

Na FIGURA 63 pode-se comparar as configurações da praia em março de 2004 e em junho de 2004. Em março de 2004 (FIGURA 63 A) a praia era larga, a duna frontal, apesar de baixa (< 2 m), estava bastante vegetada e havia poucas evidências de processos erosivos recentes. Porém, no início de junho de 2004 a situação mudou radicalmente: formou-se uma grande escarpa nas dunas frontais, houve uma perda muito grande da vegetação e uma diminuição significativa da

largura da praia e ocorreram diversos danos como a queda de muros e a destruição da varanda frontal do restaurante e do posto de salva vidas (FIGURAS 63 B, C, e D).



**FIGURA 63 – Mosaico das fotografias obtidas em março de 2004 (A), e em detalhe os danos causados após o evento erosivo de junho de 2004 (B, C e D).**

Comparando com a superfície contínua de suscetibilidade (FIGURA 37) percebe-se que os danos ocorreram no setor sul, justamente aquele que havia sido identificado como sendo de Suscetibilidade Alta. Os geoindicadores que mais influenciaram na alta suscetibilidade foram: a baixa altura das dunas frontais, a ausência ou remoção das dunas interiores (ocupação residencial), as evidências de erosão e a energia de onda média. Desta forma, pode-se considerar que a avaliação realizada conseguiu representar de modo satisfatório a condição de suscetibilidade da praia.

#### **4.2.2 Ciclone e Anticiclone de agosto de 2005**

Em agosto de 2005 ocorreu um ciclone extratropical que, associado com um anticiclone intenso, gerou grandes ondas de E com influência de SE. O ondógrafo da UFSC, localizado na isóbata de 80 m de profundidade a leste da Ilha de Santa Catarina chegou a registrar altura significativa de onda de 7,2 m. Os ventos mais intensos foram registrados no aeroporto de Florianópolis, com 93,6 km/h, em São

José, com 110 km/h e na Ilha do Arvoredo, com 139 km/h. Ressalta-se que a estação da Ilha de Arvoredo pode ter superestimado as velocidades dos ventos devido à aceleração que ocorre em função da topografia (COCH, 1994), uma vez que ela está localizada no topo da ilha a 70 m de altitude. De qualquer forma os ventos foram muito intensos e proviam de principalmente de S e SW, proporcionando assim condições favoráveis para a ocorrência de maré de tempestade.

Apesar das ondas terem sido altas e de ter ocorrido uma maré de tempestade os danos não foram tão intensos como aqueles causados pelo ciclone de maio de 2001. Neste evento onze municípios catarinenses foram severamente atingidos, deixando o município de Barra Velha em estado de calamidade pública e os municípios Balneário Barra do Sul, Balneário Camboriú, Bombinhas, Itapema, Itapoá e Navegantes em estado de emergência (RUDORFF et al., in press). Apesar das ondas terem sido menores, em torno de 5 m (INNOCENTINI et al., 2003), a maré de tempestade foi intensa e esteve ainda associada a uma maré de sizígia, aumentando ainda mais o nível base de ataque das ondas.

Durante o ciclone de 09/10/05 a maré era de quadratura e este fator foi importante para que os danos na costa catarinense não fossem tão intensos. Mesmo assim, a Av. Brasil de Balneário Camboriú foi inundada pelo mar e diversas praias do litoral catarinense sofreram erosão severa.

Em relação às praias estudadas, foram visitadas as Praias Morro das Pedras, da Armação e Pântano do Sul. A Praia dos Ingleses não foi visitada, todavia, os efeitos erosivos na praia devem ter sido significativos, uma vez que a ondulação era de E, com influência de SE, as quais esta praia está exposta. Na Praia Morro das Pedras, apesar do mar ter chegado perto das construções, não houve danos. Uma das possíveis razões é que houve um período relativamente longo sem marés de tempestade intensa anteriormente a este evento. Assim, o estoque de areia subaérea poderia ter sido grande o suficiente para impedir que a erosão atingisse as casas.

Na Praia da Armação, os locais mais suscetíveis do setor central foram observadas evidências de erosão e inundação pela maré de tempestade. As

evidências do processo erosivo podem ser observadas nas FIGURAS 64 A, B e C. Na FIGURA 64 D nota-se a areia deixada pela inundação costeira, indicando que o nível do mar teve um avanço considerável. Segundo o morador da casa à direita o mar também inundou parte de seu terreno.



