



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL

GILBERTO DANIEL LIMA FILGUEIRAS

**DIFERENÇAS ENTRE AS ESCALAS REGIONAL E
LOCAL NA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM
MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE
COSTEIRA: ESTUDO DE CASO NO LITORAL SUL
DO ESPÍRITO SANTO.**

VITÓRIA

2020

GILBERTO DANIEL LIMA FILGUEIRAS

**DIFERENÇAS ENTRE AS ESCALAS REGIONAL E
LOCAL NA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM
MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE
COSTEIRA: ESTUDO DE CASO NO LITORAL SUL
DO ESPÍRITO SANTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.
Orientador(a): Prof. Dra. Jacqueline Albino

VITÓRIA

2020

GILBERTO DANIEL LIMA FILGUEIRAS

**DIFERENÇAS ENTRE AS ESCALAS REGIONAL E
LOCAL NA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM
MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE
COSTEIRA: ESTUDO DE CASO NO LITORAL SUL
DO ESPÍRITO SANTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dra. Jacqueline Albino – Orientador(a)
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES

Prof. Dr. Gilberto Fonseca Barroso – Examinador Interno
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES



Prof. Dr. Dieter Muehe – Examinador Externo
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
JACQUELINE ALBINO - SIAPE 1172704
Departamento de Oceanografia e Ecologia - DOE/CCHN
Em 31/07/2020 às 13:42

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/43832?tipoArquivo=O>



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
GILBERTO FONSECA BARROSO - SIAPE 1172734
Departamento de Oceanografia e Ecologia - DOE/CCHN
Em 12/08/2020 às 15:35

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/48771?tipoArquivo=O>

AGRADECIMENTOS

À minha família, Fernando, Cláudia, Fernanda minha irmã e Raquel minha namorada pelo incondicional incentivo e suporte;

À Jacqueline Albino, pelos anos de amizade, e inigualável orientação;

Aos colegas de laboratório de pesquisas, pelas amizades que criei, por todo companheirismo, e por toda ajuda que tive;

À Capes, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudos que permitiu a realização da pesquisa;

À todos vocês, muito obrigado.

RESUMO

Nas últimas décadas questões relativas à vulnerabilidade costeira têm sido importantes ao longo das costas de todo mundo, devido aos fenômenos climáticos, elevação do nível dos oceanos e expansão urbana sobre essas regiões. Torna-se necessário entender o grau de vulnerabilidade costeira e os fatores envolvidos, a fim de evitar perdas socioeconômicas e ambientais. O presente estudo analisou, através do Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI), como a vulnerabilidade costeira é alterada com a mudança das características geomorfológicas ao longo da costa dos municípios de Marataízes e Presidente Kennedy, litoral sul do estado do Espírito Santo. Esta avaliação foi realizada a partir de levantamentos regional e local para a Praia Central em Marataízes. Geomorfologia costeira, modelo digital de elevação, taxas de variação da linha de costa e distância da isóbata de 20m, que refletem o grau de exposição às ondas, foram obtidas através de dados de sensoriamento remoto. Alcance do espraiamento máximo (run up), altura da barreira receptora, taxa de variação da linha de costa e distância da urbanização costeira foram obtidos através de levantamento em campo. A espacialização dos dados e a integração dos mesmos através do Índice de Vulnerabilidade Costeira (em inglês, CVI) foi realizado através da utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os resultados mostram que em 49% dos 44km do litoral estudado, a vulnerabilidade é moderada a muito alta, com destaque para as regiões do litoral com presença de falésias e extensas planícies costeiras. Discute-se a comparação dos resultados por perspectivas de escala e método, as diferenças de escala nos resultados dos levantamentos, e a vulnerabilidade costeira do litoral sul capixaba. Conclui-se que ambos os levantamentos, regional e local, se mostraram eficaz em determinar a vulnerabilidade costeira. A melhor opção pode ser uma combinação entre um levantamento regional, subsidiando um levantamento local. Quanto a gestão, as soluções imediatistas são mais utilizadas para lidar com questões climáticas e/ou ambientais, e tendem a ser menos eficientes.

Palavras chaves: Mudanças climáticas; Risco costeiro; Índice de Vulnerabilidade Costeira; Escala regional, Escala local, Smartline.

ABSTRACT

In the last few decades, issues related to coastal vulnerability have been important along the coasts of around the world, due to climate issues, rising sea levels and urban expansion over these regions. It is necessary to understand the degree of coastal vulnerability and the factors involved, in order to avoid socioeconomic and environmental losses. The present study analyzed, through the Coastal Vulnerability Index (CVI), how coastal vulnerability is altered with the change of geomorphological characteristics along the coast of the cities of Marataízes and Presidente Kennedy, south coast of the state of Espírito Santo. This assessment was carried out based on regional and local surveys for Praia Central in Marataízes. Coastal geomorphology, digital elevation model, rates of coastal mobility and 20m isobath distance, which reflect the degree of exposure to waves, were obtained through remote sensing data. Maximum Run-up, height of the receiving barrier, coastal mobility rate and distance from coastal urbanization were obtained through field surveys. The spatialization of data and their integration through the CVI was accomplished through the use of GIS. The results show that in 49% of the 44km of the studied coastline, the vulnerability is moderate to very high, with emphasis on the coastal regions with the presence of cliffs and extensive coastal plains. The comparison of results by perspectives of scale and method, the differences in scale in the results of the surveys, and the coastal vulnerability of the south coast of Espírito Santo are discussed. It is concluded that both surveys, regional and local, proved to be effective in determining coastal vulnerability. The best option may be a combination of a regional survey, subsidizing a local survey. As for management, immediate solutions are more used to deal with climatic and / or environmental issues, and tend to be less efficient.

