



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA COSTEIRA**



METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE PERIGOS COSTEIROS E PROJEÇÃO DE LINHAS DE COSTA FUTURAS COMO SUBSÍDIO PARA ESTUDOS DE ADAPTAÇÃO DA ZONAS COSTEIRAS DO LITORAL NORTE DA ILHA DE SANTA CATARINA E ENTORNO

Antonio H.F. Klein

Financiamento:

Ministério do
Meio Ambiente



FUNDO CLIMA

Sumário

Projeto MMA-Riscos

- Motivação
- Objetivos
- Área de estudo
- Metodologia
- Principais resultados
- Considerações Finais

Motivação

Projeto MMA-Riscos

- No Estado de Santa Catarina, a erosão costeira tem causado grandes danos materiais;
- Entre 1997 e 2010 foram registrados 66 registros de marés meteorológicas associadas a ondas de tempestades (KRUGER, 2011);



(a)



(b)



(c)



(d)

Erosão provocada pelas ressacas na capital Florianópolis (a) e (b), em Balneário Camboriú (c), e em Balneário Barra Velha (d),
(Fonte: Jornal de Santa Catarina e Diário Catarinense)

Motivação

Projeto MMA-Riscos

Armação do Pântano do Sul



Fonte: passoka.wordpress.com, 10/04/2010

Armação do Pântano do Sul



Fonte: Diário Catarinense, 28/05/2010

Itapoá



Fonte: Prefeitura de Itapoá (divulgação)

Motivação

Projeto MMA-Riscos

- Em 2001 um fenômeno associado à ocorrência de um ciclone extratropical muito intenso atingiu todo o estado de SC em condições de préamar de sizígia (RUDORFF et al, 2007);
 - 11 Municípios foram atingidos;
 - 1 Município em estado de calamidade pública;
 - 6 Municípios em situação de emergência;
 - Prejuízo de R\$ 11,355,632,00

Motivação

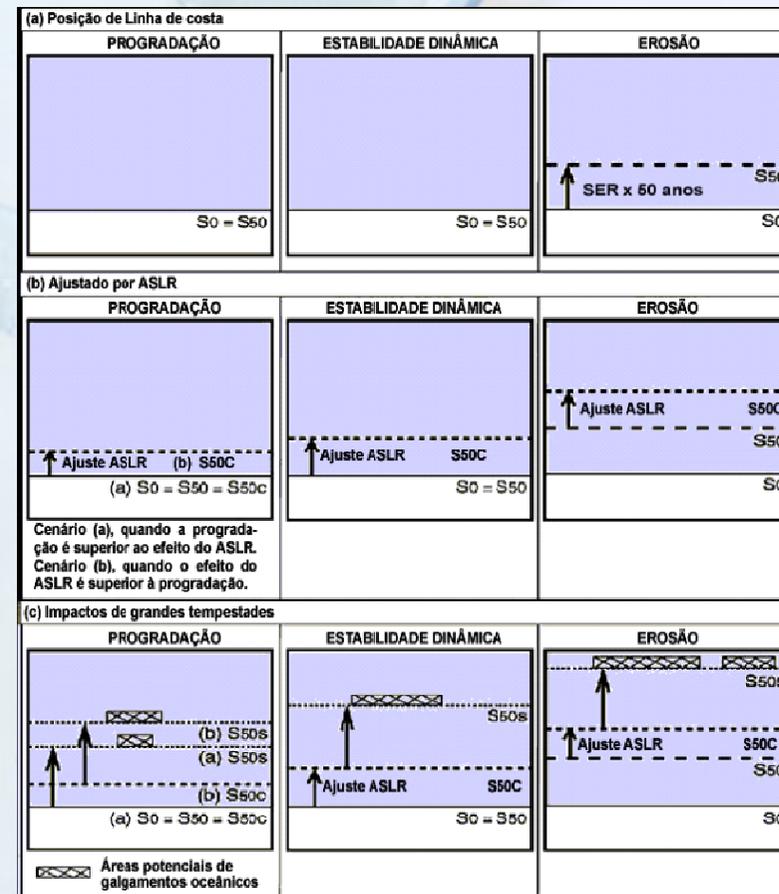
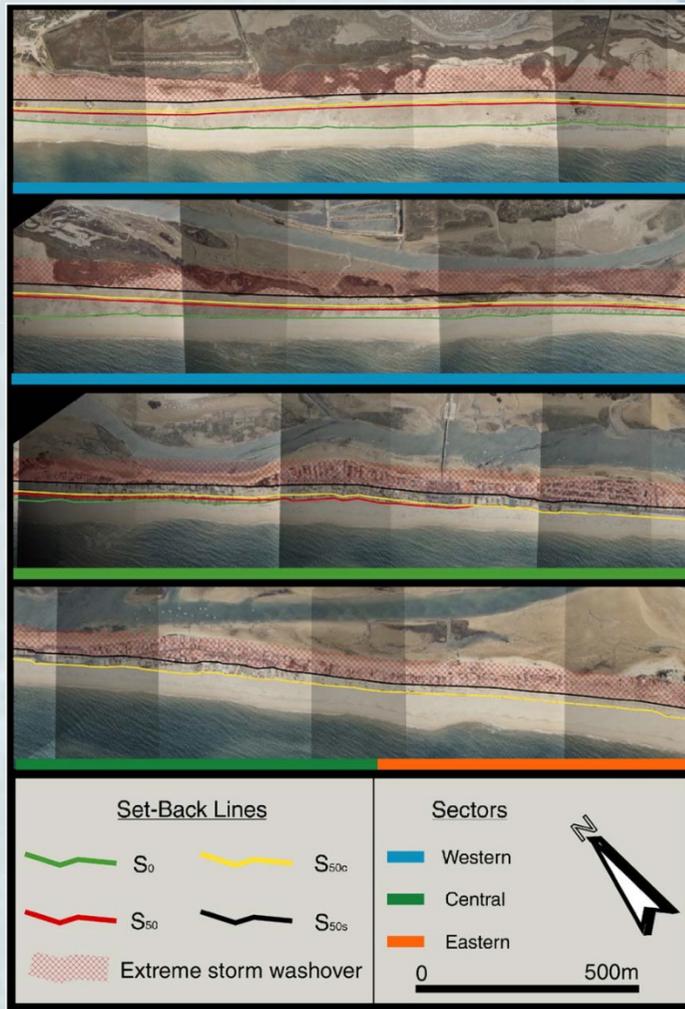
Projeto MMA-Riscos

