

EROSÃO COSTEIRA DO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO

giselimodolo@gmail.com

GISELI MODELO VIEIRA MACHADO

Dra. em Oceanografia Ambiental (UFES)

Msc. em Geografia (UFRJ)

Geógrafa (UFES)

DEPARTAMENTOS DE GEOGRAFIA E DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESPÍRITO SANTO



Introdução

A zona costeira atravessa áreas diferentes e climas variados

Capitais costeiras:

A erosão se torna uma preocupação

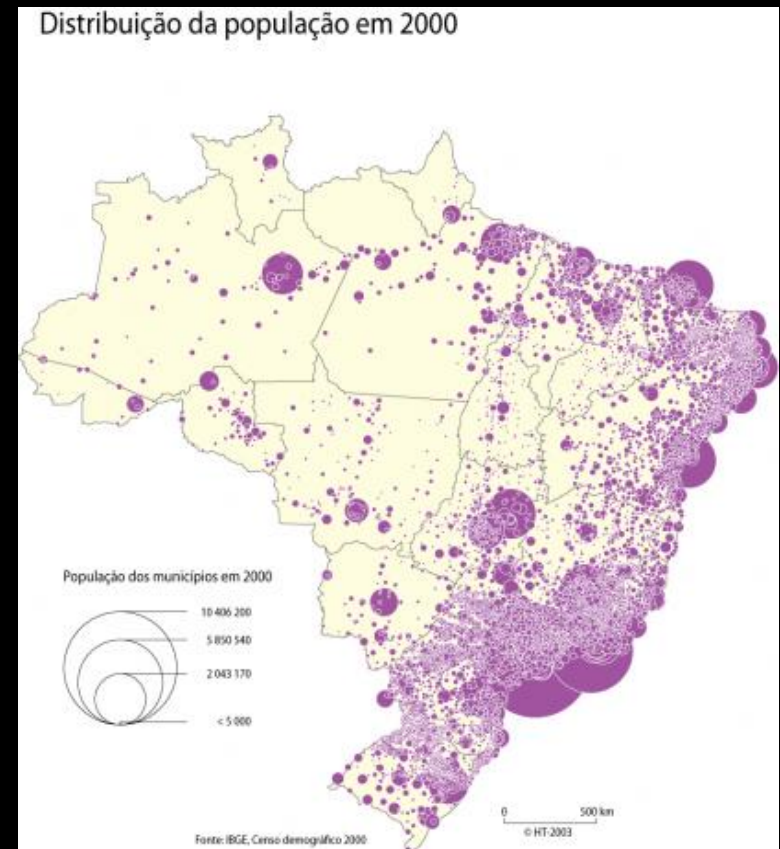
Maior densidade populacional

Quais são as demandas?

Estabilização de desembocaduras

Construções portuárias

Fixação da linha de costa



Avaliação da erosão e progradação da linha de costa

A erosão predomina largamente sobre a progradação

(Muehe, 2005)

erosão

40 % praias

20 % falésias

15% desembocaduras fluviais

progradação

10% praias

15% desembocaduras fluviais ou estuários

O QUE ISTO SIGNIFICA?

Erosão costeira (Muehe, 2005)

Causas naturais

- Variações do nível do mar
- Instabilidade tectônica
- Subsidência e soerguimento isostático
- Mudanças climáticas
- Mudanças de posição do geóide
- Agentes meteorológicos e oceanográficos



papel secundário, pelo menos para curta duração

Causas antrópicas:

- Impermeabilização de dunas
- Implantação de obras de engenharia costeira
- Implantação de barragens
- Retirada de areia da praia
- Impermeabilização do substrato geológico
- Ocupação humana irregular



80% atribuída à intervenção do homem

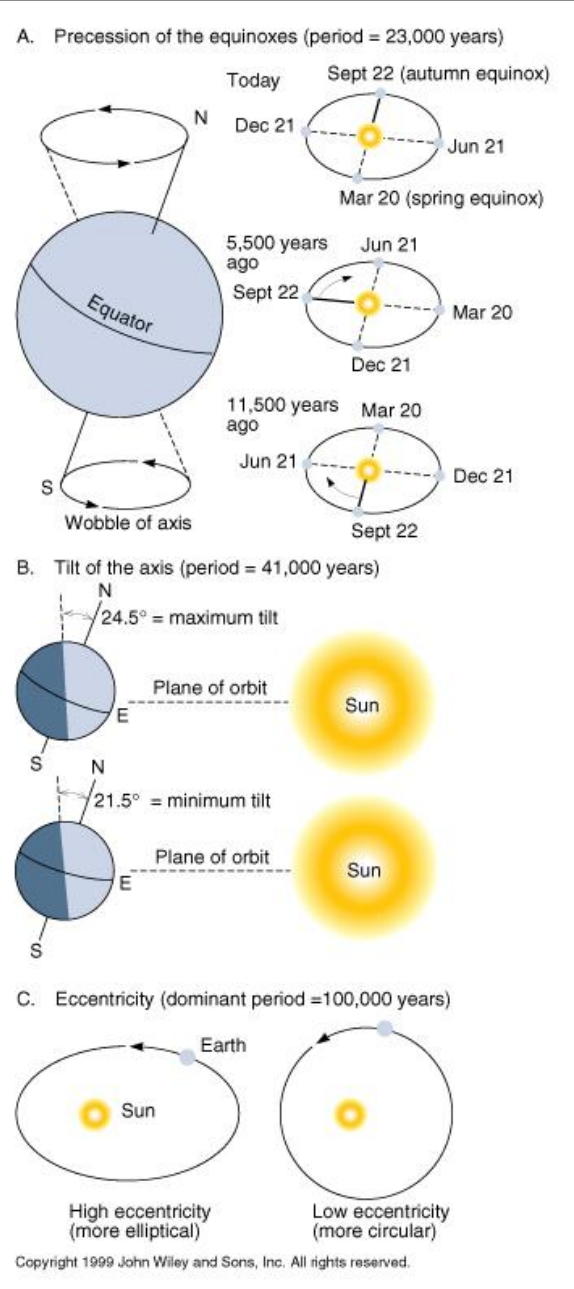
A linha de costa é
altamente variável
às **mudanças**
climáticas ao longo
do tempo geológico
e adaptável às
condições
meteoceanográficas
contemporâneas



Essas residências
são as que invadiram
as defesas naturais da praia.

VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR GEOLÓGICA/CLIMÁTICA

20 mil a milhões de anos



Ciclos de Milankovitch: diferentes escalas temporais

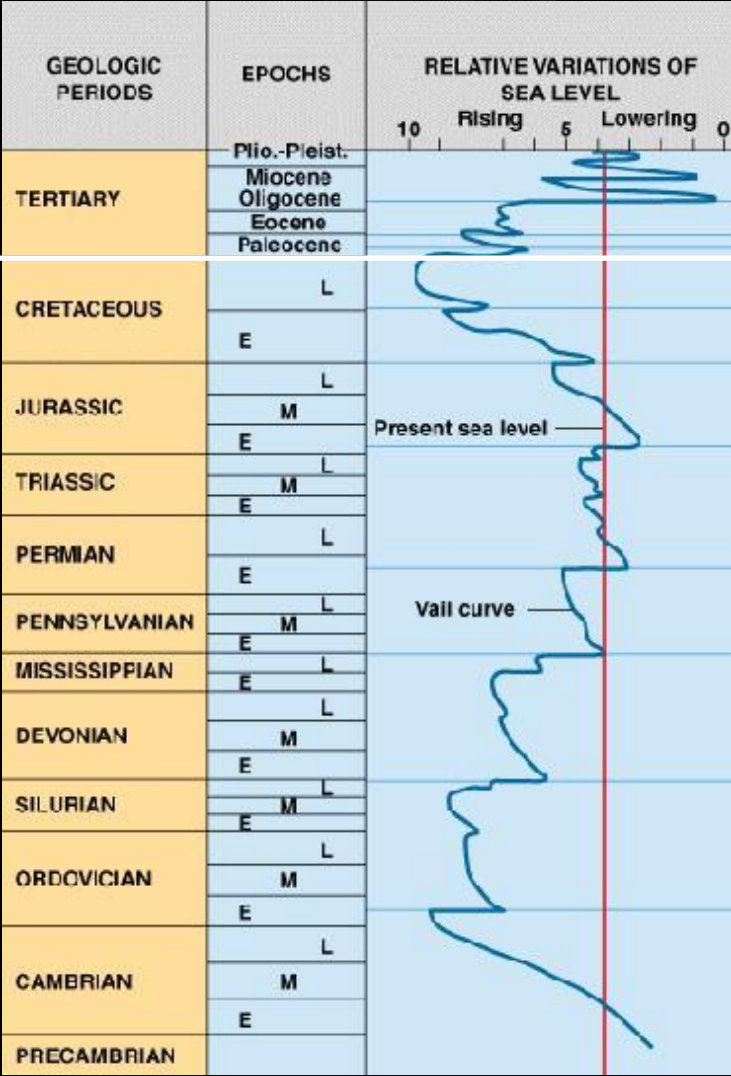


Ciclo de precessão
(orientação do eixo de rotação)
23 mil anos

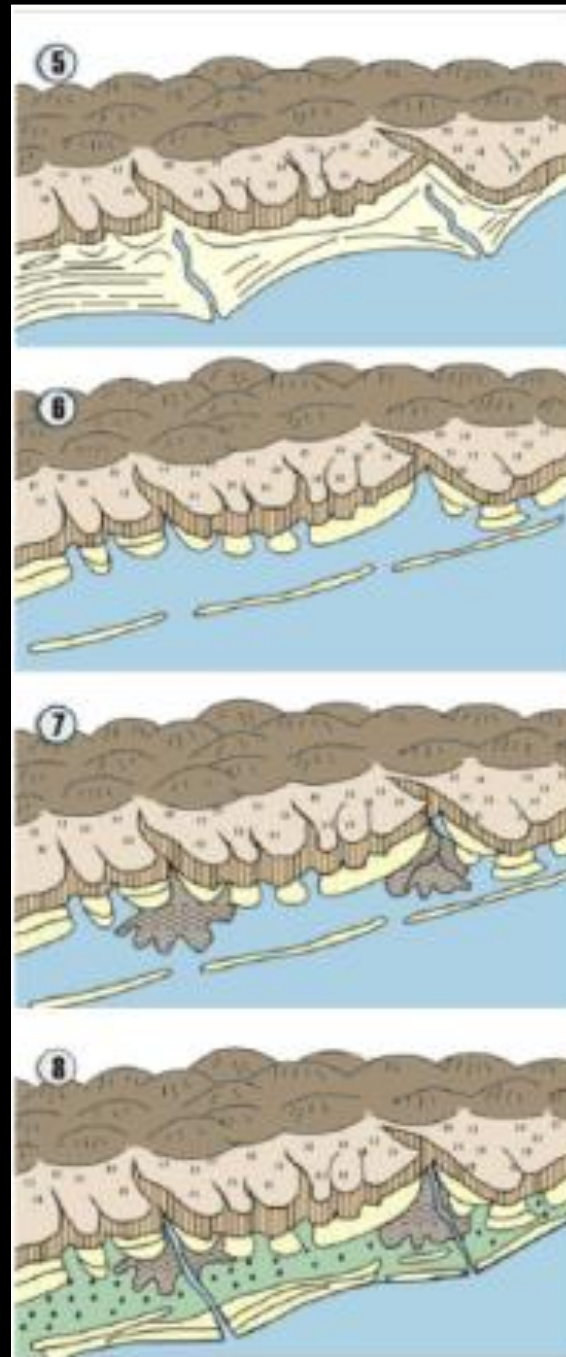
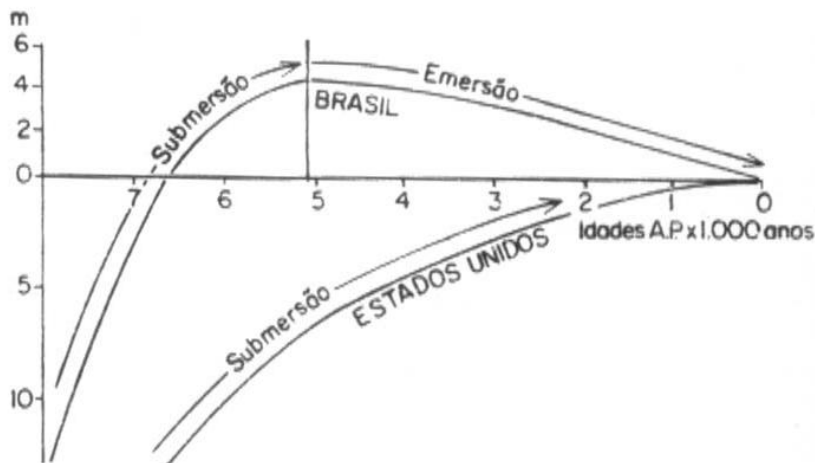
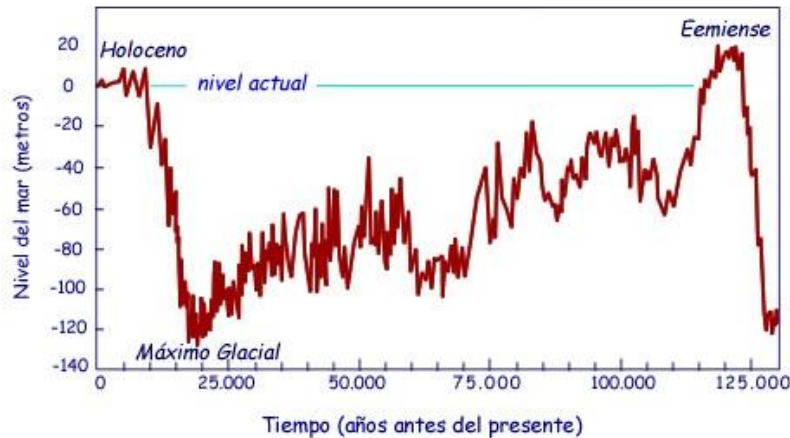
65 milhões