Key words: Climate change; Coastal risk; Coastal Vulnerability Index; Regional scale, Local scale, Smartline.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Indicador de linha de costa, resolução, fonte e DATUM de cada mosaico de imagens.	24
Tabela 2 - Dados correspondentes às variáveis utilizadas no levantamento em escala regional. Intervalos dessas variáveis foram propostos para a área de estudo.	28
Tabela 3 – Relação com as datas das campanhas realizadas para a coleta de dados topográficos in situ em Marataízes.	29
Tabela 4 - Dados correspondentes às variáveis utilizadas no levantamento em escala local. Intervalos dessas variáveis foram propostos para a área de estudo.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura conceitual para vulnerabilidade e terminologia relacionada.	11
Figura 2 - Área de estudo.....	16
Figura 3 - Trecho de falésias vivas, Praia dos Cações, Marataízes – ES.	17
Figura 4 – Extensa planície costeira no município de Presidente Kennedy.	17
Figura 5 - Fluxograma indicando as etapas do estudo.....	18
Figura 6 – Altimetria para o litoral estudado, em destaque os 76 perfis que foram analisados. Note que os perfis são diferentes daqueles usados para o cálculo da taxa de variação da linha de costa.	24
Figura 7 – Exemplificação do processo de análise de variação da linha de costa, em amarelo os perfis onde foram calculadas. Note que os perfis são diferentes daqueles usados para a variável altimetria.....	27
Figura 8 - Perfis batimétricos (em cinza) e perfis topobatimétricos (P - em verde).	31
Figura 9 - Sobre a linha de costa (A) CVI do litoral sul do Espírito Santo com magnitude de Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta, e Muito alta. Note os quatro indicadores de vulnerabilidade utilizados, sendo (B) Geomorfologia, (C) Modelo digital de terreno, (D) Mobilidade costeira e (E) Distância da Isóbata de 20m.	41
Figura 10 - Sobre a linha de costa (A) CVI do litoral do arco praiial entre a Praia Central e o Camping do Siri com magnitude de Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta, e Muito alta. Note os quatro indicadores de vulnerabilidade utilizados, sendo (B) Runup máximo, (C) Altura da barreira, (D) Mobilidade costeira e (E) Distância da infraestrutura costeira.	44
Figura 11 - Antigo esquema de proteção costeira presente na Praia Central, Marataízes – ES, 2009.	48
Figura 12 - Atual esquema de proteção costeira presente na Praia Central, Marataízes - ES.....	49
Figura 13 - Em destaque, processo erosivo que se instalou, e ao fundo é possível ver a atual esquema de proteção costeira, Marataízes – ES.	50
Figura 14 - Técnicos verificam as obras feitas em caráter emergencial, Marataízes - ES.....	50
Figura 15 - Comparação do CVI nas diferentes escalas de levantamento, com magnitude de Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta, e Muito alta. Sendo (A) Levantamento em escala regional e (B) Levantamento em escala local.....	56
Figura 16 - Análise da diferença da vulnerabilidade costeira determinada para o arco praiial da Praia Central em Marataízes entre as escalas regional e local.	57

SUMÁRIO

I INTRODUÇÃO	10
1.1 Apresentação	10
1.2 Objetivos	14
II ÁREA DE ESTUDO	14
III METODOLOGIA	18
3.1 Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI)	20
3.2 Levantamento regional.....	21
3.2.1 Variável 1 Geomorfologia costeira	22
3.2.2 Variável 2 Altimetria	23
3.2.3 Variável 3 Taxa de variação da linha de costa	24
3.2.4 Variável 4 Distância da isóbata de 20m.....	27
3.3 Levantamento local	29
3.3.1 Variável 1 Espraçamento máximo da onda (runup)	32
3.3.2 Variável 2 Altura da barreira arenosa	34
3.3.3 Variável 3 Taxa de variação da linha de costa (variação sazonal) ...	35
3.3.4 Variável 4 Distância da infraestrutura costeira.....	36
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 Vulnerabilidade em escala regional	38
4.1.1 As variáveis e sua atuação sobre a vulnerabilidade	38
4.1.2 Índice de Vulnerabilidade Costeira	40
4.2 Vulnerabilidade em escala local.....	41
4.2.1 As variáveis e sua atuação sobre a vulnerabilidade	41
4.2.2 Índice de Vulnerabilidade Costeira	43
4.3. Comparação das escalas na eficiência da definição da vulnerabilidade do litoral	44
4.3.1 A comparação dos resultados por perspectivas de escala e método	44
4.3.2 As diferenças de escala nos resultados.....	54
4.3.3 Ações para a vulnerabilidade costeira do litoral sul capixaba.....	59
VI CONCLUSÃO	61
VII REFERÊNCIAS	63
ANEXOS	72

I INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Os sistemas costeiros são complexos e variáveis em amplas escalas espaciais e temporais (BOAK e TURNER, 2005). Os processos costeiros atuantes nem sempre podem ser descritos pelas leis básicas da física, pois a multiplicidade de componentes, alguns dificilmente previsíveis, interagem dinamicamente ao longo de uma superfície altamente interconectada, oceano, continente e atmosfera (BOAK e TURNER, 2005; BONETTI e WOODROFFE, 2017). Pode-se esperar então que as áreas costeiras experimentem regularmente perturbações no seu estado de equilíbrio, ajustando continuamente a sua morfologia para condições dinâmicas recentemente impostas (WOODRIFFE, 2002).