**FIGURA 64 – Evidências de erosão e inundação na Praia da Armação após o ciclone de 09/08/05.**

O setor sul da Praia da Armação, o qual apresentou um dos maiores índices de suscetibilidade avaliados, também sofreu danos durante este evento. Na FIGURA 65 A mostra casas que estão localizadas na praia e que tiveram seus terrenos invadidos pela água do mar. Um pouco mais ao sul pode-se observar que as ondas chegavam com bastante intensidade nas casas situadas na orla (FIGURA 65 B). A ação conjunta da maré de tempestade e das ondas fortes foi também responsável pela danificação da estrutura do posto de salva vidas. Ressalta-se que este setor é caracterizado pela presença de muros e pedras de contenção bastante reforçada (FIGURA 65 D) e mesmo assim a estrutura do posto não suportou.

Os efeitos adversos verificados nos setores de Suscetibilidade Muito Alta durante a ocorrência deste ciclone indicam que o método de avaliação utilizado é

capaz de identificar as áreas que são mais suscetíveis a sofrerem danos durante tempestades severas.



**FIGURA 65 – Evidências de erosão e inundação na Praia da Armação após a o ciclone de 09/08/05.**

A Praia Pântano do Sul também foi checado durante o ciclone de agosto de 2005. Este praia é protegida pela presença das Ilhas Moleque do Sul, Irmã Pequena, de Fora e do Meio e pelo costão leste e, portanto, a ondulação chega com baixa energia. Porém, por estar voltada para sul, o empilhamento da água costeira é bastante intenso durante eventos de ventos fortes e persistentes do quadrante sul. As FIGURAS 66 A, B, C e D mostram que todo o setor que foi caracterizado como sendo de Suscetibilidade Alta e Muito Alta foi atingido pela maré de tempestade, inundando diversas edificações que se encontram na praia e provocando erosão. A maioria dos pescadores conseguiu deslocar as embarcações para uma parte mais alta da estrada principal que dá acesso à praia. Todavia, a FIGURA 66 C mostra que o mar chegou a subir até o nível onde se encontravam as embarcações, indicando que a maré de tempestade foi considerável.

A verificação da inundação causada pela maré de tempestade e dos processos erosivos decorrentes dela nas áreas mais suscetíveis da Praia Pântano do Sul também indica que o método de avaliação utilizado foi capaz de identificar condição de suscetibilidade do setor.



**FIGURA 66 – Evidências de erosão e inundação na Praia Pântano do Sul após o ciclone de 09/08/05.**

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES FUTURAS

Neste trabalho foi apresentada uma alternativa metodológica para o mapeamento de suscetibilidade costeira com base em geoindicadores e técnicas de análise espacial. Um conjunto de geoindicadores foi selecionado para a avaliação da suscetibilidade à erosão com base na lista proposta por BUSH et al. (1999). Também foram avaliados: diferentes métodos de interpolação de amostras pontuais ao longo da linha de costa; a técnica de lógica difusa na representação da suscetibilidade; e finalmente, a qualidade do mapeamento com base na checagem de campo após alguns eventos extremos.

Os geoindicadores propostos por BUSH et al. (1999) e adaptados para as características das praias de Santa Catarina mostraram ter um grande potencial para o mapeamento da suscetibilidade costeira. As principais vantagens encontradas foram: a rapidez e o baixo custo do levantamento; a possibilidade de amostrar uma grande quantidade de pontos ao longo da praia; e a boa confiabilidade dos resultados. Os geoindicadores também podem ser aplicados em um pequeno setor de interesse de uma praia ou em uma faixa grande da linha de costa, dependendo do interesse do especialista. Outra vantagem é que tanto a escolha dos geoindicadores como também dos pesos pode ser adaptada para outras regiões e para outros tipos de perigos. Assim, esta escolha depende muito da experiência do especialista e do objetivo da avaliação. Portanto, neste trabalho não estão sendo propostos simplesmente uma lista e pesos de geoindicadores, mas uma diretriz para a avaliação de suscetibilidade costeira. Com o intuito de diminuir a subjetividade do especialista durante a escolha e ponderação dos geoindicadores, podem ser aplicados questionários ou discutir com outros especialistas, chegando assim em um modelo ótimo para a avaliação.