- Entre 2000 e 2003
 - 9 municípios em situação de emergência;
 - 1 em estado de calamidade pública;
 - 84 desabrigados e 219 desalojados;
 - 1,900 afetados;
 - Prejuízo de R\$11.983.832,00

Motivação

Projeto MMA-Riscos

- Ferreira et al, 2006



Objetivo Geral

Projeto MMA-Riscos

- Desenvolver metodologia para **quantificação de perigos costeiros** relativos ao **aumento do nível do mar**, **grandes tempestades** e **galgamentos oceânicos**, e **projeção de linhas de costa futuras** quantificando e integrando esses perigos para o **litoral norte da Ilha de Santa Catarina** e adjacências na **escala de 1:10,000**, como subsídio para estudos de **adaptação** de zonas costeiras.

Objetivos específicos

Projeto MMA-Riscos

- (a) Determinação da linha de costa atual (LC_0) e sua taxa de evolução costeira (TEC),
- (b) Previsão de uma nova linha de costa (LC_5 , LC_{10} , LC_{25} e LC_{50}) para um período de 5, 10, 25 e 50 anos utilizando a TEC,
- (c) Ajuste da nova linha de costa (LC_{5C} , LC_{10C} , LC_{25C} e LC_{50C}) considerando uma aceleração na taxa de aumento do nível do mar,
- (d) Cálculo dos perigos decorrentes de grandes tempestades associado à retração instantânea da linha de costa, indicando seções praias com maior perigo, Neste, mensurou-se, também, possíveis inundações decorrentes de galgamentos oceânicos,