O comportamento de muitos sistemas naturais pode ser visto como cíclico e, geralmente, oscila através de um estado de maior ou menor equilíbrio dinâmico. Em contraste, a exposição de bens humanos a riscos costeiros tende a resultar em mudanças e danos mais permanentes e lineares (BONETTI e WOODROFFE, 2017). Em áreas urbanizadas, esses impactos ocorrem principalmente por uso e ocupação da terra de forma irregular, desrespeitando faixas naturais de mobilidade exigidas pelos ambientes (ALBINO *et al.*, 2001; BOATENG, 2012; YIN *et al.*, 2012; HEREHER, 2015).

Segundo IPCC (2014), vulnerabilidade costeira pode ser definida como o grau em que cada sistema é suscetível a perdas socioeconômicas ou ambientais induzidas pelo clima. Segundo McFadden (2008), a vulnerabilidade costeira faz referências a uma série de conceitos; como o risco costeiro, que inclui processos que variam desde eventos de curto prazo, como tempestades, até tendências mais lentas, como o aumento do nível do mar ao longo de vários séculos. A sensibilidade do sistema costeiro, que é primariamente derivada das condições ambientais resultando em um grau com que cada sistema natural é afetado por uma situação de perigo (MULER e BONETTI, 2014). A exposição, que se refere a elementos como pessoas e propriedades que estão localizadas em áreas sujeitas a um determinado perigo e sujeitas a potencial perdas (UNISDR, 2009). E por fim a capacidade adaptativa pode ser considerada a

capacidade de comunidades em absorver e responder a um determinado impacto, levando em consideração os recursos dessas comunidades (CARDONA, 2003).

Em outras palavras, McFadden (2008) e Wamsley *et al.* (2015) definiram vulnerabilidade como sendo uma relação entre os impactos e adaptação (Figura 1).

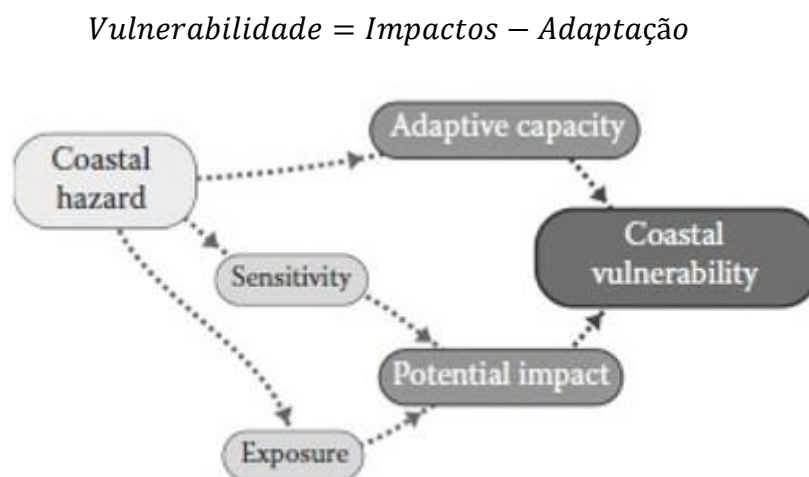


Figura 1 - Estrutura conceitual para vulnerabilidade e terminologia relacionada.
Fonte: Bonetti e Woodroffe (2017) modificado de Wamsley *et al.* (2015).

A estimativa de um aumento no nível do mar de até 82 cm para 2100 (CHURCH *et al.*, 2013) converge para a maior atenção na vulnerabilidade da costa frente aos cenários previstos. Estudos que levam à compreensão dessa faixa de interação entre os ambientes continental e oceânico, bem como sua gestão e utilização de forma efetiva e segura, são necessários.

O significativo aumento do nível do mar é estimado em decorrência do aquecimento global intensificado pelo homem durante o século 21 (NICHOLLS e LOWE, 2004) confronta simultaneamente, o fato que as populações costeiras estão crescendo mais rápido do que a população global, logo as cidades costeiras devem se tornar o principal cenário de habitação para a população durante o século 21 (NICHOLLS, 1995). No caso de populações mais pobres, ocupações irregulares e em locais menos seguros das cidades são mais sujeitas a inundações (DEVINE, 1992). Segundo Nicholls (1995), esse padrão descrito por Devine (1992), de intensificação urbana em regiões costeiras mais

susceptíveis, deve continuar. A magnitude dos impactos das inundações também está ligada aos cenários socioeconômicos e diferentes formas de desenvolvimento resultam em regiões com diferentes níveis de vulnerabilidade à elevação do nível do mar e às mudanças climáticas (NICHOLLS e LOWE, 2004).