Em relação à utilização de parâmetros monitorados com base em perfis praias, como a largura média da praia e altura média de onda, na lista de geoindicadores foram observadas algumas vantagens e limitações.

Uma vantagem é que a informação da altura de onda permitiu caracterizar bem a energia de onda ao longo das praias analisadas, pois é baseada em uma série temporal de vários meses. Além disso, geralmente a variação da energia de

onda ao longo da praia se dá de forma gradual e portanto, é possível estimar os valores não amostrados entre perfis de forma satisfatória.

Para a largura média de praia, a informação também é baseada em dados medidos ao longo de diversos meses, enquanto que um único levantamento da largura de praia estaria sujeito a influências recentes das condicionantes oceanográficas e meteorológicas, uma vez que a mesma varia relativamente bastante em uma variedade de escalas temporais. Todavia, para avaliação de perigos, como erosão costeira, as respostas da largura da praia durante e após tempestade são mais interessantes, pois, uma praia, mesmo que larga, pode sofrer erosão acentuada durante tempestades. Além disso, comumente a largura de praia varia bastante ao longo da linha de costa e de forma não tão gradual quanto a energia de onda. Desta forma, muitas vezes o espaçamento ou a localização dos perfis não é adequada para fazer estimativas em locais não monitorados. Este tipo de problema deve ter sido mais significativo nas Praias dos Ingleses e Morro das Pedras, onde existe uma variação expressiva da largura de praia ao longo da linha de costa.

Por estas razões, provavelmente a melhor maneira de avaliar a largura de praia é através de medições da largura de praia seca durante o levantamento, conforme foi proposto por BUSH et al. (1999). Já os geoindicadores que não apresentam uma variação temporal tão intensa como altura, tipo e vegetação da duna frontal, obras de engenharia e estado da duna interior, estes tipos de problemas não são tão significativos.

Em relação aos métodos de interpolação, o MIQD foi o que apresentou os resultados mais satisfatórios. Em termos de valores máximos e mínimos estimados, ambos os métodos apresentaram valores muito próximos aos amostrados, pois são interpoladores exatos (BURROUGH, 1998). Todavia, apesar da krigagem conceitualmente ser considerado o método mais consistente na interpolação de dados (LONGLEY et al., 2005) não foi a que apresentou os melhores resultados. O fato dos pontos amostrais não estarem distribuídos de forma regular no terreno e sim ao longo de uma linha, pode ter sido a razão pelo baixo desempenho apresentado. Já o método MIQD conseguiu representar de forma mais satisfatória a variação dos geoindicadores ao longo da linha de costa.



A aplicação da lógica difusa, tanto na padronização dos dados do MDE, quanto na representação da diminuição da suscetibilidade com o aumento da distância em relação à linha de costa, mostrou um grande potencial para a avaliação da suscetibilidade costeira. Todavia, como o modelo conceitual da lógica difusa leva em consideração diversos processos (i.e. ondas, marés, correntes) cujas interações se dão de forma diferenciada de ambiente para ambiente, é importante que ele seja ajustado para as características locais de cada ambiente e para os tipos de perigo que estão sendo analisados. Em lugares onde se tem uma boa base de dados uma ferramenta que poderia auxiliar no modelo conceitual é a probabilidade estatística.

A avaliação dos mapeamentos com base na verificação em campo dos efeitos adversos provocados por algumas tempestades extratropicais demonstrou que os setores mais suscetíveis foram os mais atingidos. Além disso, em todas as praias avaliadas, a maioria dos setores de Suscetibilidade Muito Alta sofreu algum tipo de efeito adverso por erosão e/ou inundação. Desta forma, apesar de não envolver nenhuma avaliação de probabilidade de ocorrência, os resultados indicam que a utilização dos geoindicadores, do MDE difuso e da superfície de distância difusa foi capaz de representar o grau de suscetibilidade ao longo das praias. Neste sentido, esta dissertação oferece uma contribuição para o estudo de suscetibilidade costeira apresentando de forma prática a aplicação de ferramentas de análise ainda pouco utilizadas no Brasil, como os geoindicadores e a lógica difusa.