Ciclo de obliquidade
(inclinação da Terra)
41 mil anos

Ciclo de excentricidade
(distância entre Sol - Terra)
100 mil anos



Modelo de evolução costeira do Brasil e nível do mar



46-16 mil anos AP
NM regressivo

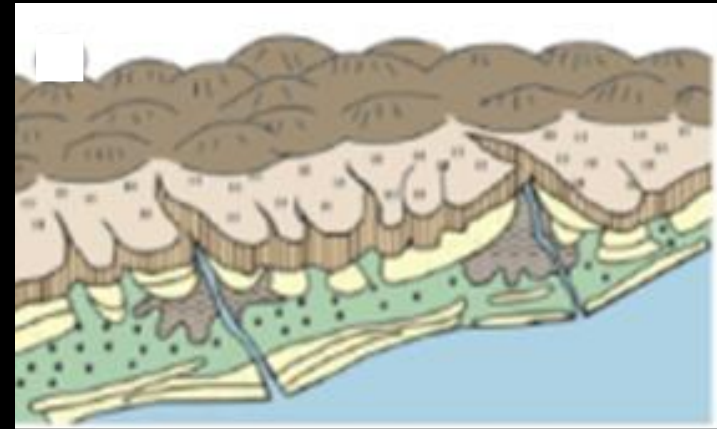
5 mil anos AP
Máx.da última
transgressão
marinha

A partir 5mil anos
Regressão marinha
Deltas
intralagunares

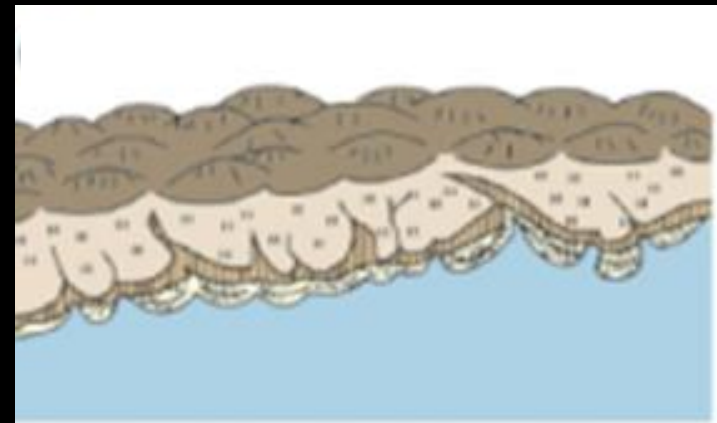
Formação da
planície de cristas
de praia no
Holoceno



Planícies



Estuários



VARIAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR por interação oceano atmosfera

- Influência da pressão atmosférica sobre o mar.
- Alteração da densidade da água do mar e correntes.
- Circulação e mobilidade de ventos.

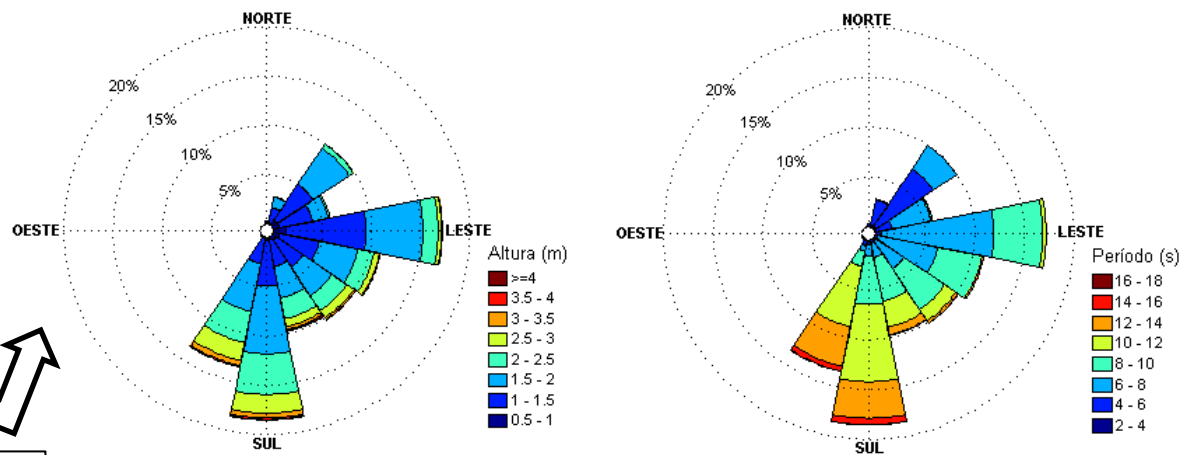
Na costa ...

- Ondas de tempestade
- Marés Meteorológicas
- ***VARIAÇÃO CÍCLICA*** das Marés

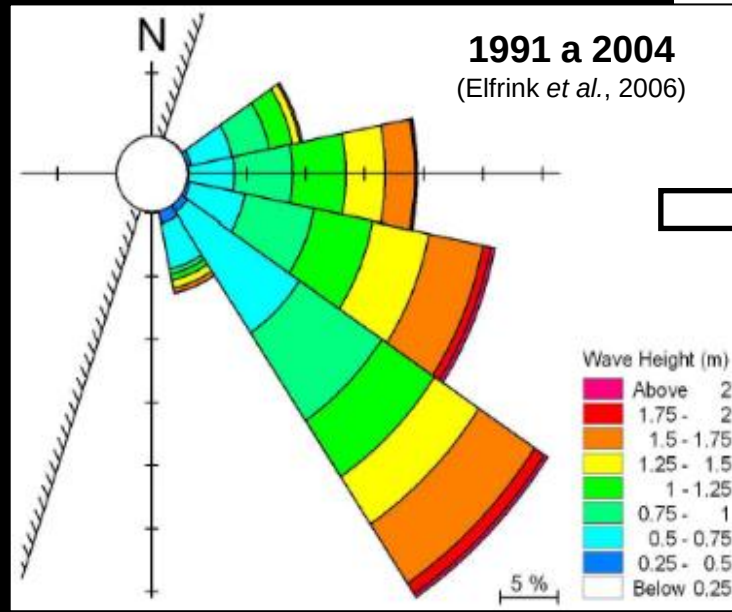
Nos últimos anos

**Incremento da
frequência de ondas de
Sudeste – Sul**

Litoral centro sul 1997 - 2010, modelados através do WWIII (Siegel e Contti Neto, 2013)

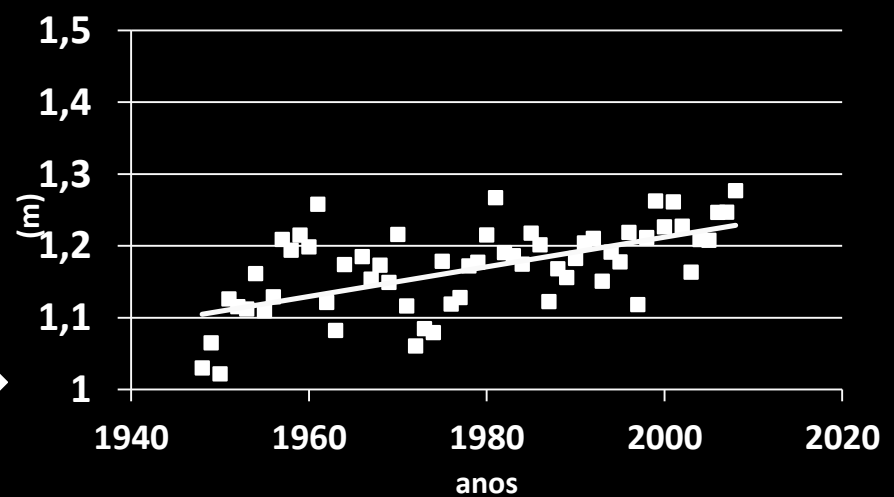


1991 a 2004
(Elfrink et al., 2006)



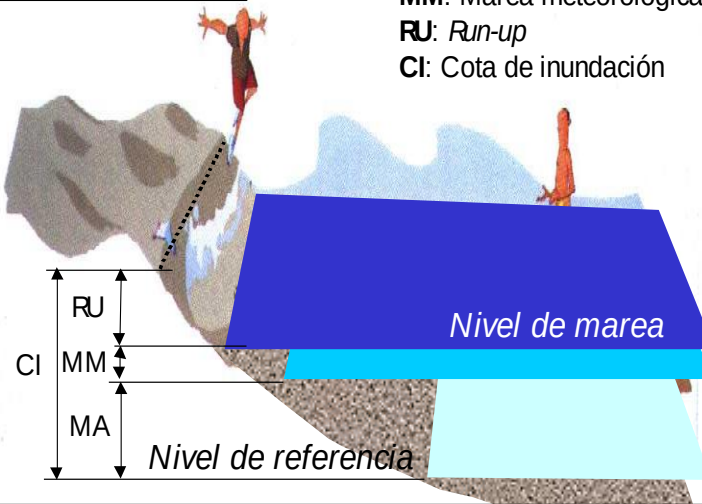
Tempestades mais frequentes

Litoral Central (Albino & Jimenez, prelo)



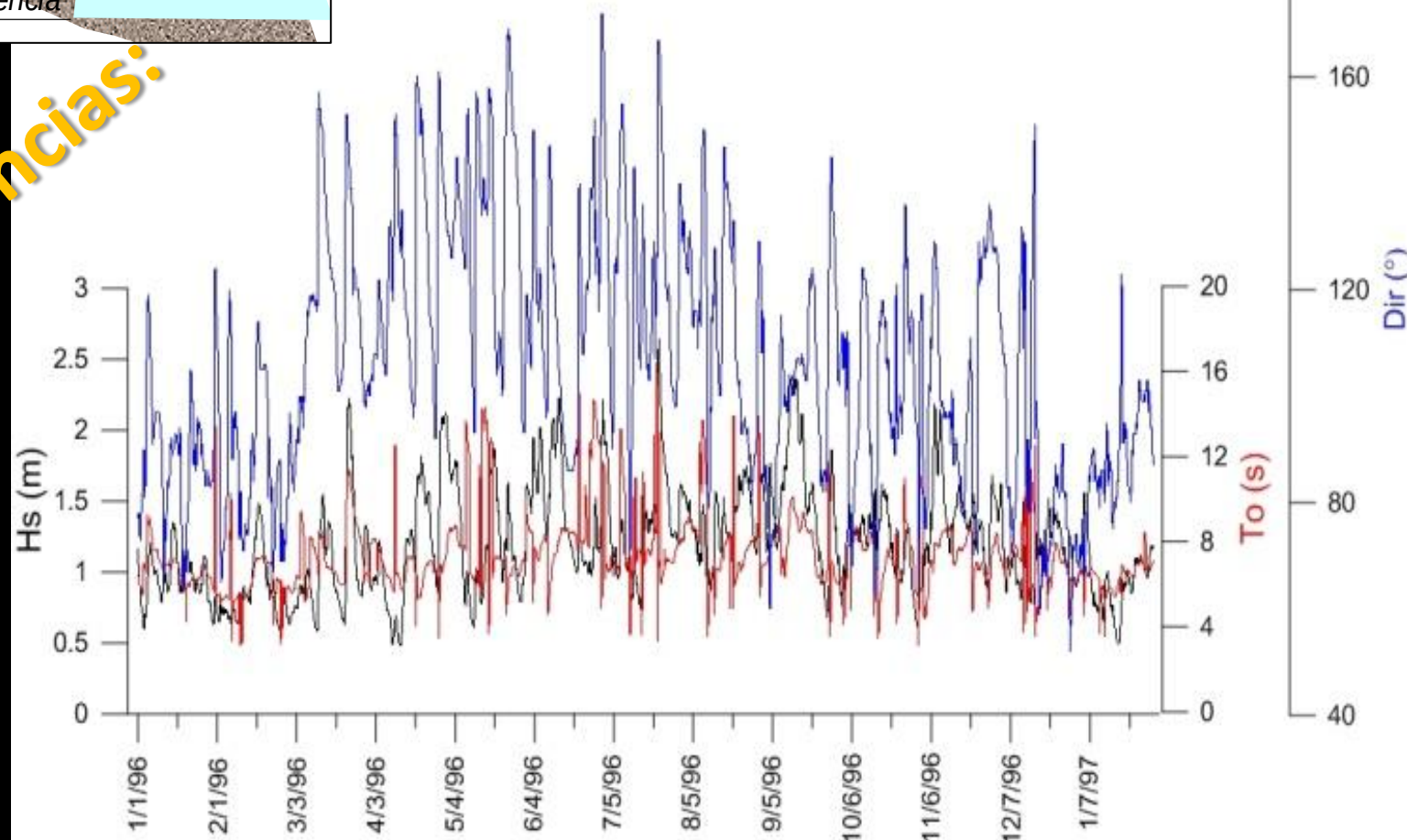
**Aumento 1-2mm/ano
na altura média das ondas**