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) é um dos mais simples e comuns métodos usados em todo mundo para acessar a vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar (BONETTI e WOODROFFE, 2017). Variáveis chaves são incorporadas a uma equação para produzir um valor numérico de CVI refletindo a severidade de vários efeitos da elevação do nível do mar e destacando regiões onde isso deve ser mais crítico. Essas variáveis são ranqueadas em escala linear em ordem de incremento de vulnerabilidade a elevação do nível do mar (KLEIN e NICHOLLS, 1999). Segundo Bonetti e Woodroffe (2017), as variáveis chaves, que tem a capacidade de moldar a evolução e a vulnerabilidade costeira originalmente propostas por Gornitz (1991), são: a geomorfologia, a taxa de variação da linha de costa, a inclinação costa, a taxa de variação relativa do nível do mar, a altura máxima de onda e a amplitude de maré. Tal Índice de Vulnerabilidade Costeira tem sido aplicado com sucesso para acessar a vulnerabilidade ao longo de costas de diferentes regiões dos Estados Unidos (PENDLETON *et al.*, 2005; THEILER e HAMMAR-KLOSE, 2000), Itália (PANTUSA *et al.*, 2018), Índia (KUMAR *et al.*, 2010), Egito (HEREHER, 2013; HEREHER, 2015), Turquia (OZYURT e ERGIN, 2010), Indonésia (LOINENAK e HARTOKO, 2015), China (YIN *et al.*, 2012) e Brasil (SERAFIM *et al.*, 2019).

Segundo McLaughlin e Cooper (2010), não há uma escala única de levantamento que seja adequada para todas as necessidades. Diferentes escalas tendem a refletir diferentes prioridades, e a influência de uma dada variável aumentará ou diminuirá à medida em que se altera a escala na determinação da vulnerabilidade costeira. O índice de escala regional pode ser usado no desenvolvimento de linhas de recuo para urbanização ou zonas de risco para planejamento de controle. Na escala local, os detalhes do índice permitem identificar infraestruturas em áreas potencialmente mais vulneráveis, ou podem ser usados no desenvolvimento em escala local ou plano de

gerenciamento da área. Vale ressaltar que na escala local, a gestão costeira é um subconjunto de gestão em escala regional.

O litoral extremo sul do estado do Espírito Santo, formados pelos municípios de Marataízes e Presidente Kennedy, possui grande diversidade geomorfológica em contato com o mar, dentre elas grandes planícies costeiras, falésias vivas, estreitas planícies quaternárias e afloramentos cristalinos (MARTIN *et al.*, 1996; ALBINO *et al.*, 2016 e ELFRINK *et al.*, 2006). Um estudo preliminar evidenciou na mesma região que a taxa de variação da linha de costa é diretamente ligada a unidade geomorfológica presente no litoral e que é possível compartimentar tal taxa de variação juntamente com os compartimentos geomorfológicos ao longo do litoral (KLUMB-OLIVEIRA *et al.*, 2020, no prelo).

Segundo relatório “Subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas” (ANTAQ, 2009), o litoral supracitado foi apontado como prioritária para a instalação portuária, no centro da costa brasileira, próxima aos grandes centros produtores e dos principais campos de petróleo e gás do país, destacando-se como um eficiente ponto para a movimentação e estocagem de petróleo e apoio offshore (PORTO CENTRAL, 2019).

Considerando então as alterações devido às mudanças climáticas e conseqüentemente à elevação do nível do mar, como episódios de inundação e erosão, e ainda a possibilidade de intenso uso da terra, Anfuso e Del Pozo (2009) destacam que as costas são muito afetadas por estruturas humanas e tendem a diminuir o transporte de sedimentos devido ao aumento de estruturas de proteção da costa e, conseqüentemente, diminuem as taxas de erosão. Contudo os processos de acréscimo são sempre evidentes à barlamar das estruturas enquanto os processos de erosão predominam na direção do transporte do sedimento, à sotamar das estruturas; sendo este um padrão muito comum em áreas de marinas e portos.

Neste contexto, classificar a vulnerabilidade de diferentes setores costeiros aos efeitos da subida do nível do mar e em escala de eventos meteoceanográficos é um importante passo para uma gestão eficaz da zona

costeira e pode dar subsídios aos tomadores de decisões e formulação de políticas públicas adequados e medidas de mitigação aos potenciais riscos (Yin et al., 2012).

1.2 Objetivos

O presente estudo tem como Objetivo Geral propor a classificação quanto à vulnerabilidade costeira à erosão e inundação do litoral sul do estado do Espírito Santo.

Como Objetivo Específico metodológico tem-se comparar métodos utilizados para a determinação do CVI, isto é (a) método em escala regional: dados de sensoriamento remoto, destacando segmentos do litoral em que essa vulnerabilidade pode ser mais alta, com (b) dados de escala local: levantados em campo. A comparação permitirá discutir a eficiência dos diferentes métodos na vulnerabilidade costeira do litoral.

Ainda se pretende contribuir no contexto da atual urbanização, a fim de se evitar futuros riscos sócio-econômicos e prejuízos que possam ser desencadeados através das forçantes meteoceanográficas e suas interações junto a costa.

II ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no litoral extremo sul do estado do Espírito Santo. Essa região é formada pelos municípios de Marataízes e Presidente Kennedy (Figura 2), pertencente, segundo Martin *et al.* (1996), ao setor 5, que se estende desde a foz do rio Itapemirim, ao norte, até margem norte da desembocadura do rio Itabapoana, ao sul, na divisa do estado com o Rio de Janeiro. Esse setor é caracterizado por depósitos quaternários pouco desenvolvidos ao sopé das falésias vivas, desenvolvidas pela ação marinha nos depósitos terciários da Formação Barreiras (MARTIN *et al.*, 1996), o que evidencia a tendência do setor a sofrer com processos erosivos. Segundo ALBINO *et al.* (2006), NETO *et al.* (2011) e ALBINO *et al.* (2016), essa característica resulta na formação de praias dissipativas e intermediárias compostas por areias litoclásticas finas e limitadas por dunas frontais. Já mais ao sul, associada à foz do Rio Itabapoana, há

presença de uma extensa planície quaternária formada por sedimentos fluvio-marinhos.