Objetivos específicos

Projeto MMA-Riscos

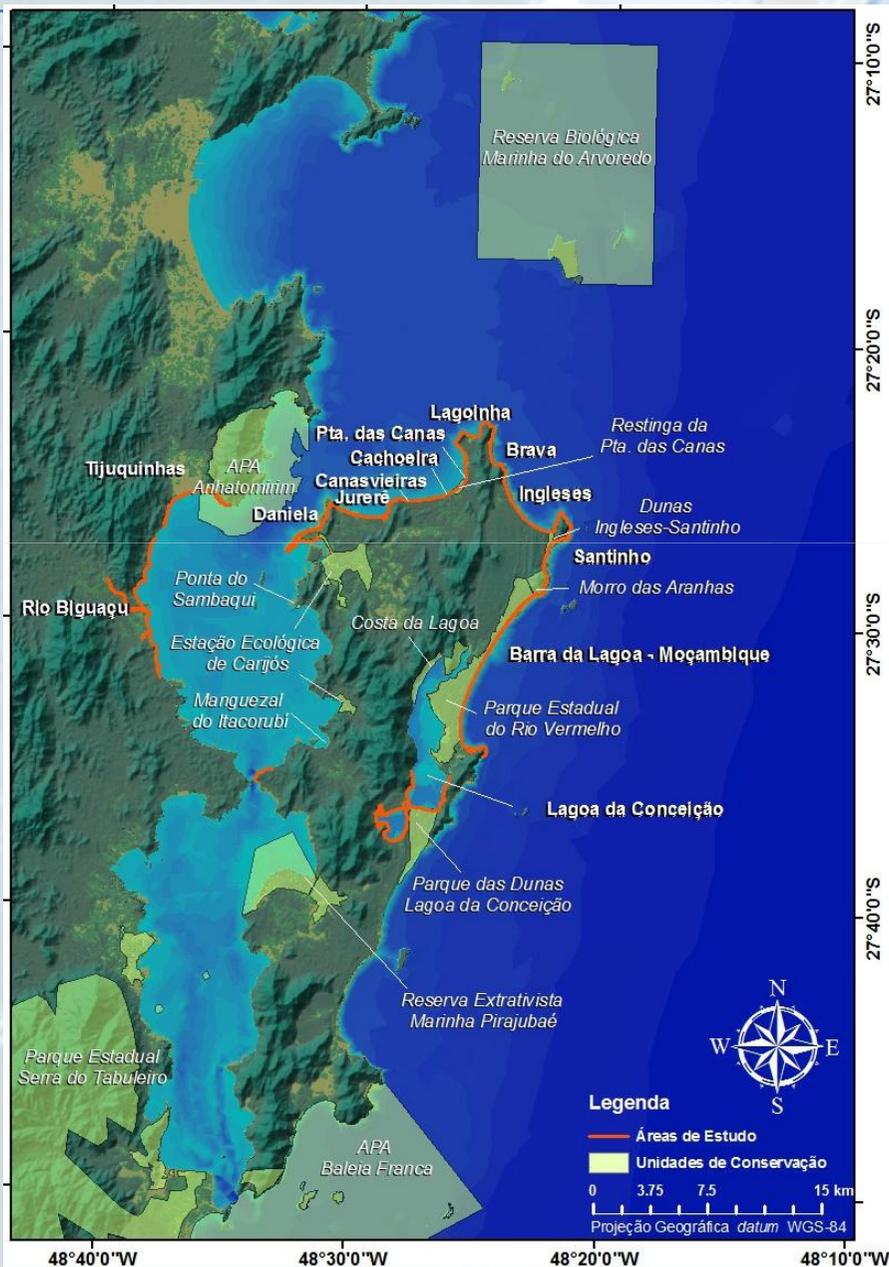
(e) Identificar padrões de impactos causados pela sobrelevação do nível do mar devido a eventos de alta energia sobre a praia e o sistema de dunas frontais,

(f) Representação das linhas de costa futuras em cartas temáticas, representando a integração dos perigos costeiros,

(g) Produzir material para disponibilizar as cartas temáticas na base de dados da Infraestrutura nacional de Dados Espaciais INDE,

Área de estudo

Projeto MMA-Riscos



Metodologia

Projeto MMA-Riscos

Precisão das Bases
cartográficas (PEC)

- Definição do tamanho da amostra: $n = 20$ pontos para cada base
- Seleção dos pontos de controle: locais de maior concentração de feições cartografadas
- Rastreamento de pontos de controle: receptor GNSS

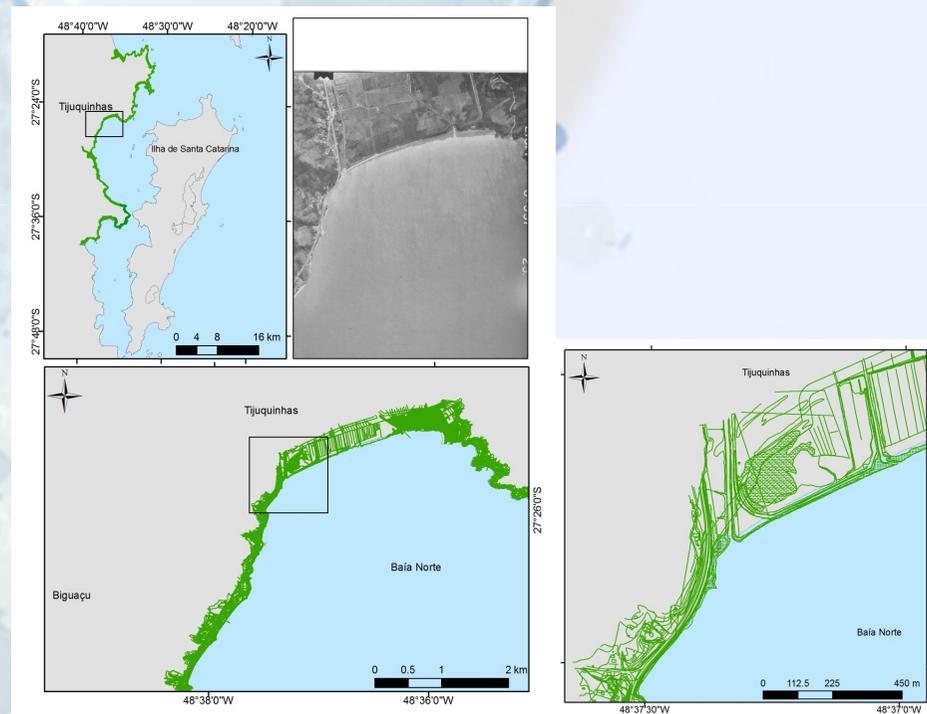
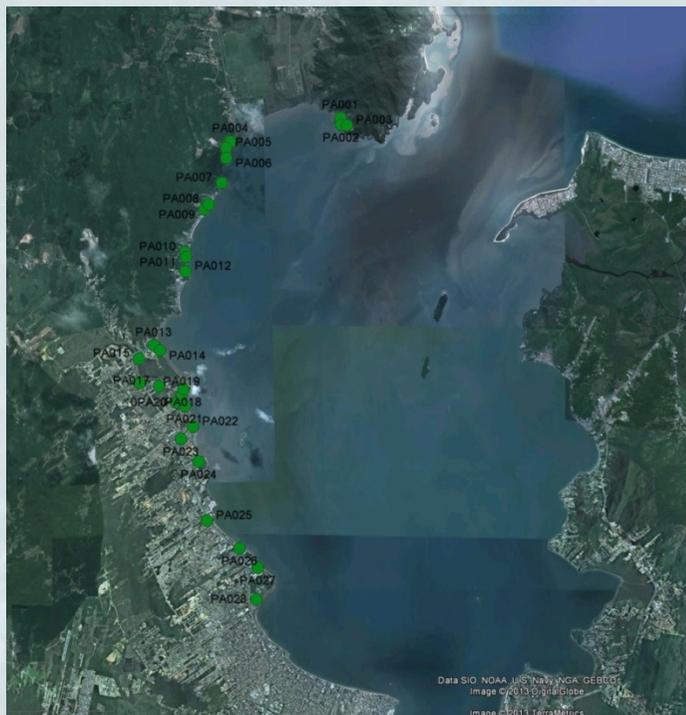
Metodologia