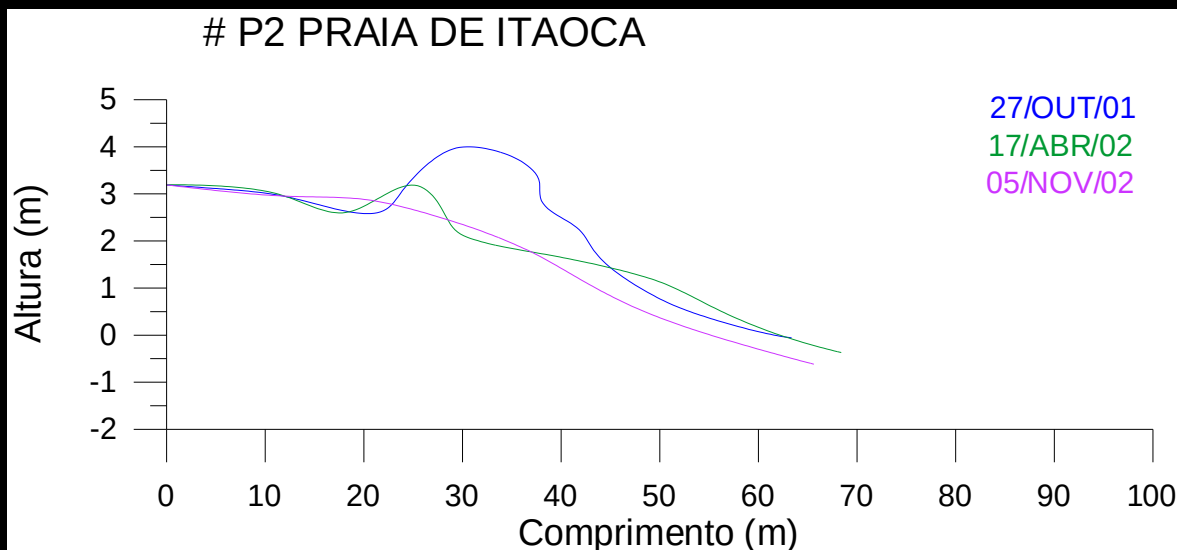
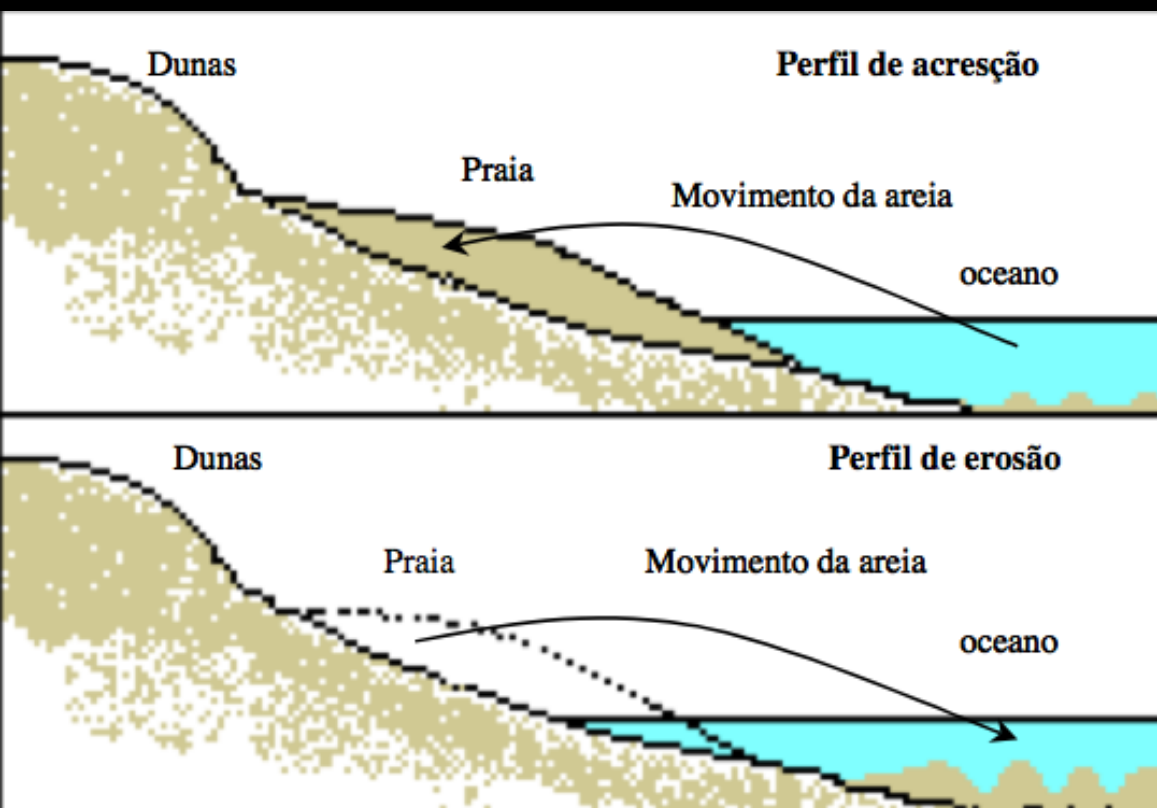
MA: Marea astronómica
 MM: Marea meteorológica
 RU: Run-up
 CI: Cota de inundación



- Ondas de tempestade, mais altas e inversão da direção
- Aumento do nível relativo do mar
 - Aumento do *run up*
- Maior volume no transporte de sedimentos
 - Ajuste morfológico

Consequências:

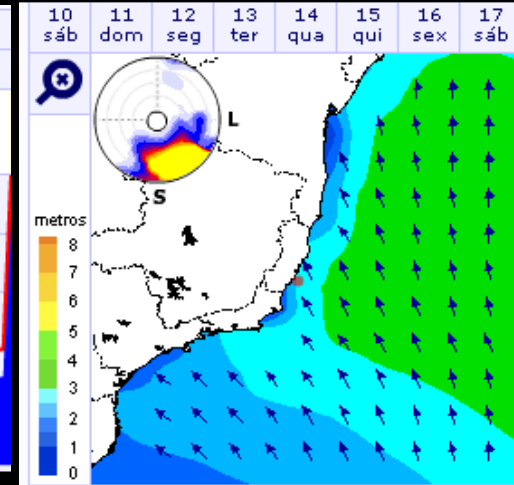




Praia do Morro, Guarapari
Albino et al (2015)



Consequências:



Consequências:

Agosto de 2017 - Praia da Costa



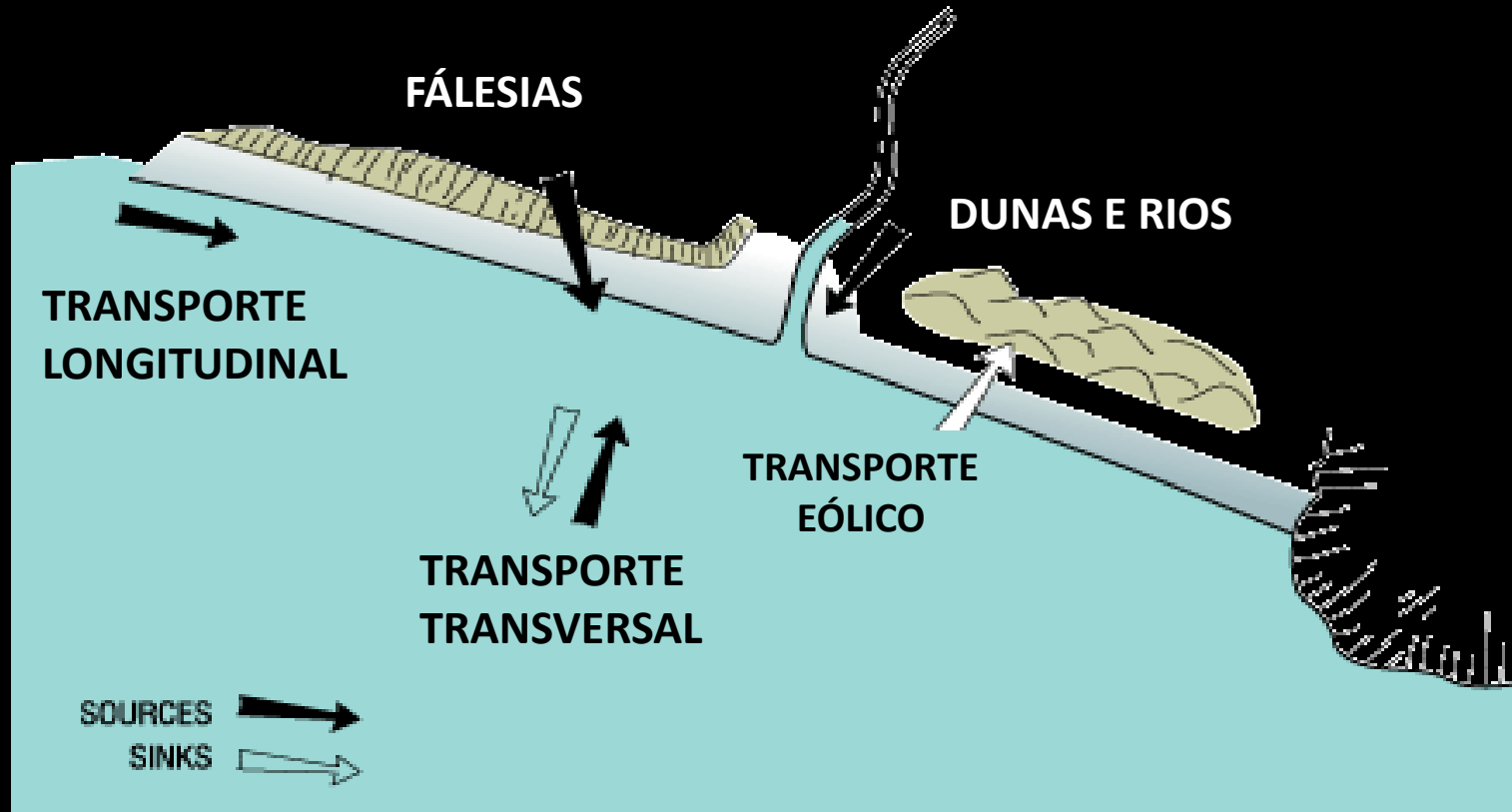
Consequências:

Para apresentar adaptação morfológica frentes
às alterações climáticas e
meteoceanográficas...

... a costa precisaria...

**BALANÇO DE SEDIMENTOS COSTEIRO
EM EQUILÍBRIO**

BALANÇO DE SEDIMENTOS COSTEIROS



Adaptado de KOMAR, P.D. 1983 Beach Processes and Erosion - An introduction. In KOMAR: *Handbook of Coastal Processes and Erosion*:1-20. CRC Press.