O litoral norte do município de Marataízes é caracterizado por praias arenosas, interrompidas por costões rochosos (ELFRINK *et al.*, 2006). Mais ao sul é caracterizado por pequenos depósitos quaternários no sopé das falésias vivas do Grupo Barreiras (Figura 3). Já no município de Presidente Kennedy a distância dos centros urbanos e o difícil acesso favorecem a preservação do sistema costeiro, que ainda apresenta adaptação morfodinâmica regimentada a interação dos sistemas marinho e fluvial (Figura 4) (ALBINO *et al.*, 2006).

Os ventos predominantes e mais intensos são do quadrante ENE - NE e SE. Os primeiros são em decorrência dos ventos alísios que ocorrem durante a maior parte do ano, já os ventos de SE estão associados aos sistemas frontais que alcançam periodicamente o estado (CONTI NETO, 2013), sobretudo entre os meses de março a agosto (ALBINO *et al.*, 2006).

Segundo Albino *et al.* (2006), as ondas mais frequentes são respectivamente de NE, S e SE, com alturas médias entre 0,6m e 0,9m podendo alcançar 1,5m em casos de maior energia. Segundo Elfrink *et al.* (2006), no período entre outubro e março as ondas com direções leste ocorrem com mais frequência, já no período entre abril e setembro, as ondas com direção proveniente do quadrante sul são mais frequentes. A amplitude de maré na região é de 1,4m alcançando níveis maiores em casos de marés meteorológicas, caracterizando um regime de micro marés semidiurnas (ALBINO *et al.*, 2006; NETO, 2010).

Marataízes se desenvolveu mais recentemente devido à grande procura de suas praias com alta balneabilidade deste trecho do litoral por turistas, grande parte deles do sul do Estado do Espírito Santo e de Minas Gerais. Essa atividade desencadeou um elevado grau de urbanização (78%) e moderada densidade demográfica (256,55 Hab/Km²) – valores obtidos de acordo com o censo demográfico de 2010 realizado pelo IBGE e também em dados disponibilizados pela prefeitura municipal. Como já mencionado, esse litoral apresenta planícies costeiras pouco desenvolvidas e a ocupação urbana vem se estabelecendo próxima à orla, chegando inclusive a ocorrer sobre as dunas frontais (SANTOS, 2005).

Segundo Girardi e Cometti (2006), diferentemente de Marataízes, Presidente Kennedy caracteriza-se por ser predominantemente rural, sendo o único município praiano do Espírito Santo que sua sede não se localiza na orla marítima. Segundo IBGE (2014), Presidente Kennedy é o município com maior PIB (Produto Interno Bruto) per capita do país, de aproximadamente R\$815.000,00, devido grande parte aos royalties provenientes das atividades petrolíferas e seu baixo número de habitantes.