Projeto MMA-Riscos

Precisão das Bases cartográficas (PEC)

- Definição do tamanho da amostra: $n = 20$ pontos para cada base
- Seleção dos pontos de controle: locais de maior concentração de feições cartografadas
- Rastreamento de pontos de controle: receptor GNSS

Base cartográfica SPU



Metodologia

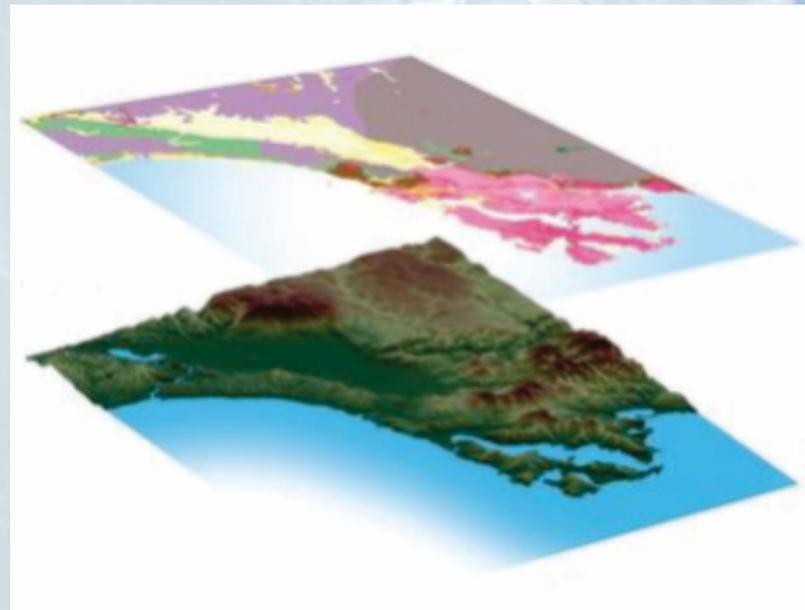
Projeto MMA-Riscos

Precisão das Bases
cartográficas (PEC)

- Definição do tamanho da amostra: $n = 20$ pontos para cada base
- Seleção dos pontos de controle: locais de maior concentração de feições cartografadas
- Rastreamento de pontos de controle: receptor GNSS

Fotografias Aéreas/
Imagens de Satélite

- Datas: 1957, 1978, 1995, 1998, 2002, 2003, 2006, 2009 e 2012
- Geoprocessamento: Georreferenciamento utilizando as Bases Cartográficas
- SPU (1:2.000, 1995); IPUF (1:2.000, 2002)



Metodologia

Projeto MMA-Riscos

Precisão das Bases cartográficas (PEC)

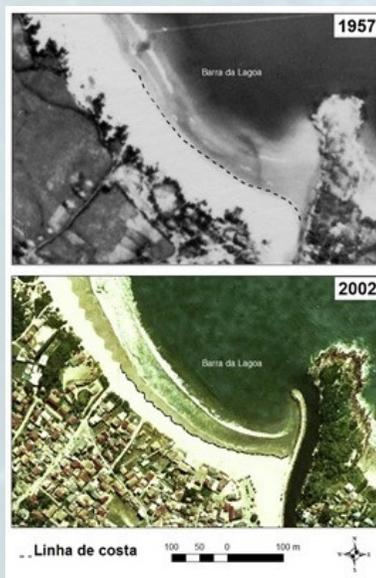
- Definição do tamanho da amostra: $n = 20$ pontos para cada base
- Seleção dos pontos de controle: locais de maior concentração de feições cartografadas
- Rastreamento de pontos de controle: receptor GNSS