APORTES E TRANSPORTES

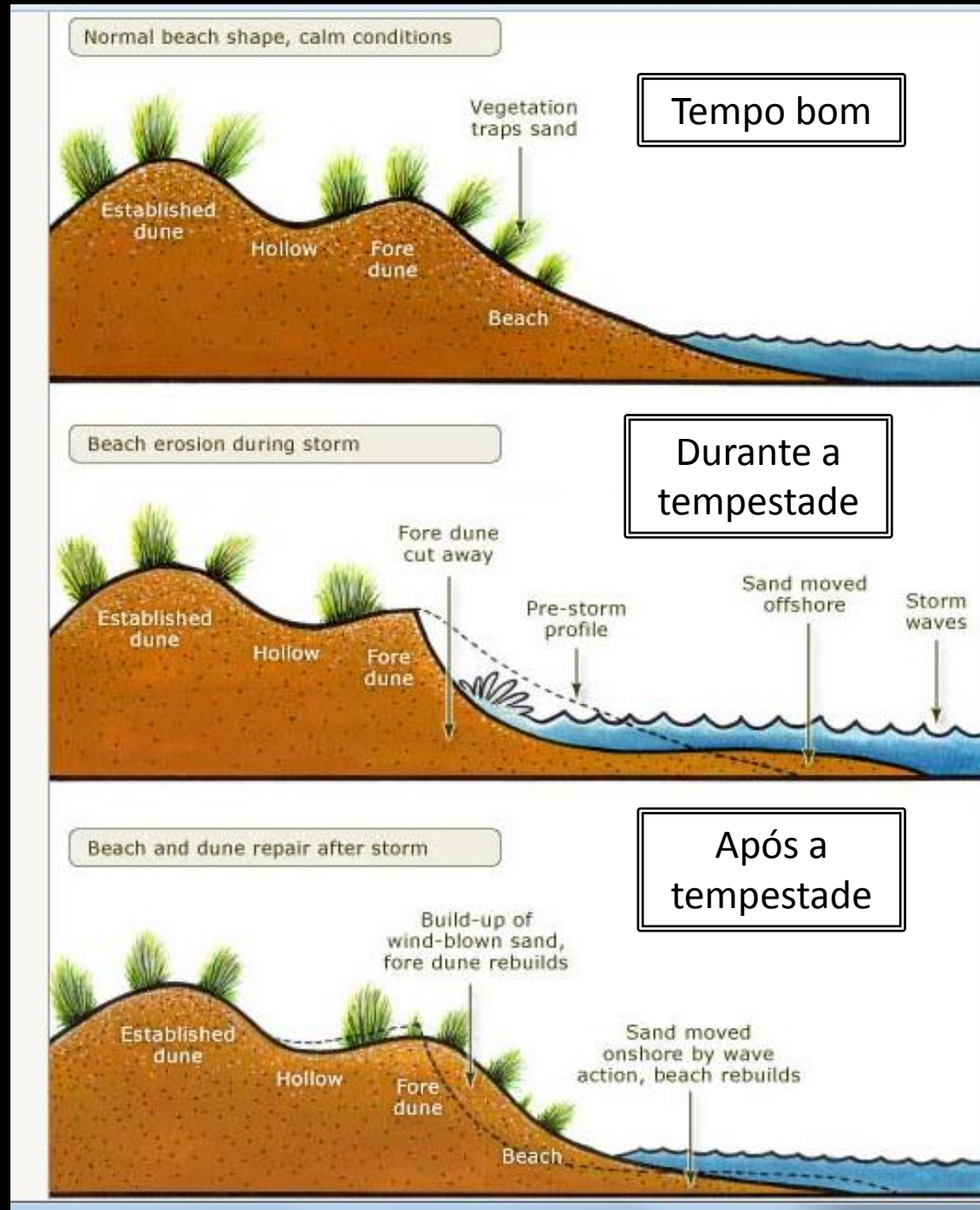
EQUILÍBRIO MORFOLÓGICO DINÂMICO

Interação:

Praia

X

Dunas frontais



OCUPAÇÃO COSTEIRA sobre ÁREAS DINAMIZADAS DA COSTA

EROSÃO/INUNDAÇÃO

VULNERABILIDADE E RISCOS

Ocupação sobre **DUNAS** em Marataízes





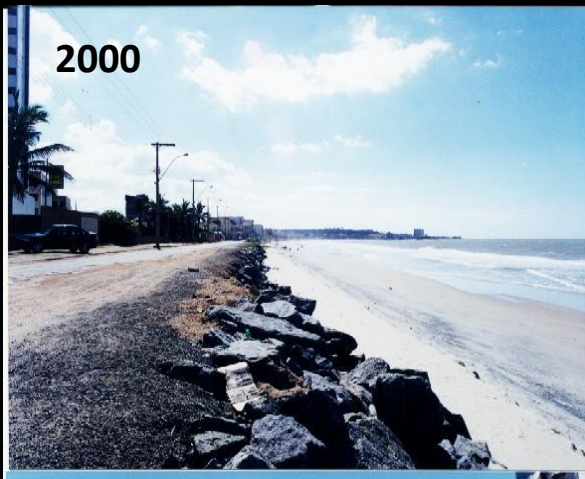
Praia de Central de Marataízes retirada das **DUNAS** frontais

1999



Foto: PMM ES

2000



2001



2002/2003



2005



2008



2009-10



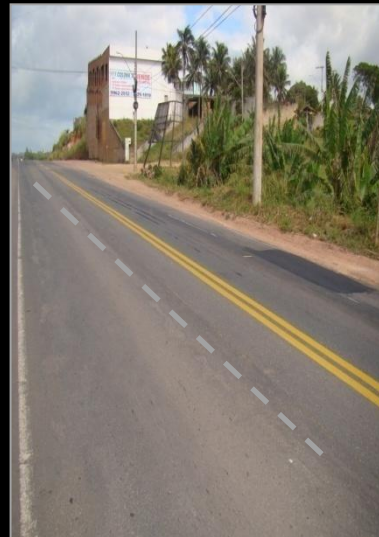
2010



NOV -2012



FALÉSIAS MAIMBÁ, ANCHIETA - GUARAPARI





☑ Tom Abbott, Biddulph High School
 and made available through
www.sln.org.uk/geography and only
 for non commercial use in schools



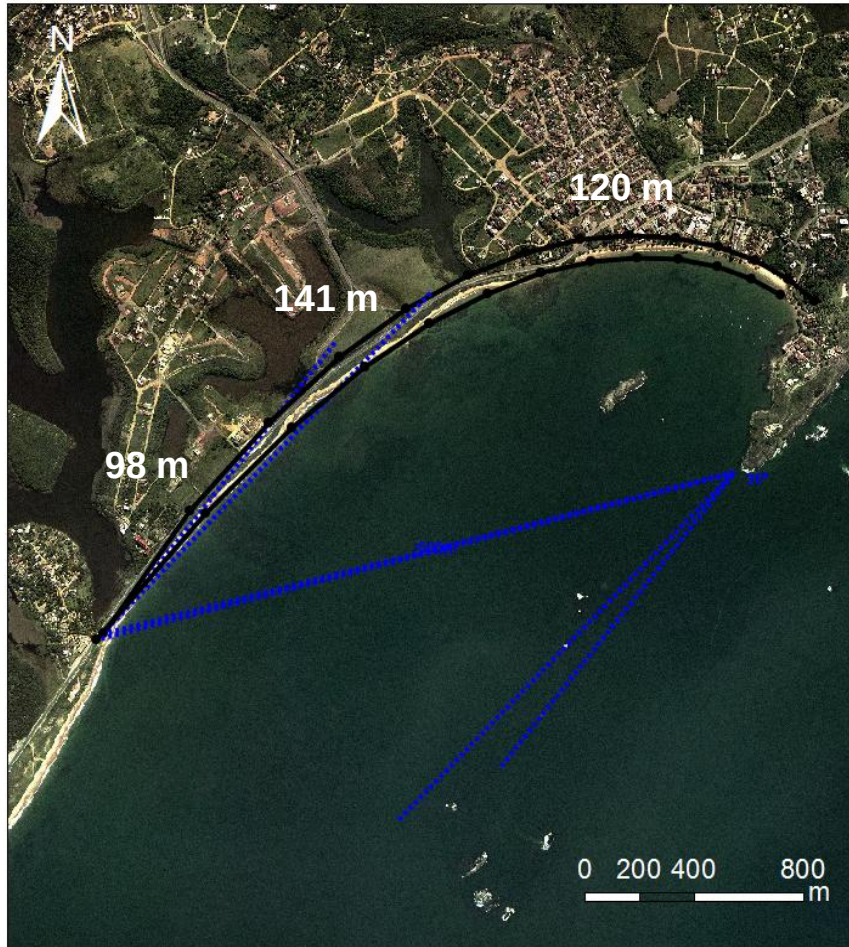
Recuo médio das falésias de 27m nos últimos anos 40 anos

(Albino et al 2016; Eguchi et al., 2016)

CALÇAMENTO BAIRO SOBRE AS DUNAS

Praia de Meaípe

ALTERAÇÃO DA DIREÇÃO DAS ONDAS
Mobilidade da linha de costa



GOW1970-2008 Reguero et al 2012
Dirección ola representativa $116^{\circ} \cong 4^{\circ}$

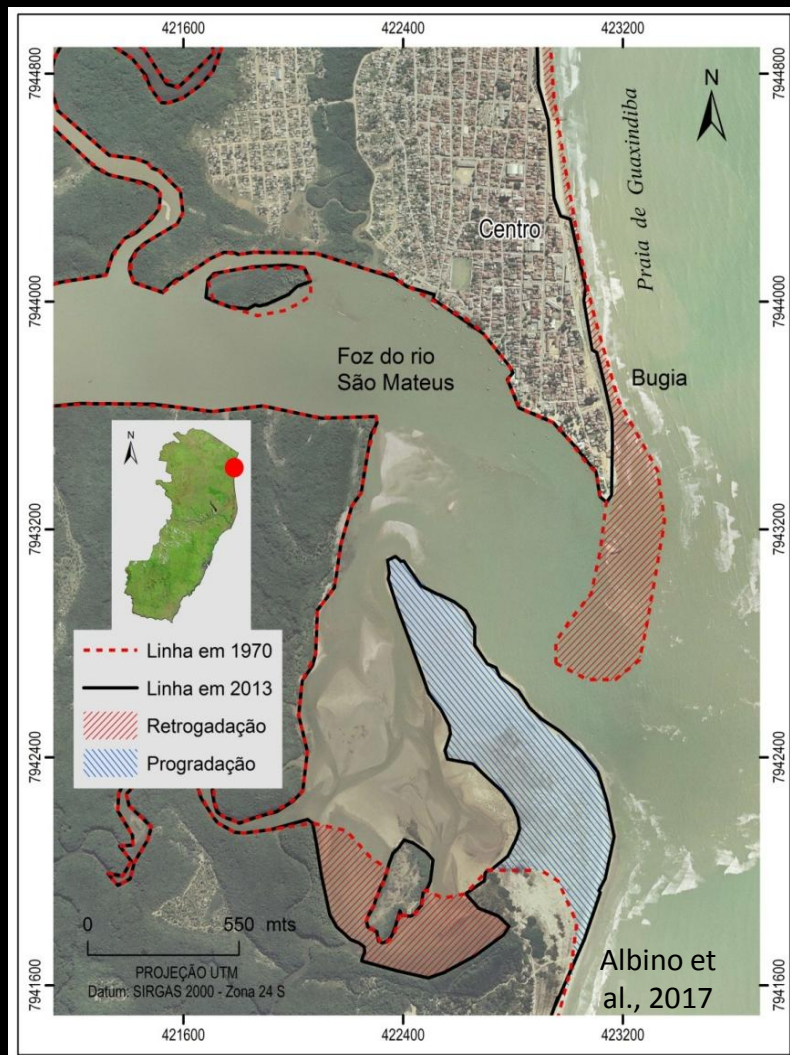
Agosto
2017



Albino et al.,
2016

Bugia, Conceição da Barra e alterações nas últimas décadas

- Inversão no sentido das ondas
- Aumento do nível do mar (tempestades)
- **Diminuição do aporte fluvial**