## REFERÊNCIAS

- ABREU DE CASTILHOS, J. **Estudo evolutivo, sedimentológico e morfodinâmico da praia da Armação, ilha de Santa Catarina**. UFSC, 1995. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geografia, 1995. 134 p.
- ABREU DE CASTILHOS, J. Morphodynamic and evolutive study of the Armação beach, Santa Catarina island, Brazil. In: Colóquio Franco-Brasileiro – Manejo Costeiro da Ilha de Santa Catarina. Florianópolis. **Atas**. UFSC, Florianópolis, 1997. p. 227-228.
- ABREU DE CASTILHOS, J. & CORREA, C. H. T. Avaliação preliminar dos processos erosivos na praia da Armação – Ilha de Santa Catarina, Florianópolis - SC. In: Simpósio de Geografia Física Aplicada. **Anais...** UGB/UFSC, Porto Alegre, 1991. p. 298-299.
- ABREU DE CASTILHOS, J. & GRÉ, J. C. R. Praias da ilha de Santa Catarina: caracterização morfológica e problemas de erosão costeira. In: Colóquio Franco-Brasileiro - Manejo Costeiro da Ilha de Santa Catarina. **Atas**. UFSC, 1997. p. 107-113.
- ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.
- ALMEIDA, E. S.; CASTILHOS, J. A. D.; SIMON, A. F.; ÁVILA, E. L.; AUMOND, J. J.; PINTO, N. C. L.; SANTO, N. A. D. & INFANTE, N. Observações geomorfológicas na praia do Forte – Ilha de Santa Catarina, Município de Florianópolis – SC. **Geosul**, v. 11, p. 38-54, 1991.
- ARAUJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO, E. & PIMENTA, F. Wave regime characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries. **Proceedings...** COPEDEC, Sri Lanka, 2003. p. 1-15.
- ARTHUTON, R. S. Marine-related physical natural hazards affecting coastal megacities of the Ásia-Pacific region- awareness and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, v. 40, p. 65-85, 1998.
- BARLETTA, R. C. **Efeito da interação oceano-atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil**. Rio Grande. Rio Grande: FURG, 2000. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Oceanografia Física, Química e Geológica, 2000. p.
- BERGER, A. R. & IAMS, W. J. **Ge indicators: Assessing Rapid Environmental changes in Earth Systems**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1996. 466 p.
- BIRKMEIER, W.A. 1981. Fast accurate two-person beach survey. Coastal Engineering Technical Aid 81-11. U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station. **Coastal Engineering Research Center**, Vickburg, Mississippi, 22p.

BRIMICOMBE, A., 2003. Issues of coupling the technologies. **GIS Environmental Modelling and Engineering**, Taylor & Francis, p. 163-187.

BROWN, J., I. F.; FISHER, W. L.; ERXLEBEN, A. W. & MC GOWEN, J. C. Resource Capability Units. Their Utility in Land - and Water - Use Management with examples from the Texas Coastal Zone. **Geological Circular**, p. 71, 1974.

BRUCE, E., 2004. Spatial Uncertainty in Marine and Coastal GIS. In: BARTLETT, D. SMITH, J., eds., **Gis for Coastal Zone Management**, CRC Press, p. 51-62.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems**. New York: Oxford University Press, 1998. 333 p.

BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S. & PILKEY, O. H. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, v. 42, p. 647-670, 1999.

CALLIARI, L. J. & PEREIRA DA SILVA, R. Erosion Processes Associated to Storm Surge and Washout Along the South Brazilian Coastline. **Journal of Coastal Research**, v. 26, p. 1-7, 1998.

CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. M. & KLEINN, A. H. F. Erosão associada a marés meteorológicas na costa sul-rio-grandense. In: Congresso Brasileiro de Geologia. **Anais...** SBG, Salvador, 1996. p. 405-409.

CARTER, R. W. G. **Coastal environments – An introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines**. London: Academic Press, 1988. 617 p.

COBURN, A. S. **Reducing Vulnerability in Five North Carolina Coastal Communities: A Model Approach for Identifying, Mapping and Mitigating Coastal Hazards**. 2001. <http://www.env.duke.edu/psds/>.

COCH, N. K. Geologic effects of hurricanes. **Geomorphology**, v. 10, p. 37-63, 1994.