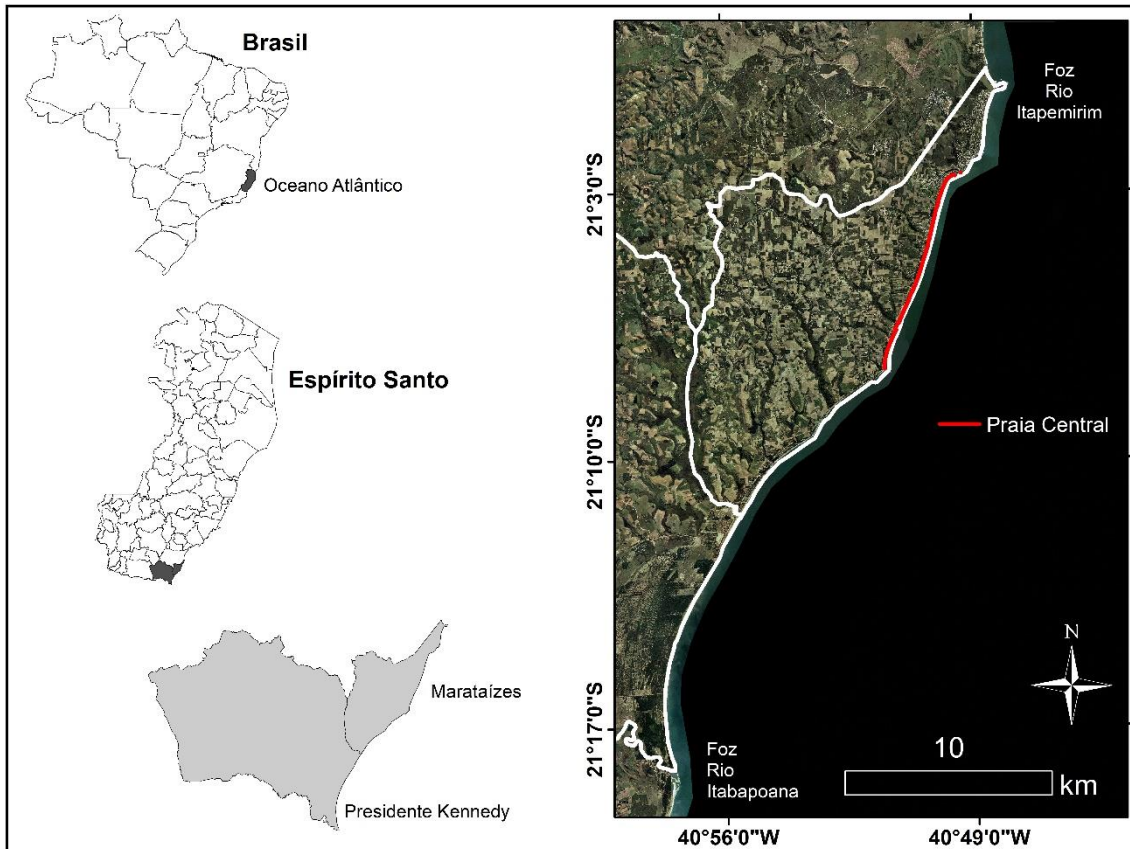


Figura 2 - Área de estudo.



Figura 3 - Trecho de falésias vivas, Praia dos Cações, Marataízes – ES.



Figura 4 – Extensa planície costeira no município de Presidente Kennedy.

III METODOLOGIA

A metodologia utilizada no estudo segue o fluxograma a seguir, com levantamentos dos dados, análise das, determinação da vulnerabilidade costeira, e comparação dos resultados das diferentes escalas na determinação da vulnerabilidade costeira.

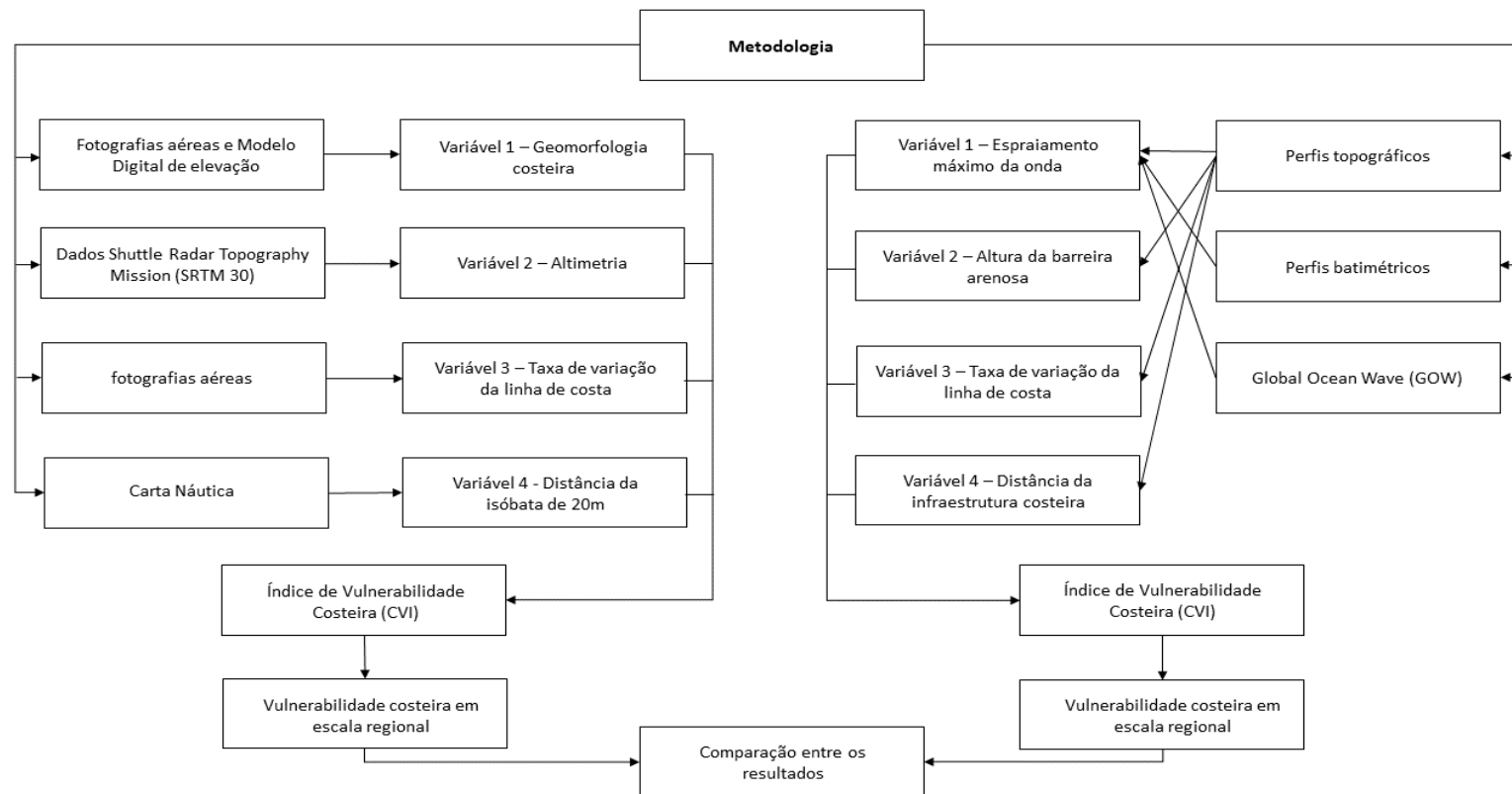


Figura 5 - Fluxograma indicando as etapas do estudo.