Fotografias Aéreas/
Imagens de Satélite

- Datas: 1957, 1978, 1995, 1998, 2002, 2003, 2006, 2009 e 2012
- Geoprocessamento: Bases Cartográficas
- SPU (1:2,000, 1995); IPUF (1:2,000, 2002)

Linhas de Costa

- Interface: areia seca/areia molhada
- Mais utilizada e pertinente para avaliações de longa escala (BOAK e TURNER, 2005)
- Linha de costa atual: receptor GNSS (RTK) em campo,



Metodologia

Projeto MMA-Riscos

Precisão das Bases cartográficas (PEC)

- Definição do tamanho da amostra: $n = 20$ pontos para cada base
- Seleção dos pontos de controle: locais de maior concentração de feições cartografadas
- Rastreamento de pontos de controle: receptor GNSS

Fotografias Aéreas/
Imagens de Satélite

- Datas: 1957, 1978, 1995, 1998, 2002, 2003, 2006, 2009 e 2012
- Geoprocessamento: Bases Cartográficas
- SPU (1:2,000, 1995); IPUF (1:2,000, 2002)

Linhas de Costa

- Interface: areia seca/areia molhada
- Mais utilizada e pertinente para avaliações de longa escala (BOAK e TURNER, 2005)
- Linha de costa atual: receptor GNSS (RTK) em campo,

Taxa de Evolução Costeira (TEC)

- Variação da linha de costa (m/ano)
- Ferramenta DSAS 4.3 (HIMMELSTOSS, 2009)
- Método LRR (Regressão Linear) → Variação Linear
- $\frac{\text{Distância entre 2 períodos}}{\text{Tempo}} = \text{taxa anual (m)}$

TEC Negativa → Retração
TEC < Incerteza → Estabilidade Dinâmica
TEC Positiva → Progradação

Metodologia

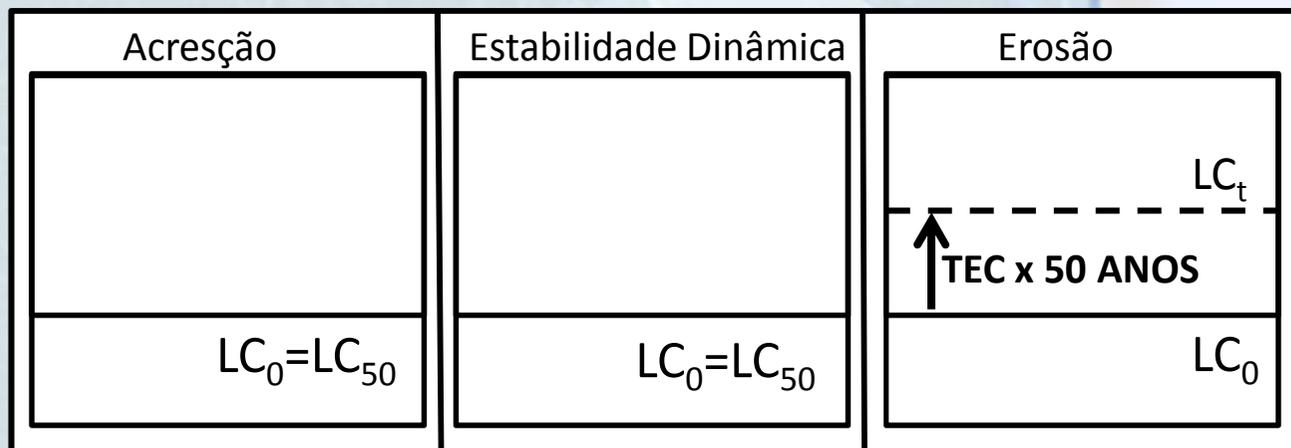
Projeto MMA-Riscos

Taxa de Evolução Costeira (TEC)

- Variação da linha de costa (m/ano)
- Ferramenta DSAS 4.3 (HIMMELSTOSS, 2009)
- Método LRR (Regressão Linear) → Variação Linear
- Distância entre 2 períodos = taxa anual (m)

Tempo

TEC Negativa → Retração
 Estabilidade
 TEC < Incerteza → Dinâmica
 TEC Positiva → Progradação



Metodologia

Projeto MMA-Riscos

Precisão das Bases cartográficas (PEC)

- Definição do tamanho da amostra: $n = 20$ pontos para cada base
- Seleção dos pontos de controle: locais de maior concentração de feições cartografadas
- Rastreamento de pontos de controle: receptor GNSS