DAVIS, C. A. **Múltiplas Representações em Sistemas de Informações Geográficas**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. Doutorado em Ciência da Computação, 2000. 115 p.

DAVIS, C. A.; BORGES, K. & LAENDER, A. OMT-G: An Object-Oriented Data Model for Geographic Applications. **Geoinformatica**, v. 3, n.1, 2002.

DIEHL, F. L.; KLEINN, A. H. F.; POLETTE, M.; CALLIARI, L. J. & HORN FILHO, N., O. Erosão costeira no pontal arenoso de Daniela (SC): causas, consequências e medidas mitigadoras. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 6. **Anais...** ABEQUA, Curitiba, 1997. p. 393-395.

DILLEMBURG, S. R. & KUCHLE, J. A erosão costeira no Estado do Rio Grande do Sul: uma nova abordagem. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 7. **Anais...** ABEQUA, Salvador, 1999. p.

DOLAN, R. & DAVIS, R. E. An Intensity Scale for Atlantic Coast Northeast Storms. **Journal of Coastal Research**, v. 8, n.4, p. 840-853, 1992.

DRAGICEVIC, S., 2004. Fuzzy Sets for Representing the Spatial and Temporal Dimensions in GIS Databases. In: CALUWE, R. D.; TRÉ, G. D.; BORDOGNA, G., eds., **Spatio-Temporal Databases**, Springer, p. 11-28.

EINAX, J. W. & SOLDT, U. Geostatistical and multivariate statistical methods for the assessment of polluted soils—merits and limitations. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 46, p. 79-91, 1999.

EISMA, D. **Climate change impact on coastal habitation**. Texel: Lewis Publishers, 1995. 260 p.

ESRI, 2004, **ArcGIS Desktop Help**, Redlands, ESRI.

FABBRI, A. G. & PATRONO, A. The use of environmental indicators in the geosciences. **ITC Journal**, v. 4, p. 358-366, 1995.

FARACO, K. R. **Comportamento Morfodinâmico e Sedimentológico da Praia dos Ingleses - Ilha de Santa Catarina - SC, Durante o Período de 1996 - 2001**. Florianópolis: UFSC, 2003. Mestrado em Geografia, 2003. 132 p.

FELL, R. & HARTFORD, D., 1997. Landslide Risk Management. In: CRUDEN, D. M.FELL, R., eds., **Landslide Risk Assessment**: Rotterdam, A.A. Balkema, p. 51-109.

FOTHERINGHAM, A. S.; CHARLTON, M. E. & BRUNSDON, C. **Quantitative Geography**. Sage Publications Inc, 2000. 288 p.

FRENCH, P. W. **Coastal Defences: Processes, Problems And Solutions**. London: Taylor & Francis, 2001. 384 p.

FUCKS, S.; CARVALHO, M.; CÂMARA, G. & MONTEIRO, A. M. V., 2004. Análise Espacial e Geoprocessamento. **Análise Espacial de Dados Geográficos**: Brasília, EMBRAPA.

GARES, P. A.; SHERMAN, D. J. & NORDSTROM, K. F. Geomorphology and natural hazards. **Geomorphology**, v. 10, p. 1-18, 1994.

GODSCHALK, D. R.; NORTON, R.; RICHARDSON, C. & SALVENSEN, D. Avoiding Coastal Hazard Areas: Best State Mitigation Practices. **Environmental Geosciences**, v. 7, n.1, p. 13-22, 2000.

HORN FILHO, N., O.; LEAL, P. C.; OLIVEIRA, J. S. & DIEHL, F. L. Erosive evidences in "Santa Catarina" island beaches, SC, Brazil. In: Biennial Coastal Zone Conference. **Proceedings...** Cleveland, 2001. p.

HORN FILHO, N., O.; OLIVEIRA, J. S. & LEAL, P. C. Evidências erosivas na parais de Canasvieiras, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. In: Semana Nacional de Oceanografia. **Resumos Expandidos...** AOCENAO, Rio de Janeiro, 1999. p. 56-59.

INNOCENTINI, V.; OLIVEIRA, F. A. & PRADO, S. C. C. Modelo de ondas aplicado ao caso 5-8 de maio de 2001. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n.1, p. 97-104, 2003.