3.1 Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI)

A metodologia utilizada para a determinação da vulnerabilidade costeira foi proposta por Gornitz (1991). O Índice de vulnerabilidade costeira (CVI) fornece uma base numérica simples para classificar trechos da linha de costa, e pode ser aplicado para identificar locais específicos do litoral onde os riscos podem ser relativamente altos (RAMIERI *et al.*, 2011).

Tal proposta de determinação da vulnerabilidade costeira tem sido aplicada com sucesso para acessar a vulnerabilidade ao longo de costas de diferentes regiões do mundo, como Estados Unidos (PENDLETON *et al.*, 2005; THEILER e HAMMAR-KLOSE, 2000), Itália (PANTUSA *et al.*, 2018), Índia (KUMAR *et al.*, 2010), Egito (HEREHER, 2013; HEREHER, 2015), Turquia (OZYURT e ERGIN, 2010), Indonésia (LOINENAK e HARTOKO, 2015), China (YIN *et al.*, 2012) e Brasil (SERAFIM *et al.*, 2019).

As variáveis são selecionadas levando em consideração a sua representatividade de sintetizar características do litoral estudado. As variáveis originalmente propostas por Gornitz (1991) foram a geomorfologia, a taxa de variação da linha de costa, a inclinação costeira, a taxa de variação relativa do nível do mar, a altura máxima de onda, e a amplitude de maré. Tal abordagem é amplamente utilizada e modificada com a incorporação ou supressão de variáveis devido à necessidade de adaptação a uma região ou ainda devido à disponibilidade de dados para regiões específicas (BONETTI e WOODROFFE, 2017). Neste sentido, as variáveis escolhidas para o presente trabalho serão apresentadas nos itens 3.2 e 3.3, a seguir.

Todas as variáveis foram espacializadas com o auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGis 10.5, sob a escala de 1:300 a fim de padronizar o processamento dos dados, por meio do módulo ArcMap editando os shapefiles e gerando as linhas.

Ainda segundo Bonetti e Woodroffe (2017), após espacialização em SIG, cada segmento do litoral recebe em uma tabela de atributo, uma classificação para vulnerabilidade em escala de 1 a 5 para cada variável espacializada, sendo o valor 1 correspondente à vulnerabilidade muito baixa e 5, muito alta.

A vulnerabilidade costeira final é obtida após a integração dessas variáveis especializadas e já classificadas individualmente para calcular um valor final do CVI para cada segmento do litoral, através da Equação 1.

$$\text{EQ.1} \quad \text{CVI} = \sqrt{\frac{(a \times b \times c \times d)}{N}}$$

Onde:

CVI = índice de vulnerabilidade costeira

a, b, c e d = Variáveis

N = Número de variáveis

Os resultados serão mostrados sob forma gráfica com a utilização da técnica de visualização *smartline*, proposto por Sharples *et al.* (2009) e aplicado em Lins-de-Barros e Muehe (2011), Burningham e French (2017), Pantusa *et al.* (2018) e Serafim *et al.* (2019).

A exibição dos resultados em smartlines consiste na exibição de shapefiles iguais, em formatos de linhas, lado a lado num mesmo mapa, em que cada linha exibe o resultado de uma variável analisada no estudo. Pode-se ainda exibir uma linha com o resultado da análise final, levando em consideração o resultado de cada uma das variáveis analisadas em conjunto.

3.2 Levantamento regional

O levantamento e determinação da vulnerabilidade costeira em escala regional foi realizado para todo o setor sul do Espírito Santo, compreendendo o litoral dos municípios de Marataízes e Presidente Kennedy em sua totalidade.

A escolha das variáveis foi realizada de acordo com sua representatividade para sintetizar as características físicas do litoral e suas diversidades, e ainda a disponibilidade de uma base de dados que cobrisse toda a extensão do

levantamento com qualidade satisfatória para o trecho estudado. As variáveis utilizadas para a determinação da vulnerabilidade costeira em escala regional foram: Geomorfologia costeira, Altimetria, Taxa de variação da linha de costa e Distância da Isóbata de 20m.

A integração dessas variáveis e determinação da vulnerabilidade costeira foi realizada de acordo com a proposta de Gornitz (1991), e a exibição dos resultados utilizando a técnica de visualização *smartline*, proposto por Sharples et al. (2009), ambas já explicadas anteriormente.

3.2.1 Variável 1 Geomorfologia costeira

A Geomorfologia é a ciência que estuda a origem e desenvolvimento do relevo e da paisagem bem como a história da superfície do planeta, enquanto que a geomorfologia costeira trata das formas de relevo que ocorrerem ao longo da costa (BIRD, 2008). O relevo costeiro não apenas destaca o tipo de rocha de determinado segmento costeiro, mas também indica sua resistência contra erosão e estabilidade da costa (HEREHER, 2015).

Neste levantamento a geomorfologia costeira foi interpretada e classificada visualmente a partir de fotografias aéreas e imagens de satélites, que foram utilizadas para determinação da taxa de variação da linha de costa (ver sessão seguinte), e com a interpretação do modelo digital de elevação (DEM) criado a partir dos dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 30.

Essa interpretação e classificação foi realizada com o auxílio do ArcGis 10.5, sob a forma de linha de costa, editando o shapefile que foi subdividido e classificado em tabela de atributos os trechos de mesma vulnerabilidade costeira por meio do módulo ArcMap.