Fotografias Aéreas/Imagens de Satélite

- Datas: 1957, 1978, 1995, 1998, 2002, 2003, 2006, 2009 e 2012
- Geoprocessamento: Bases Cartográficas
- SPU (1:2,000, 1995); IPUF (1:2,000, 2002)

Linhas de Costa

- Interface: areia seca/areia molhada
- Mais utilizada e pertinente para avaliações de longa escala (BOAK e TURNER, 2005)
- Linha de costa atual: receptor GNSS (RTK) em campo,

Taxa de Evolução Costeira (TEC)

- Variação da linha de costa (m/ano)
- Ferramenta DSAS 4,3 (HIMMELSTOSS, 2009)
- Método LRR (Regressão Linear) → Variação Linear
- $\frac{\text{Distância entre 2 períodos}}{\text{Tempo}} = \text{taxa anual (m)}$

TEC Negativa → Retração
TEC < Incerteza → Estabilidade Dinâmica
TEC Positiva → Progradação

Linhas de Costa Futuras LC_{50}

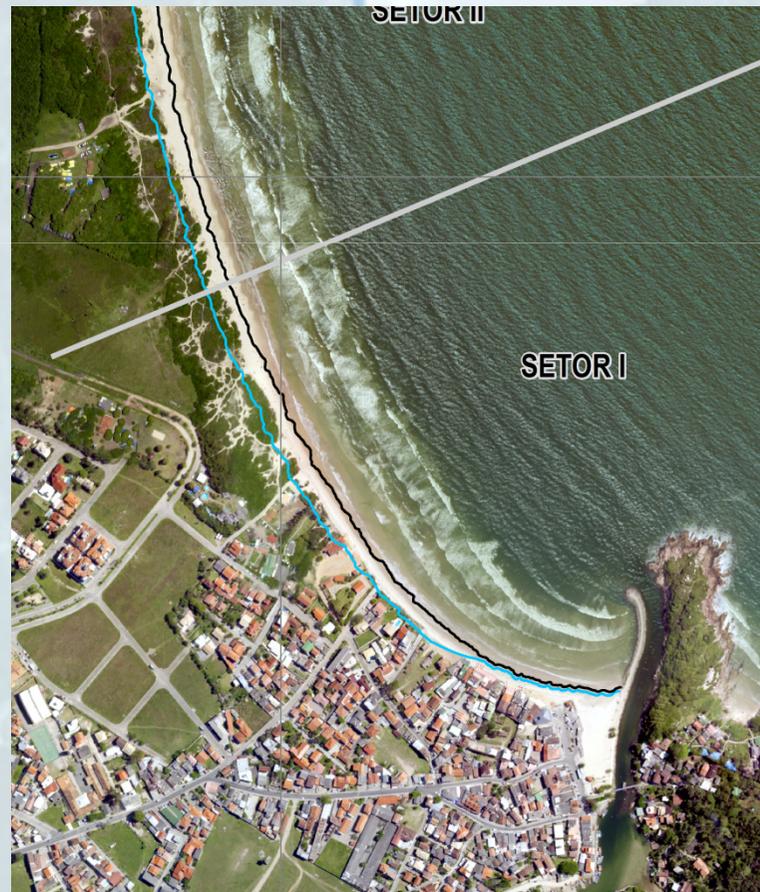
- Linha de costa para 5, 10, 25 e 50 anos, a partir da linha atual (LC_0)
- Progradação } Reproduzindo o pior cenário,
▪ Estabilidade } LC_{50} será igual a LC_0
- Retração → $LC_{50} = LC_0 + TEC \times 50$

Metodologia

Projeto MMA-Riscos

Linhas de Costa
Futuras LC_{50}

- Linha de costa para 5, 10, 25 e 50 anos, a partir da linha atual (LC_0)
- Progradação } Reproduzindo o pior cenário,
- Estabilidade } LC_{50} será igual a LC_0
- Retração → $LC_{50} = LC_0 + TEC \times 50$



Metodologia

Projeto MMA-Riscos

Praias Abrigadas

Linhas de Costa Ajustadas LC_{50C}

- Ajuste da linha de costa considerando o efeito da Inundação (I) devido ao aumento do nível do mar (IPCC)

$$\text{Se } \text{Tang}\beta_b \leq 0,002$$

- Regra de Bruun $I = \text{SLRa} / \text{Tang}\beta_b$
- Projeção LC_{50C} $LC_{50C} = LC_{50} + I$

Praias Expostas

Linhas de Costa Ajustadas LC_{50C}

- Ajuste da linha de costa considerando o aumento do nível do mar (IPCC)

- Regra de Bruun $Ra = (\text{SLRa} \times L) / (h_* + DC)$

- Projeção LC_{50C} $LC_{50C} = LC_{50} + Ra$

Inundação Costeira

- Estabelecimento de áreas de inundação costeira
- Modelagem numérica
- Propagação de ondas

SMCBrasil

- Máximo Runup x cota Altimétrica (MDT- SDS)