Reconhecimento de CÉLULAS DE BALANÇO DE SEDIMENTOS

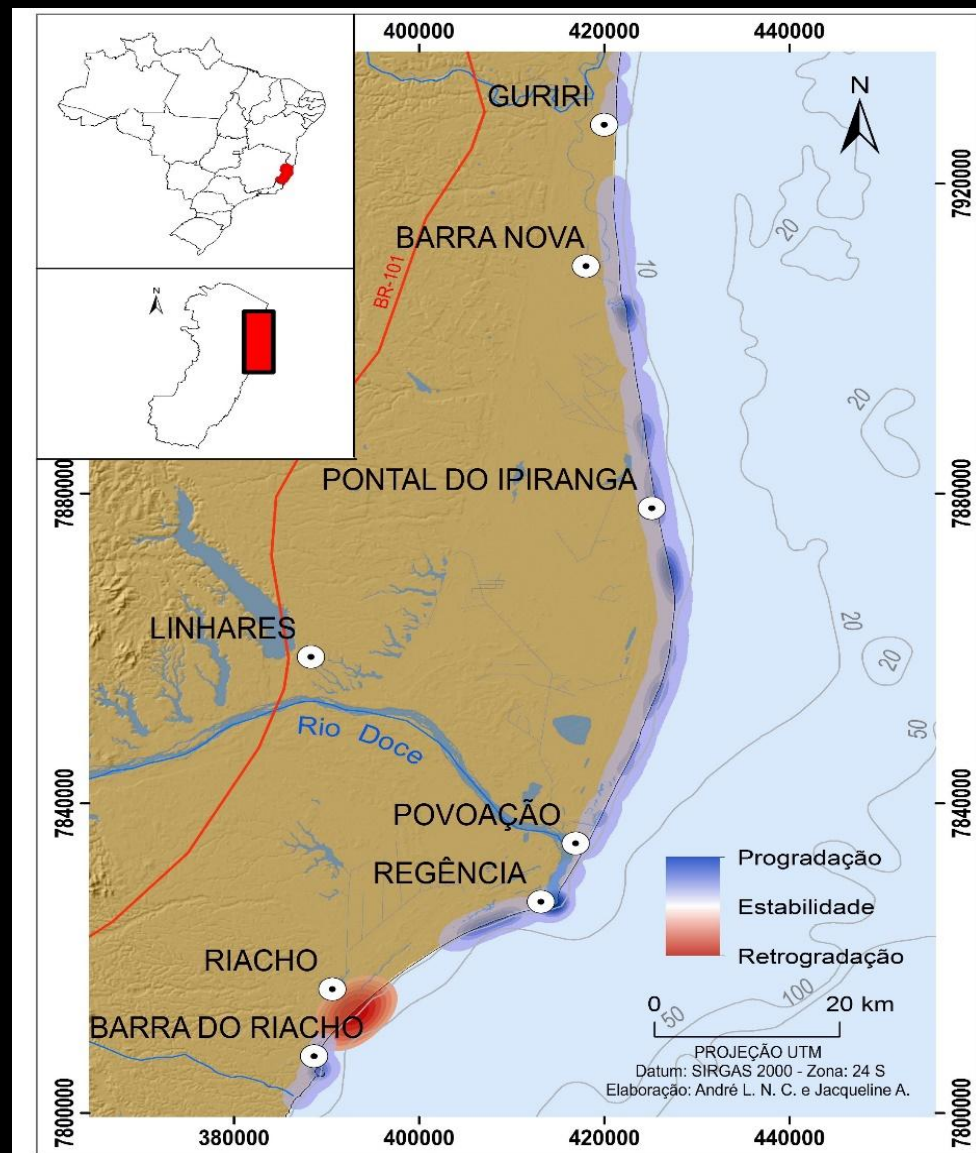
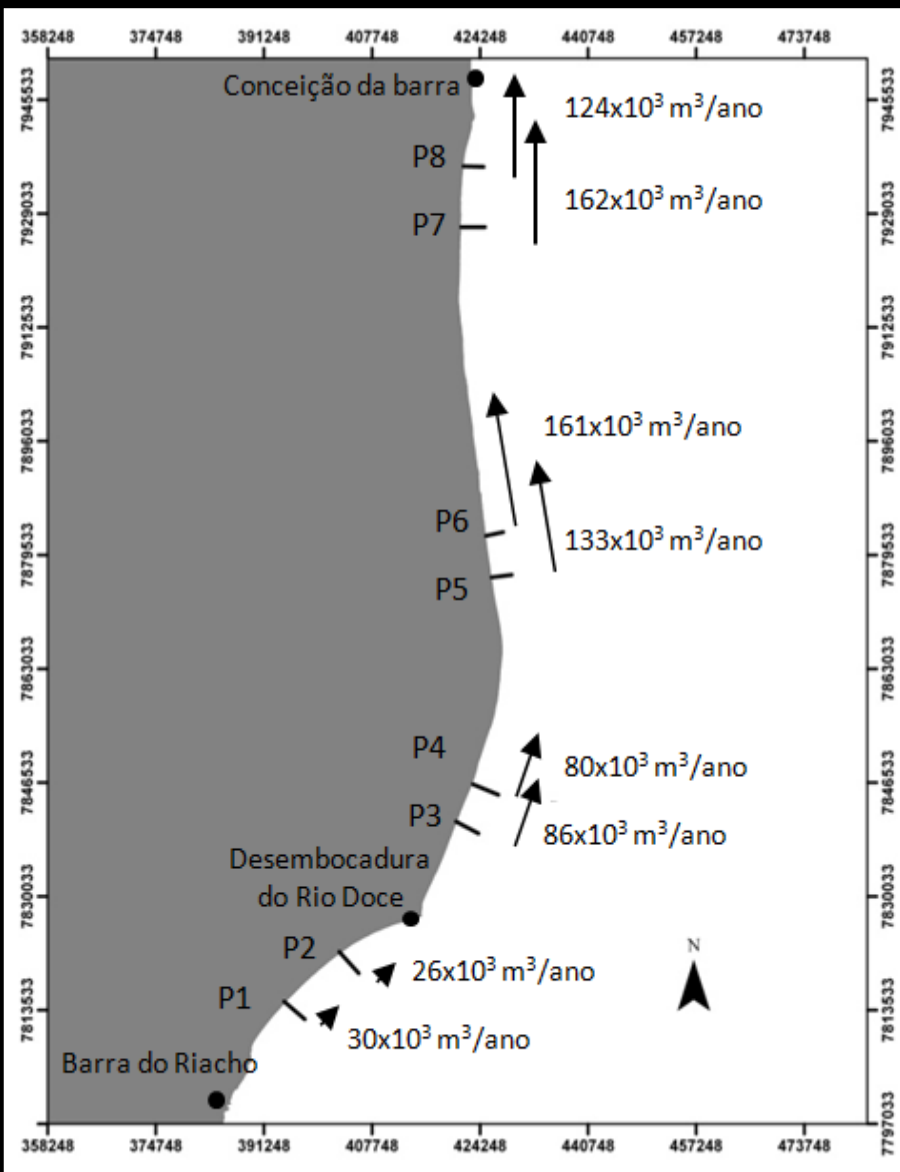
Células litorâneas de Balanço de Sedimentos

Litoral Recortado-

Várias Células individualizadas de Balanço Sedimentar

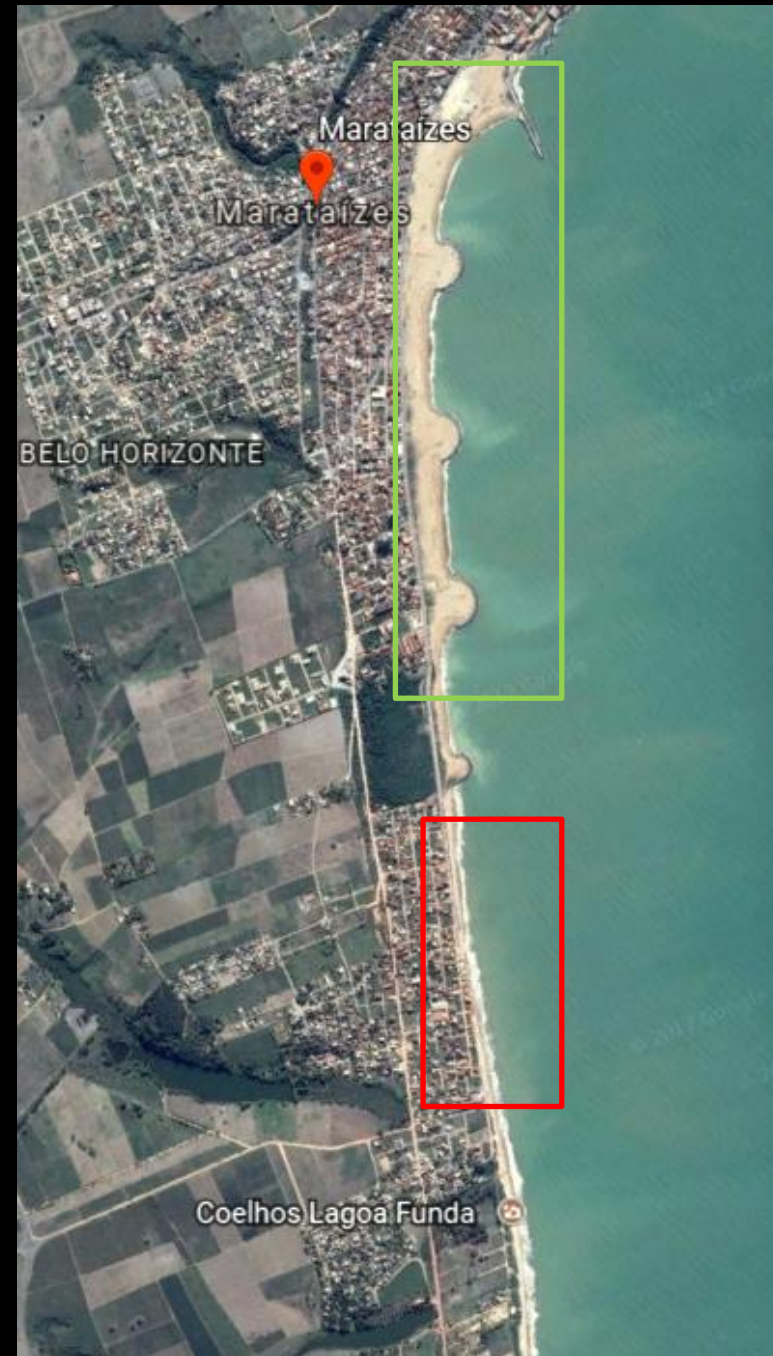


Litoral Exposto - Células expostas e interligadas



SUL DA PRAIA CENTRAL DE MARATAÍZES

Célula de Balanço de Sedimentos interligadas



Soluções de Estruturas duras limitam **APORTE E BALANÇO DE SEDIMENTOS...**

... e ainda aceleram a destruição da praia:
função de **RECREAÇÃO**
COMPROMETIDA



Bird 2007

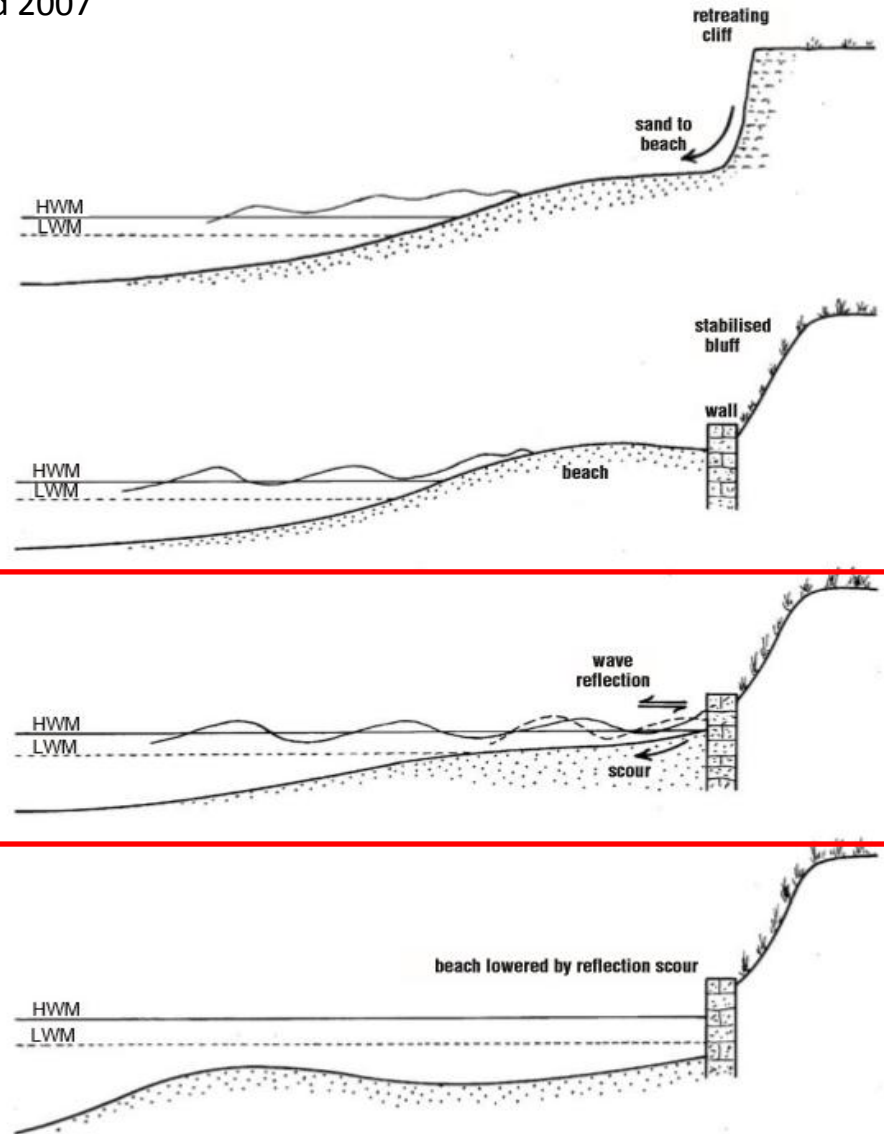


Figure 7.5 A receding cliff supplying sand to a beach is stabilised as a bluff after a sea wall is built to halt coastline recession. Reflection of waves from the sea wall then causes beach erosion

REFLEXÃO DE
ONDAS

+

DIMINUIÇÃO
DO APORTE

=

**PRAIAS SEM
RECREAÇÃO**



Praia de Itaipava, ES- 2008



Giseli Modolo



RECIFE PE

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=549630>



PRAIA DE ARMAÇÃO, FLORIANÓPOLIS SC

<http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2010/09/muro-de-contencao-e-concluido-na-praia-da-armacao-em-florianopolis-3054851.html>

Atualização em 2017

“Panorama da Erosão Costeira do Brasil”

Programa de Geologia e Geofísica Marinha

Ministério de Meio Ambiente

Organização Dieter Muehe

EROSÃO E PROGRADAÇÃO DO LITORAL BRASILEIRO

organização
Dieter Muehe

LITORAL DO ESPÍRITO SANTO

48,5% ESTÁVEL

35,2% PROGADAÇÃO

16,3% RETROGRADAÇÃO (EROSÃO)

*“A intensa ocupação da orla e a mobilidade em desembocaduras fluviais se mantêm como as causas que indicam **processos erosivos** na costa arenosa. A primeira devido à interrupção do balanço de sedimentos nos trechos onde há a ocupação sobre as dunas frontais e implantação de estruturas portuárias. A segunda se encontra associada às alterações de décadas, de eventos climáticos e oceanográficos.*

Albino et al, 2017

Jacqueline Albino
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Gisele Girardi
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Kleverson Alencastre da Nascimento
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

ESPÍRITO SANTO

2006

Divisa BA e ES até Conceição da Barra

Extensão do litoral: 27,7 km
Área Progradação: 0,7 ha
Área Retrogradação: 77 ha

I - MACRO UNIDADE MORFOLOGICA

- A - Costão rochoso cristalino
- B - Falésia em rocha sedimentar (Formação Barreiras e outros)
- C - Planície de cristas de praia
- D - Planície de cristas de praia estreita, limitada por falésias da Formação Barreiras