KLEIN, A. H.; POLETTE, M.; DIEHL, F. L.; CARVALHO, J. L. B.; PEREIRA DA SILVA, R.; SIEGLE, E.; ABREU, J. G. N.; SANTOS, M. I. P. & FACHIN, S. Erosão costeira no litoral centro-norte de Santa Catarina: possíveis causas e medidas mitigadoras. In: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 7. **Anais...** ABEQUA, Porto Seguro, 1999. p.

KOMAR, P. D. **Handbook of coastal processes and erosion**. Boca Raton: CCR, 1983. 304 p.

LEAL, P. C. **Sistema praial Moçambique - Barra da Lagoa, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil: Aspectos morfológicos, morfodinâmicos, sedimentológicos e ambientais**. Florianópolis: UFSC, 1999. Programa de pós-graduação em Geografia, 1999. 125 p.

LEAL, P. C.; HORN FILHO, N., O. & OLIVEIRA, J. S. Evidências erosivas do setor centro-norte da praia de Moçambique, ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2. **Resumos Expandidos...** Geosul, Florianópolis, 1998. p. 229-231.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; DAVID, J. M. & RHIND, D. W. **Geographic Information Systems and Science**. John Wiley and Sons, 2005. 512 p.

MARCELINO, E. V.; RUDORFF, F. M.; MARCELINO, I. P. V. O.; GOERL, R. F. & KOBIYAMA, M. Impacto do Ciclone Catarina sobre a Região Sul Catarinense: monitoramento e avaliação pós-desastre. **Geografia**, v. 30, n. 3, 2005.

MARONE, E. & CAMARGO, R. Marés meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. **Nerítica**, v. 8, 1994.

MELO FILHO, E. 1991. **Projeto Sentinelas do Mar: instruções para efetuar as observações**. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 11p.

MELO, E. Marés Fluviais. Parte 1: Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n.4, p. 135-145, 2002.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p.

OLIVEIRA, U. R. **Comportamento morfodinâmico e granulometria do Arco Praial Pântano do Sul – Açores, Ilha de Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC, 2004. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2004. 115 p.

RIX, K. Some geomorphologic indicators for use in environmental impact assessment. **ITC Journal**, v. 4, p. 367-369, 1995.

ROBIN, M. Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique. **Annales de Géographie**, n.627-628, p. 471-502, 2002.

SIMÓ, H. D. **Ressacas e Áreas de Risco no Litoral da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** Florianópolis: UFSC, 2003. Monografia, Graduação em Geografia, 2003. 130 p.

SMITH, K. Environmental hazards: assessing risk and reducing disasters. **Routledge**, p. 420, 2000.

TAGLIANI, C., R. A. **Proposta para o manejo integrado da exploração de areia no município de Rio Grande, RS, dentro de um enfoque sistêmico.** Unisinos, 1997. Mestrado em Geologia, 1997. 158 p.

TORRONTEGUY, M. C. **Sistema praias Joaquina-Morro das Pedras e praias adjacentes da costa leste da ilha de Santa Catarina: Aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e fatores condicionantes.** Florianópolis: UFSC, 2002. Mestrado em Geografia, 2002. 158 p.

TORRONTEGUY, M. C. & HORN FILHO, N., O. Variabilidade morfodinâmica ao longo da costa leste da ilha de Santa Catarina – SC – Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Oceanografia. **Anais...** IOUSP, São Paulo, 2002.

TRUCCOLO, E. C. **Maré Meteorológica e Forçantes Atmosféricas Locais em São Francisco do Sul - SC.** Florianópolis: UFSC, 1998. Mestrado em Engenharia Ambiental, 1998. 100 p.

UNDP. **Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development.** UNDP, 2004. <http://www.undp.org/bcpr>.

WATSON, R. T.; ZINYOWERA, M. C. & MOSS, R. H. **IPCC Special Report on The Regional Impacts of Climate Change An Assessment of Vulnerability.** Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997.

WHITEHOUSE, G. & BURTON, J. R. Water Hazards, Resources and Management for Disaster Prevention: A Review of the Asian Conditions. In: IDNDR-ESCAP Regional Meeting for Asia: Risk Reduction & Society in the 21st Century. **Proceedings...** Bangkok, 1999. p.