Riscos Decorrentes de Grandes Tempestades

- Ajuste da linha de costa considerando tempestades extremas com período de recorrência de 5, 10, 25 e 50 anos

- Modelo de convolução R_t
- (KRIEBEL e DEAN, 1993)

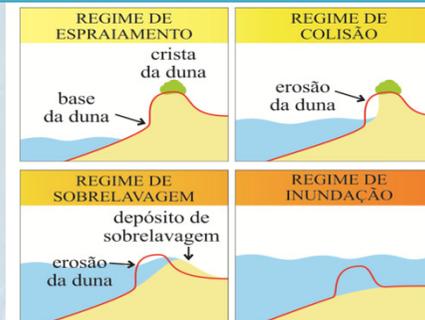
- Projeção de LC_{50t} $LC_{50t} = LC_{50C} + R_t$

Cartas Temáticas – Perigos Costeiros

- Elaboração de cartas temáticas na escala (1:10,000)
- Divulgação:



Identificação de Impactos Sobre a Praia



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Etapas a serem vencidas para a elaboração de cartas de perigos costeiros:

- Validação das bases de dados:
 - Validação das bases cartográficas;
 - Validação dos dados de ondas (problema falta de dados);
 - Validação dos dados de maré (serie longas problema);
 - Validação dos dados altimétricos (MDT);
 - Verificação das diferenças entre Datums Verticais;
- Falta de dados:
 - Falta de dados Batimétricos;
 - Falta de dados de ondas;
 - Falta de dados de maré.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

Resultados Praias Abrigadas

- A metodologia se mostrou eficiente gerando valores coerentes de área exposta à retração da linha de costa, bem como cotas de inundação;
- Apesar de desconsiderar a perda de energia em função do tipo de material e taxa de infiltração;
- Ou seja, considerou-se o pior caso com total saturação dos sedimentos e nenhuma perda de energia do fluxo;

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- Seguindo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC):
- A base cartográfica da SPU apresenta imprecisão de 2,54m, não estando dentro das três classes pré-estabelecidas A, B e C no decreto federal;
- A base cartográfica do IPUF é classificada como B, sendo o PEC 1,63m;
- Conhecendo a precisão das bases cartográficas oficiais agrega-se maior precisão e exatidão na realização dos estudos de quantificação de perigos costeiros.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- A comparação entre linhas de costas de 55 anos de diferença (1957 a 2012) para a taxa de evolução costeira se mostrou eficiente por integrar a maioria das causas de longo prazo da evolução da linha de costa, além de reduzir substancialmente a influência devido às flutuações de curto prazo (interanuais), como por exemplo, pequenas tempestades.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- Um diagnóstico das praias apontou processos erosivos alarmantes para diversas praias em estudo com retrações de até 100% da linha de costa, como é o caso da Praia dos Ingleses, Jurerê e Anhatomirim;
- No total cerca de 60% (26.504,79 m) da linha de costa da área de estudo está em processo de retração.
- Este número pode ainda ser agravado se levarmos em consideração que aproximadamente 23% (10.446,88m) da linha de costa encontra-se em estabilidade, um frágil estágio que pode se quebrado através de intervenções antrópicas mal estudadas ou calculadas.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- O modelo SMC-Brasil se mostrou eficiente em propagar as ondas até a costa das praias da área exposta;
- A partir dos resultados foi possível observar a influência dos promontórios e ilhas, presentes na área de estudo, no grau de exposição às ondas ao longo das praias.
- No entanto devido às premissas computacionais do Modelo SMC- Brasil, o mesmo não se mostrou apto à propagação de ondas às áreas abrigadas.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- O modelo SMC-Brasil se mostrou eficiente em propagar as ondas até a costa das praias da área exposta;
- A partir dos resultados foi possível observar a influência dos promontórios e ilhas, presentes na área de estudo, no grau de exposição às ondas ao longo das praias.
- No entanto devido às premissas computacionais do Modelo SMC- Brasil, o mesmo não se mostrou apto à propagação de ondas às áreas abrigadas.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- Os valores de retração adicional (Bruun) por aceleração de nível do mar foram mínimos se comparados aos eventos de menor escala.
- No entanto, seu efeito em longo prazo (escalas geológicas) é visível nos resultados deste trabalho.
- Em apenas 50 anos a retração pela aceleração adicional apontou recuo de mais de um metro na linha de costa de setores das praias da Barra da Lagoa/ Moçambique e Ingleses.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- Os valores de retração adicional (Bruun) por aceleração de nível do mar foram mínimos se comparados aos eventos de menor escala.
- No entanto, seu efeito em longo prazo (escalas geológicas) é visível nos resultados deste trabalho.
- Em apenas 50 anos a retração pela aceleração adicional apontou recuo de mais de um metro na linha de costa de setores das praias da Barra da Lagoa/ Moçambique e Ingleses.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- Para as áreas abrigadas da incidência de ondas uma adaptação metodológica baseada na interpretação da Regra de Bruun feita por Van Rijn (1998) foi proposta para o cálculo da retração adicional;
- Para as praias abrigadas localizadas na Costa Norte da Ilha de Santa Catarina a retração devido à inundação gerada pela aceleração da subida do nível do mar apresentaram valores que chegaram a 1,8m (Praia de Canavieiras) para o cenário de 50 anos.
- Enquanto que para as praias continentais, localizadas no interior da Baía Norte a retração alcançou os 9m (Praia de São Miguel, cenário 50 anos).
- Os valores mais elevados encontrados nas praias continentais são explicadas pela baixa declividade dos perfis praias nesta região.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- O Método da Convolução (Kriebel e Dean,) apresentou resultados coerentes de retração decorrentes de grandes tempestades, se comparados aos valores descritos na literatura.
- Nas praias da Barra da Lagoa/Moçambique e Ingleses os setores com maiores valores de altura de quebra das ondas apresentaram maiores valores de retração.
- A Praia Brava evidenciou os maiores valores de retração, os quais ultrapassam os 51m de retração (perfil 4, Praia Brava, cenário 50 anos), devido à baixa declividade e baixa altura da duna frontal.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- O Método da Convolução (Kriebel e Dean,) apresentou resultados coerentes de retração decorrentes de grandes tempestades, se comparados aos valores descritos na literatura.
- Nas praias da Barra da Lagoa/Moçambique e Ingleses os setores com maiores valores de altura de quebra das ondas apresentaram maiores valores de retração.
- A Praia Brava evidenciou os maiores valores de retração, os quais ultrapassam os 51m de retração (perfil 4, Praia Brava, cenário 50 anos), devido à baixa declividade e baixa altura da duna frontal.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- O estudo e a previsão de impactos gerados por tempestades representam um instrumento de extrema relevância para o entendimento aprofundado da dinâmica costeira sendo fundamental na aplicação de um efetivo gerenciamento costeiro;
- Uma vez que praias onde ocorrem os regimes sobrelavagem e inundação estão sujeitas à drásticas consequências.
- A ocorrência destes regimes em áreas de ocupação humana podem causar diversos prejuízos às estruturas antrópicas e naturais como já foram evidenciados em setores das praias de Ingleses e da Barra da Lagoa;