II - MESO UNIDADE MORFOLOGICA

- a - Cordão litorâneo largo
- b - Cordão litorâneo estreito sob efeito de transposição das ondas
- c - Pontal
- d - Dunas parabólicas
- e - Dunas barcanas ou barcanóides
- f - Dunas transversais
- g - Manguezal

III - UNIDADE MORFODINÂMICA

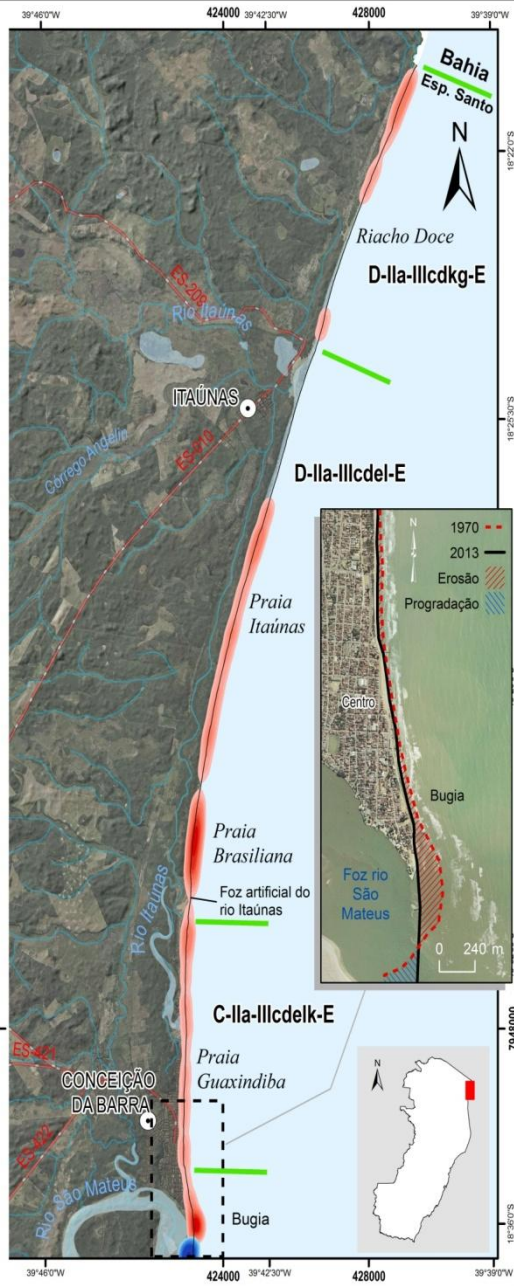
- a - Falésia viva
- b - Praia refletiva
- c - Praia intermediária
- d - Praia dissipativa
- e - Dunas frontais
- f - Plataforma de abrasão rochosa
- g - Substrato sub-horizontal recoberto por concreções lateríticas
- h - Falésia precedida de praia
- i - Falésia precedida de terraço
- j - Costão rochoso precedido de plataforma de abrasão
- k - Desembocadura fluvial
- l - Recifes de arenito de praia
- m - Recifes de coral

QUANTO AO GRAU DE EXPOSIÇÃO

- E - Exposto
- SE - Semi-exposto
- A - Abrigado

- Localidade
- Limite das Unidades
- Rodovia
- Progradação
- Estabilidade
- Retrogradação

0 4 km
PROJEÇÃO UTM
Datum Horizontal: SIRGAS 2000 - Zona: 24 S



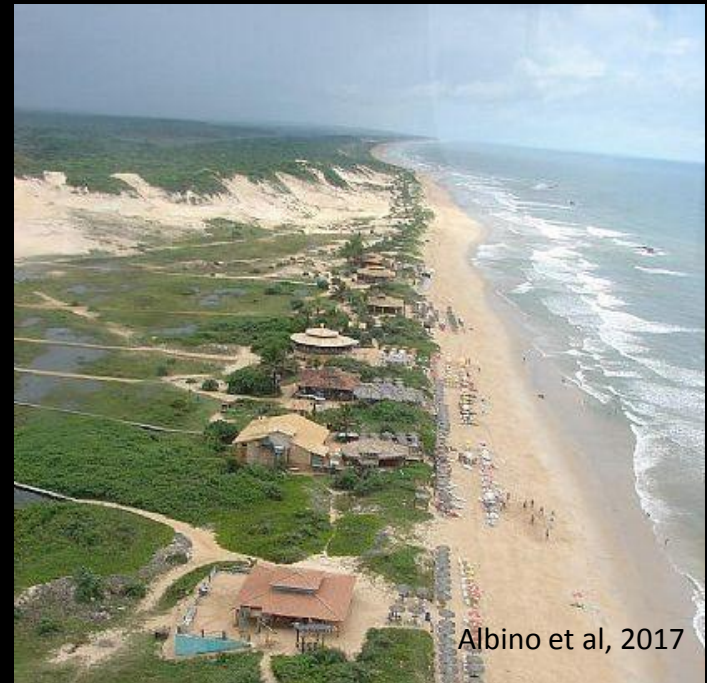
Praia de Itaúnas

Migração das dunas
Alterações fluviais
Aumento relativo do NM

Erosão: SIM, mas a ocupação rarefeita)

0,7 ha PROGADAÇÃO

77 ha RETROGRADAÇÃO (EROSÃO)



Albino et al, 2017

SUPERPOSIÇÃO DA LINHA DE COSTA 1970 -2008

Aracruz até Jacaraípe

Extensão do litoral: 35,7 km
Área Progradação: 33,2 ha
Área Retrogradação: 4,8 ha

I - MACRO UNIDADE MORFOLOGICA

- A - Costão rochoso cristalino
- B - Falésia em rocha sedimentar (Formação Barreiras e outros)
- C - Planície de cristas de praia
- D - Planície de cristas de praia estreita, limitada por falésias da Formação Barreiras

II - MESO UNIDADE MORFOLOGICA

- a - Cordão litorâneo largo
- b - Cordão litorâneo estreito sob efeito de transposição das ondas
- c - Pontal
- d - Dunas parabólicas
- e - Dunas barcanas ou barcanóides
- f - Dunas transversais
- g - Manguezal

III - UNIDADE MORFODINÂMICA

- a - Falésia viva
- b - Praia refletiva
- c - Praia intermediária
- d - Praia dissipativa
- e - Dunas frontais
- f - Plataforma de abrasão rochosa
- g - Substrato sub-horizontal recoberto por concreções lateríticas
- h - Falésia precedida de praia
- i - Falésia precedida de terraço
- j - Costão rochoso precedido de plataforma de abrasão
- k - Desembocadura fluvial
- l - Recifes de arenito de praia
- m - Recifes de coral

QUANTO AO GRAU DE EXPOSIÇÃO

- E - Exposto
- SE - Semi-exposto
- A - Abrigado

Localidade

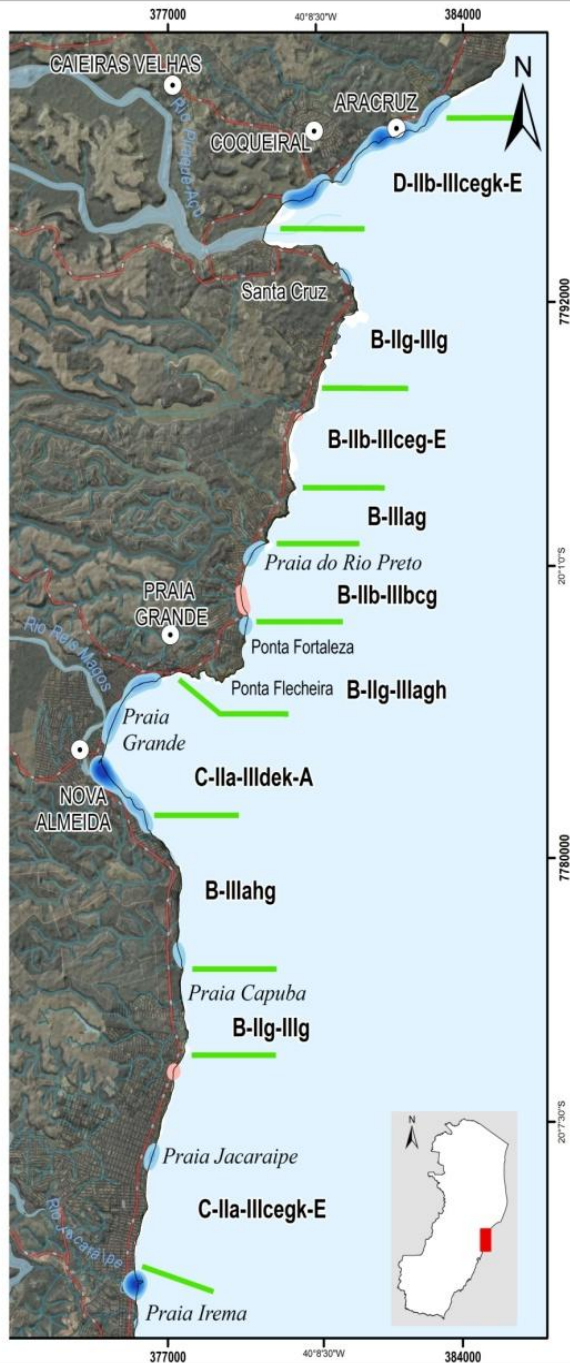
Limite das Unidades

Rodovia

Progradação
Estabilidade
Retrogradação

0 4 km

PROJEÇÃO UTM
Datum Horizontal: SIRGAS 2000 - Zona: 24 S



33,2 ha **PROGRADAÇÃO**

4,8 ha **RETROGRADAÇÃO (EROSÃO)**

Albino et al, 2017

EROSÕES e INUNDAÇÕES LOCALIZADAS DEVIDO À ocupação indevida ...

Maré alta destrói a orla de Ponta da Fruta, em Vila Velha

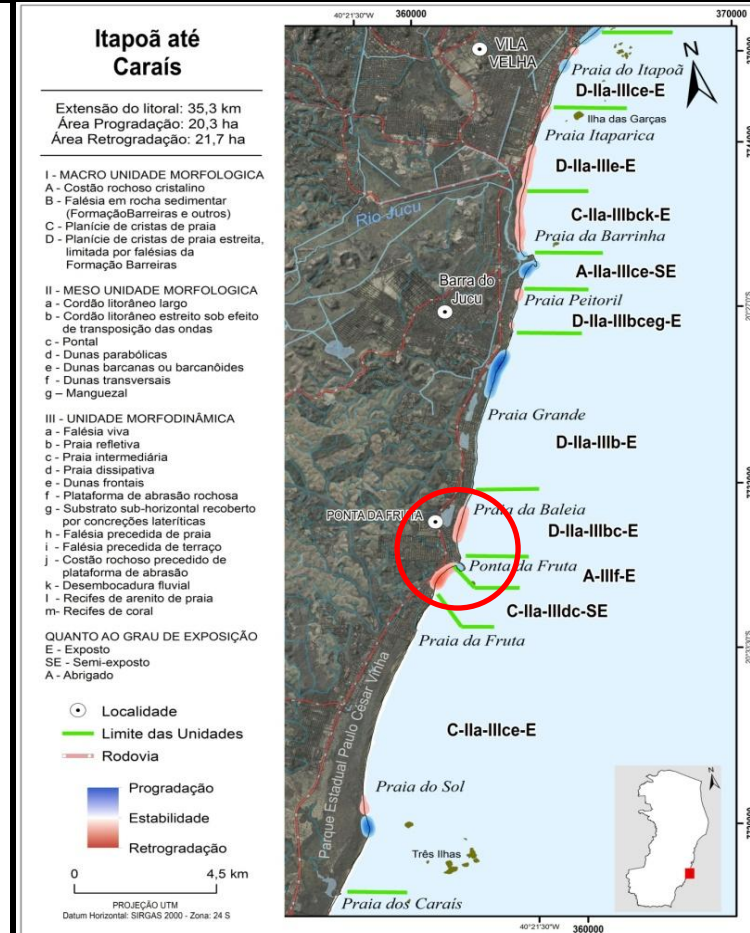
23/02/2015 - 13h33 - Atualizado em 23/02/2015 - 13h33

Em cerca de 1 km de extensão, na Praia Rasa, a força da água derrubou muros e destruiu a calçada que dá acesso ao local

*Moradores e comerciantes estão preocupados com a erosão causada pela maré alta em Ponta da Fruta, no município de Vila Velha. Em cerca de 1 km de extensão, na Praia Rasa, a força da água **derrubou muros e destruiu a calçada que dá acesso ao local.***

*Segundo moradores, seis árvores foram arrancadas e permanecem caídas na praia. A Prefeitura de Vila Velha foi procurada na manhã desta segunda-feira (23) e informou que a **Defesa Civil** do município fez o isolamento do local em que os muros caíram e está monitorando as residências atingidas.*

<http://gazetaonline.globo.com/index.php?id=noticias/index.php>



20,3 ha PROGADAÇÃO
21,7 ha RETROGRADAÇÃO (EROSÃO)

PONTA DA FRUTA, VILHA VELHA



Fonte: CBN em 15/01/2017



Foto: Giseli março2018



Praia adjacente...