## ANEXO

Parâmetros morfodinâmicos das praias da Ilha de Santa Catarina (Fonte: Oliveira, 2004).

Parâmetros	N	Hb (m)	T(s)	Mz (phi)	Ws (cm/s)	Decliv.	Yb (m)	$\sigma Yb$ (m)	CV (%)	Vv (m <sup>3</sup> m)	$\Omega$
Inglese1	9	0,26	7,34	2,47	1,9	4,02	36,6	3,69	10,08	4,79	1,85
Inglese2	9	0,35	8,01	2,37	2,12	3,57	50,8	5,35	10,51	5,87	2,06
Inglese3	9	0,34	7,81	2,4	2,05	3,69	41	8,89	21,65	6,65	2,12
Inglese4	9	0,46	8,25	2,3	2,28	3,95	52,3	11,6	22,16	8,05	2,44
Inglese5	9	0,74	10,43	2,32	2,23	3,34	103,2	20,18	19,54	23,26	3,18
Inglese6	9	0,75	10,33	2,29	2,3	3,25	63,6	10,58	16,61	12,65	3,5
Inglese7	9	0,76	10,32	2,23	2,45	2,88	69	11,11	16,1	14,1	3
Moçambiq.-Barra1	14	0,4	11,27	2,49	1,86	5,7	47	10,74	12,89	1,17	1,9
Moçambiq.-Barra2	13	0,9	11,8	1,43	5,17	8,3	45	25,58	23,83	3,98	1,47
Moçambiq.-Barra3	16	1	12,01	0,95	7,63	9	31	21,02	16,84	2,27	1,09
Moçambiq.-Barra4	8	0,95	11,78	1,27	5,91	9,8	49	11,32	42,79	2,52	1,36
Moçambiq.-Barra5	14	0,85	12	2,38	2,09	5	44	9,32	11,13	2,4	3,38
Joaquina-Morro1	10	1,52	9,03	2,41	2,03	2,5	80,2	13,46	17	22,05	8,3
Joaquina-Morro2	10	1,12	8,76	2,16	2,82	3,82	49,2	5,45	11	3,87	4,43
Joaquina-Morro3	10	0,73	9,31	2,32	2,07	2,26	46,2	10,4	22	7,19	3,78
Joaquina-Morro4	10	0,81	9,47	2,32	2,7	2,5	87	21	24	14,64	4,13
Joaquina-Morro5	10	1,25	9,36	1,0/1,5	7,95	5,78	43,6	7,63	17	12,97	1,6/ 2,6
Armação1	13	0,5	11,9	2,78	1,42	9,3	9,85	3,75	38,07	1,48	2,96
Armação2	14	0,66	12,5	2,69	1,42	11,2	35	12	34,28	4,35	3,72
Armação3	14	0,73	12,07	1,69	3,91	12,7	38	11	28,94	3,31	4,27
Armação4	14	0,91	11,5	-0,25	13,62	16,6	38	10	26	3,32	0,58
Armação5	14	0,93	11,9	0,42	8,72	21,5	41	7	17,07	11,2	0,89
Armação6	14	1,01	11,6	0,3	10,19	19,3	30	7,5	25	11,5	0,85
Armação7	14	1,04	11,7	0,23	10,19	20,5	37	7,5	20,17	12,2	0,87
Pant.Sul.-Açores1	13	0,23	9,22	2,73	1,93	2,38	54,49	7,31	13,41	3,95	1,44
Pant.Sul.-Açores2	13	0,56	9,22	2,25	2,65	4,23	40,3	6,06	15,03	4,96	2,63
Pant.Sul.-Açores3	13	0,77	9,22	2,26	2,51	3,73	57,03	11,37	19,93	9,79	3,71

N – Número de amostragens; Hb – altura significativa de onda em metros; T – período de onda em segundos; Mz – diâmetro médio do grão em phi; Ws - velocidade de sedimentação das partículas em cm/s; Decliv. – declividade média da face praias em graus; Yb – largura média da praia em metros;  $\sigma Yb$  – desvio padrão de Yb; CV% - coeficiente de variação da linha de costa; Vv – variação do volume médio da porção subaérea da praia  $\Omega$  - parâmetro adimensional ômega.

Fonte: (OLIVEIRA, 2004)