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- O estudo e a previsão de impactos gerados por tempestades representam um instrumento de extrema relevância para o entendimento aprofundado da dinâmica costeira sendo fundamental na aplicação de um efetivo gerenciamento costeiro;
- Uma vez que praias onde ocorrem os regimes sobrelavagem e inundação estão sujeitas à drásticas consequências.
- A ocorrência destes regimes em áreas de ocupação humana podem causar diversos prejuízos às estruturas antrópicas e naturais como já foram evidenciados em setores das praias de Ingleses e da Barra da Lagoa;

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

- Por fim, **apesar da falta de dados públicos confiáveis**, a metodologia aplicada foi considerada eficiente podendo retratar de forma coerente e conservativa os cenários futuros propostos, ser replicada para outras costas do Brasil.
- É importante salientar que esta metodologia pode ser aprimorada com a inclusão de fatores como obstáculos antrópicos, rugosidade e infiltração do solo no processo de verificação da área exposta.

Considerações Finais

Projeto MMA-Riscos

Costa de Florianópolis

- 54km de linha de costa;
- ~ R\$ 1.300.000,00;
- R\$24.000,00 por km de LC
- 3 anos de trabalho;

EQUIPE TÉCNICA

Projeto MMA-Riscos

COORDENADOR:

Antonio Henrique da Fontoura Klein

GERENTE DE PROJETO:

Michel Franco Volpato Prado

AQUISIÇÃO DE DADOS BATIMÉTRICOS:

Rafael Sartori Valdiviezo de Camargo

Diego Fhelipe Porpilho da Silva

Michel Franco Volpato Prado

AQUISIÇÃO DE DADOS TOPOGRÁFICOS:

Michel Franco Volpato Prado

Rafael Sartori Valdiviezo de Camargo

Mariela Muler

Arthur de Oliveira Hernandez

Maiara Werner Pinto

CARTOGRAFIA E GEOPROCESSAMENTO:

Mariela Muler

José Maurício de Camargo

Michel Franco Volpato Prado

Ronaldo Rocha (UFRGS)

PROCESSAMENTO DE DADOS BATIMÉTRICOS:

Diego Fhelipe Porpilho da Silva

Daniel Carazzai

Jhersyka Klein Machado

Vanessa Guesser

PROCESSAMENTO DE DADOS TOPOGRÁFICOS:

Michel Franco Volpato Prado

Matheus Boze

José Roberto Miranda

MODELAGEM DE ONDAS:

Paula Gomes da Silva

Charline Dalinghaus

Wagner Langer Costa

ESTAGIÁRIOS:

Ana Paula

Diogo Varela

Gabriela Flemming

Marina Borges

Marina Bousfield

Natália Martins

Sheyla Malaquias