Foto: Giseli Modolo - março2018



Foto: Giseli Modolo - março2018

Ubu até Itaipava

Extensão do litoral: 38,4 km
 Área Progadação: 7 ha
 Área Retrogradação: 11,1 ha

I - MACRO UNIDADE MORFOLOGICA

- A - Costão rochoso cristalino
- B - Falésia em rocha sedimentar (Formação Barreiras e outros)
- C - Planície de cristas de praia
- D - Planície de cristas de praia estreita, limitada por falésias da Formação Barreiras

II - MESO UNIDADE MORFOLOGICA

- a - Cordão litorâneo largo
- b - Cordão litorâneo estreito sob efeito de transposição das ondas
- c - Pontal
- d - Dunas parabólicas
- e - Dunas barcanas ou barcanóides
- f - Dunas transversais
- g - Manguezal

III - UNIDADE MORFODINÂMICA

- a - Falésia viva
- b - Praia refletiva
- c - Praia intermediária
- d - Praia dissipativa
- e - Dunas frontais
- f - Plataforma de abrasão rochosa
- g - Substrato sub-horizontal recoberto por concreções lateríticas
- h - Falésia precedida de praia
- i - Falésia precedida de terraço
- j - Costão rochoso precedido de plataforma de abrasão
- k - Desembocadura fluvial
- l - Recifes de arenito de praia
- m - Recifes de coral

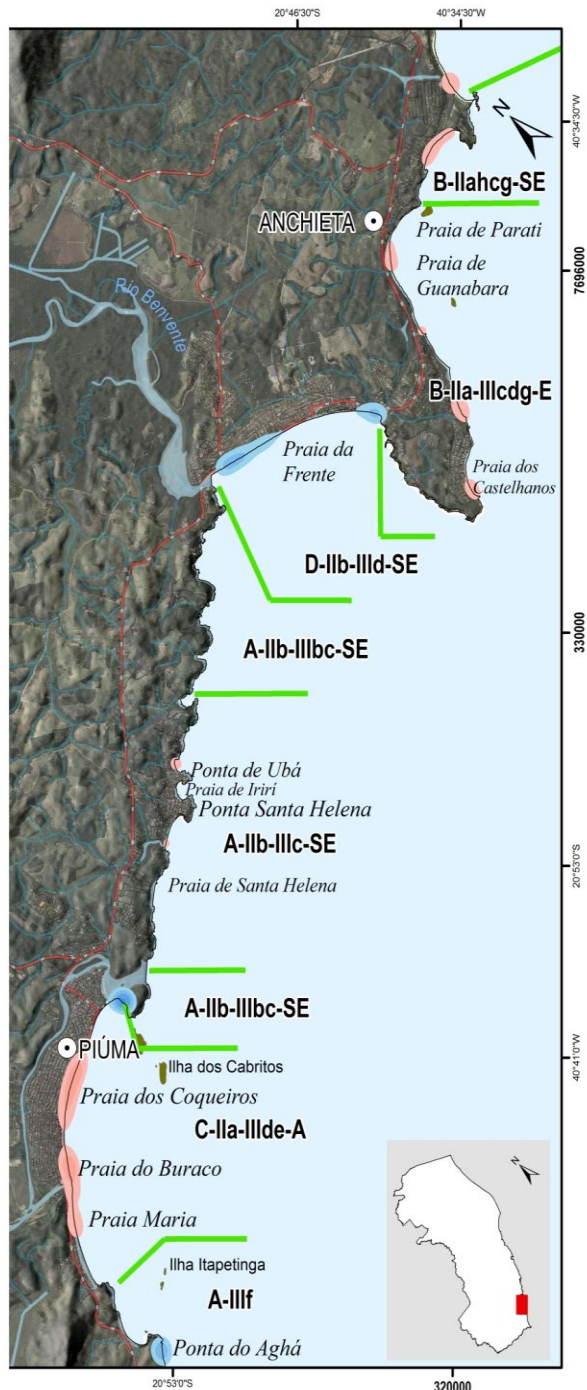
QUANTO AO GRAU DE EXPOSIÇÃO

- E - Exposto
- SE - Semi-exposto
- A - Abrigado

- Localidade
- Limite das Unidades
- Rodovia
- Progradação
- Estabilidade
- Retrogradação

0 3 km

PROJEÇÃO UTM
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000 - Zona: 24 S



7 ha PROGADAÇÃO

11,1 ha RETROGRADAÇÃO (EROSÃO)



Marataizes até Itabapoana

Extensão do litoral: 30,9 km
Área Progradação: 13,7 ha
Área Retrogradação: 11,2 ha

I - MACRO UNIDADE MORFOLOGICA
A - Costão rochoso cristalino
B - Falésia em rocha sedimentar (Formação Barreiras e outros)
C - Planície de cristas de praia
D - Planície de cristas de praia estreita, limitada por falésias da Formação Barreiras

II - MESO UNIDADE MORFOLOGICA
a - Cordão litorâneo largo
b - Cordão litorâneo estreito sob efeito de transposição das ondas
c - Pontal
d - Dunas parabólicas
e - Dunas barcanas ou barcanóides
f - Dunas transversais
g - Manguezal

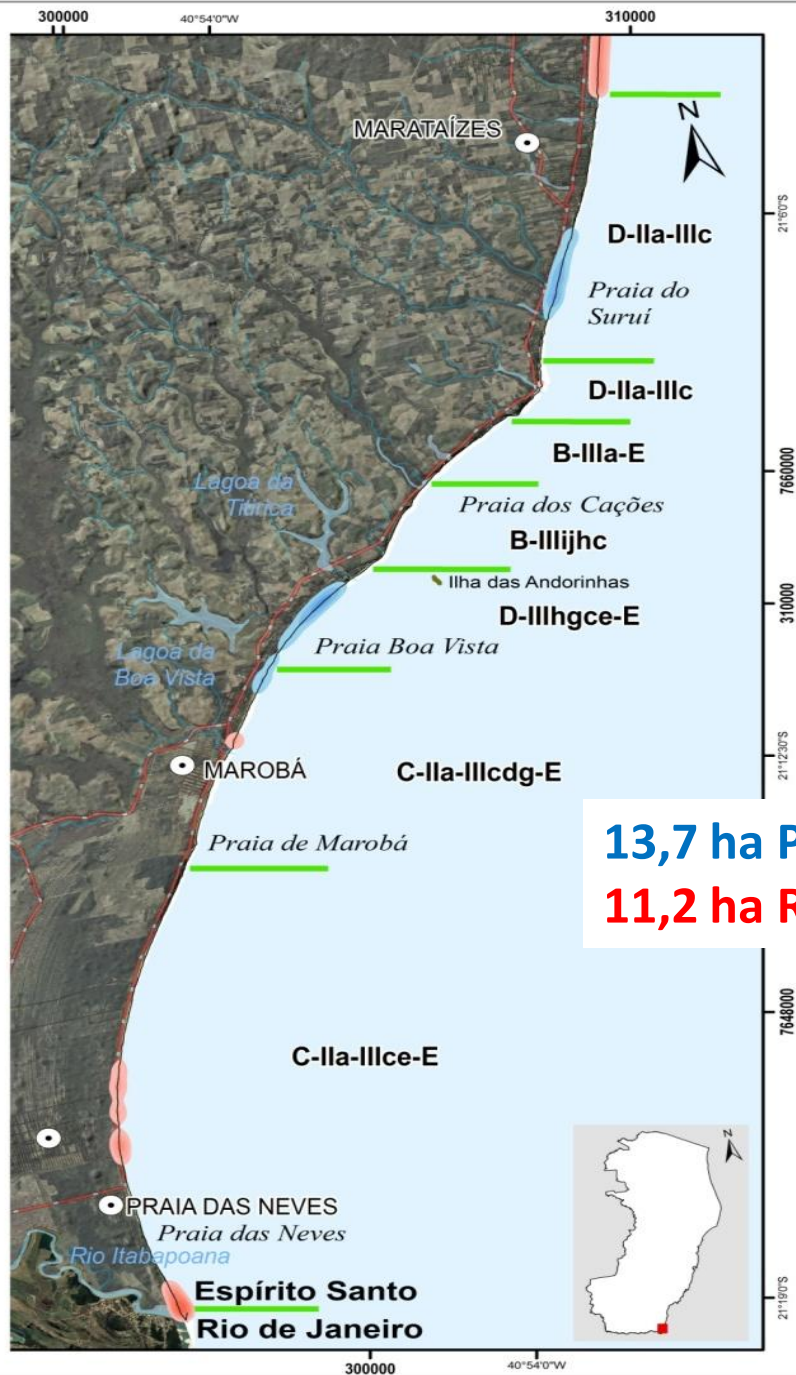
III - UNIDADE MORFODINÂMICA
a - Falésia viva
b - Praia refletiva
c - Praia intermediária
d - Praia dissipativa
e - Dunas frontais
f - Plataforma de abrasão rochosa
g - Substrato sub-horizontal recoberto por concreções lateríticas
h - Falésia precedida de praia
i - Falésia precedida de terraço
j - Costão rochoso precedido de plataforma de abrasão
k - Desembocadura fluvial
l - Recifes de arenito de praia
m - Recifes de coral

QUANTO AO GRAU DE EXPOSIÇÃO
E - Exposto
SE - Semi-exposto
A - Abrigado

Localidade
Limite das Unidades
Rodovia

Progradação
Estabilidade
Retrogradação

0 4,5 km
PROJEÇÃO UTM
Datum Horizontal: SIRGAS 2000 - Zona: 24 S



13,7 ha PROGADAÇÃO

11,2 ha RETROGRADAÇÃO (EROSÃO)

Albino et al, 2017

Como a costa se adaptaria a um subida do NM?

A resposta depende...

falésias arenosas →

costões rochosos ↘

planícies costeiras
arenosas: praias,
cordões, dunas

planícies de marés

... **Falésias sedimentares**
serão solapadas e os
sedimentos resultantes
contribuirão para o
ajuste da costa

... **Costões rochosos**
sofrerão alcance do nível do
mar, na mesma proporção
da elevação.

Foto: Giseli Modolo



Como a costa se adaptaria a um subida do NM?

... **Costas inconsolidadas** se adaptarão quanto à sua classificação geomorfológica (evolução) e morfodinâmica praial.

falésias arenosas

costões rochosos

**planícies costeiras
arenosas: praias, cordões,
dunas**

planícies de marés

... **Regiões inundáveis** serão inundadas até a mudança da cota altimétrica a retroterra.



Como a costa se adaptaria a um subida do NM?

... somado ainda ao uso e ocupação.



SOLUÇÕES

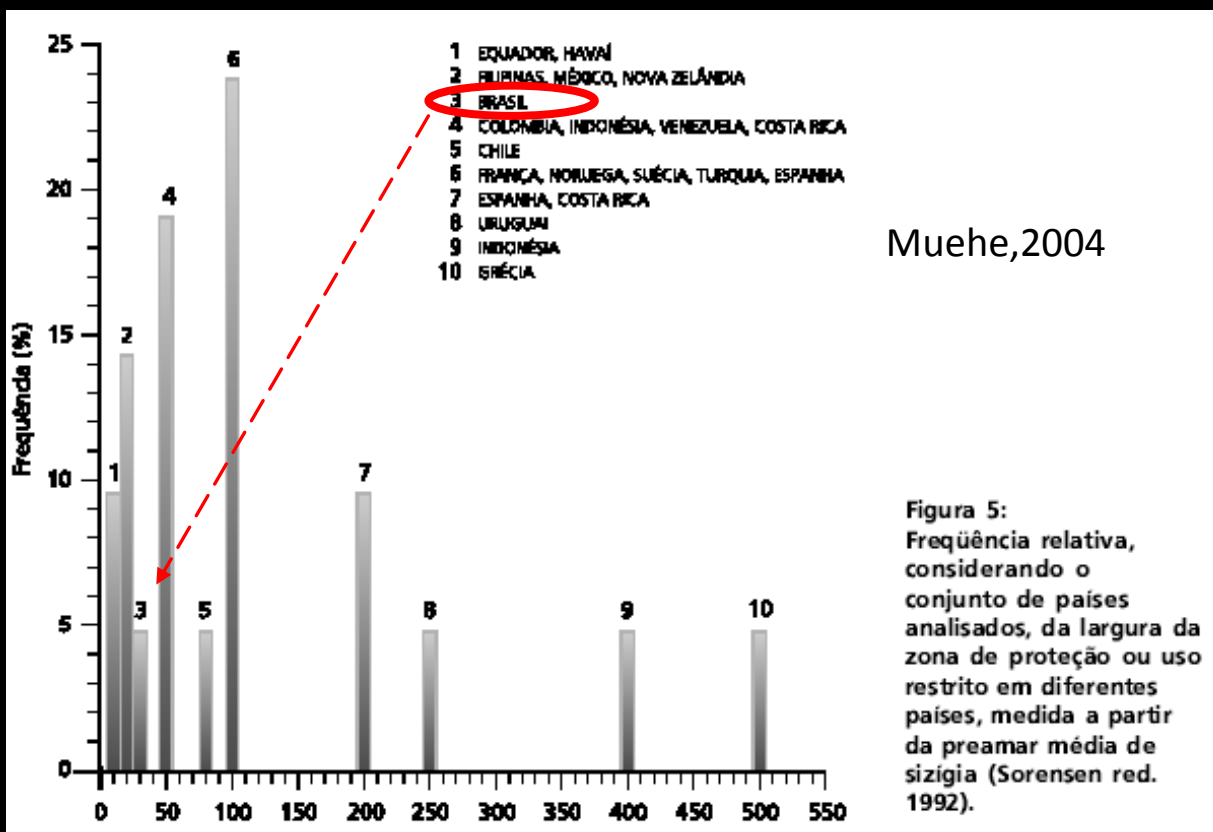
Considerando 84% : ESTÁVEL ou PROGRADAÇÃO

E ainda com trechos de urbanização rarefeita ...

35,2% PROGRADAÇÃO
16,3% RETROGRADAÇÃO

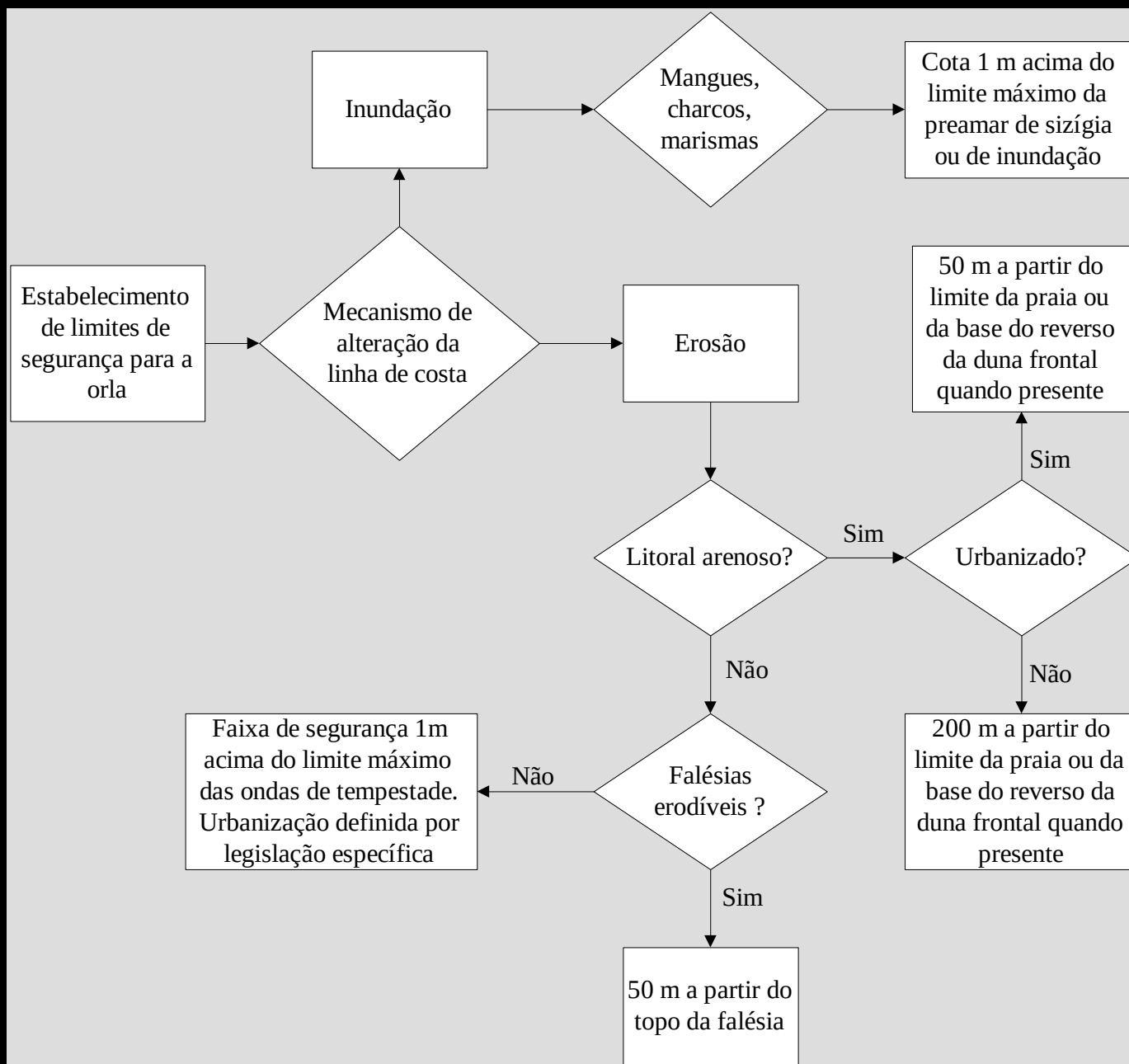
(1) ADOTAR LIMITES SEGUROS

Proposta do **PROJETO ORLA** MMA (2004) para os **limites mínimos da orla segundo** as características morfológicas do litoral



(1) ADOTAR LIMITES SEGUROS

Proposta global ... X Processos locais...

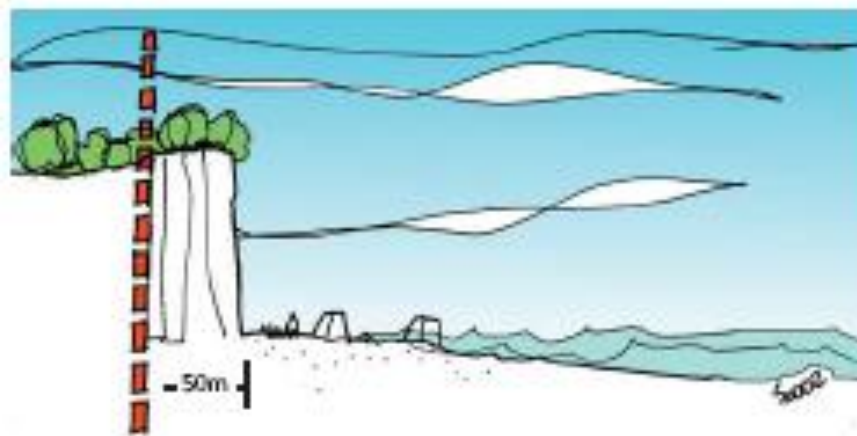


Projeto Orla



Além dessa referência geral de delimitação, cabe especificar critérios aplicáveis em algumas situações geográficas bastante recorrentes no litoral brasileiro:

- Nas falésias sedimentares, contar 50 metros a partir da borda da falésia;



Delimitação em falésias

SOLUÇÕES

Considerando 16% : RETROGRADAÇÃO

Áreas urbanizadas e com vocação turística

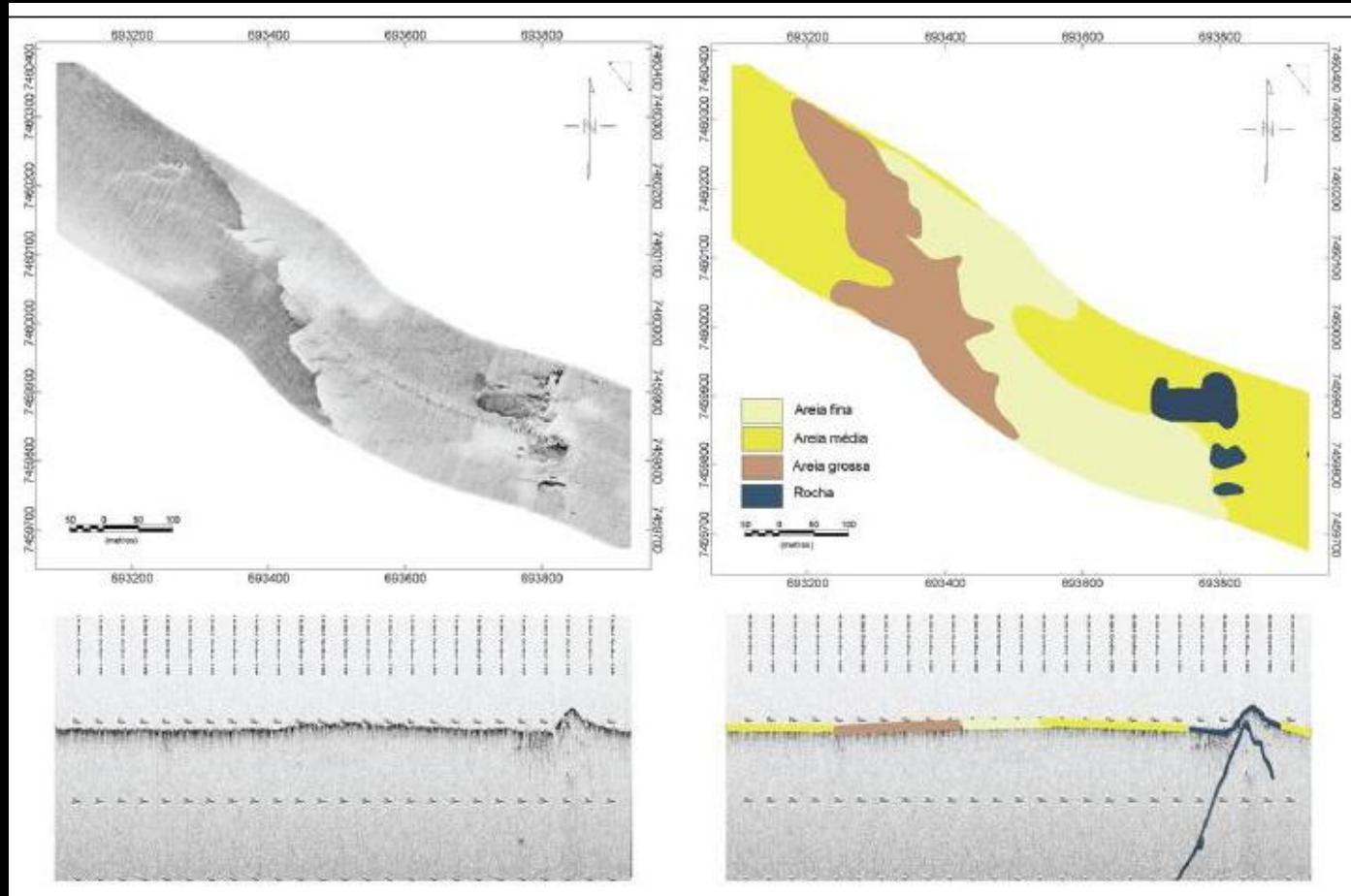
(2) INTERVENÇÕES

projetos de recuperação do balanço sedimentar



NECESSIDADE DA MANUTENÇÃO DA FAIXA ARENOSA (RECREAÇÃO)

(3) IDENTIFICAÇÃO DE JAZIDAS DE AREIAS POTENCIAIS



Siqueira (2010)

CARACTERIZAÇÃO GRANULOMETRICA

ADEQUAÇÃO AO PERFIL DE EQUILIBRIO DA PRAIA

ESPESSURA SEDIMENTAR

Algumas considerações finais

Identificação das causas da erosão!



Falta de
informação a
longo prazo

“Em muitos casos, a **falta de consenso sobre tendências evolutivas** de um dado segmento costeiro devido a diferenças metodológicas na investigação ou no período de tempo analisado” (MUEHE, 2005. p.97)

EROSÃO: TENDÊNCIA OU EVENTO?

MUEHE (2011)

Algumas considerações finais

“Apesar de algumas interpretações contraditórias para a atual mobilidade da linha de costa, assim como a dificuldade de identificar tendências confiáveis para o clima de ondas e elevação do nível do mar [...] a **única maneira** de reduzir futuros problemas devido à erosão costeira, é a firme implementação de **programas de gerenciamento costeiros** em todos os municípios litorâneos de forma a **conduzir e controlar a urbanização** [...]” (MUEHE, 2005. p.108)

GISELI MODELO VIEIRA MACHADO

giselimodolo@gmail.com

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Dra. em Oceanografia Ambiental (UFES)

Msc. em Geografia (UFRJ)

Geógrafa (UFES)



Universidade Federal
do Espírito Santo

Obrigada!!!!

ALBINO, J., GIRARDI, G., NASCIMENTO, K.A. (2006). Espírito Santo. In: MUEHE, D. (Org.) Erosão e progradação do litoral brasileiro.

MACHADO, G. M. V. ; SANTOS, M. M. S. ; ALBINO, J. . Ocupação sobre e zonas vulneráveis à erosão do litoral sul do Estado do Espírito Santo: caso das praias de Meaípe-Maimbá, Gurarapari e Itaoca, Itapemirim. In: IX Congresso brasileiro de Estudos do Quaternário, 2003, Recife - PE. Anais do IX Congresso brasileiro de Estudos do Quaternário, 2003.

MUEHE, D. 2005. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. Mercator. Revista de Geografia da UFC, 4 (7): 97-110.

-PROJETO ORLA: manual de gestão. Brasília: MMA/SQA; MP/SPU, 2002. 96 p.

- PROJETO ORLA: fundamentos para gestão integrada. Brasília: MMA/SQA; MP/SPU, 2002. 78 p