Posteriormente essa classificação foi validada por consultas bibliográficas na mesma área de estudo através de Martin *et al.* (1996); Albino *et al.* (2006), Elfrink *et al.* (2006) e Albino *et al.* (2016).

A classificação da vulnerabilidade assumida para essa variável é mostrada na Tabela 2.

3.2.2 Variável 2 Altimetria

A altimetria através do modelo digital de elevação de alta resolução (DEM), pode fornecer vantagens substanciais na previsão dos efeitos da inundação. Extensas avaliações do aumento do nível do mar exigem mapas topográficos exatos de toda a zona costeira. O SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), originalmente produzido pela NASA, é um bom conjunto de dados topográficos de domínio público para o mapeamento de áreas de inundação. O DEM global SRTM, com resolução horizontal de 1 s (aprox. 30 m) e precisão vertical de ± 1 m, cobre latitudes entre 60N e 56S (SANDERS, 2007).

Os dados SRTM 30 para área foram adquiridos no Serviço Geológico Americano (USGS) disponível de forma gratuita através do site (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Por de disponibilidade, os dados de altimetria foram recortados para 3.500m a partir da linha de costa em direção ao continente para toda a costa dos municípios de Marataízes e Presidente Kennedy (Figura 5).

As curvas altimétricas foram extraídas do conjunto de dados SRTM do módulo ArcMap 10.5 com equidistância de de 1m. A partir das curvas altimétricas, foi criado o Modelo digital de elevação para todo o litoral estudado. Foram construídos um total de 76 perfis equidistantes em 500m e com comprimento de 1km a partir da linha de costa sentido continente. Esses perfis foram então interpolados com o DEM criado anteriormente, tendo como resultado 76 perfis topográficos.

Essa interpretação e classificação foi realizada com o auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGis 10.5, editando o shapefile que foi subdividido e teve a classificação, em tabela de atributos, dos trechos de mesma vulnerabilidade costeira. Nesse caso, a análise de cada perfil topográfico tem como representatividade 500m de linha de costa.

A classificação da vulnerabilidade assumida para essa variável é mostrada na Tabela 2.

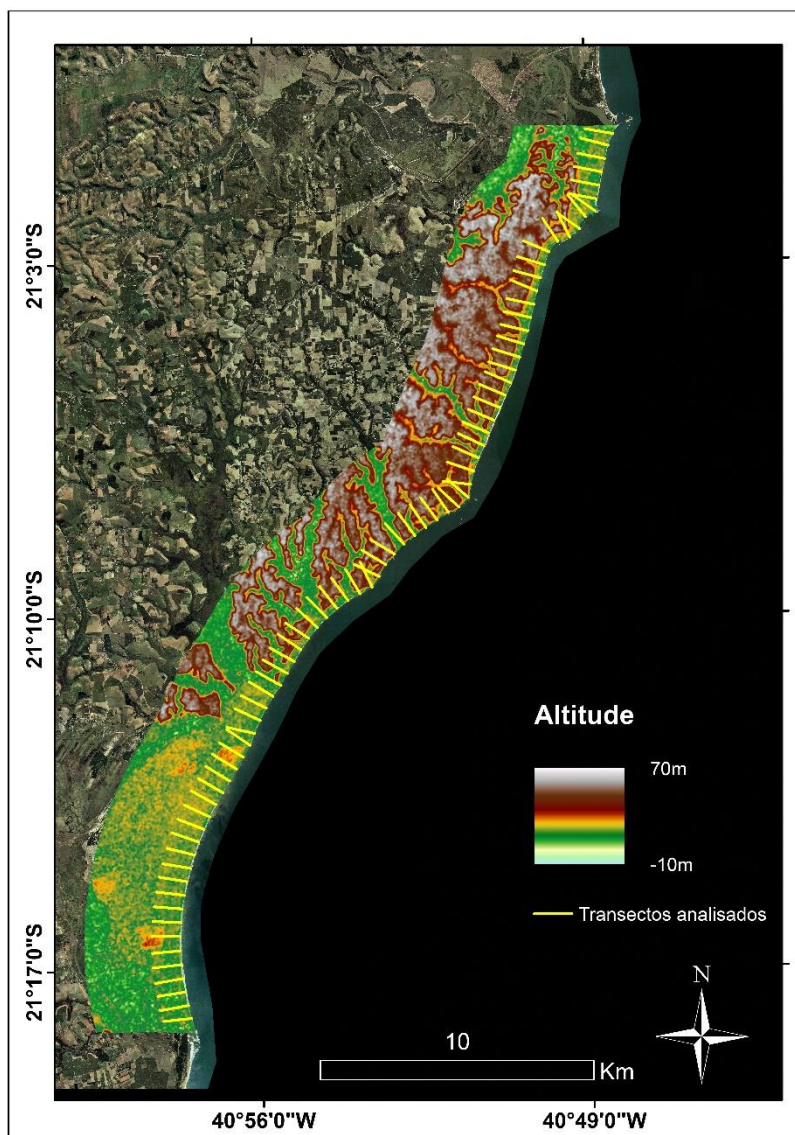


Figura 6 – Altimetria para o litoral estudado, em destaque os 76 perfis que foram analisados. Note que os perfis são diferentes daqueles usados para o cálculo da taxa de variação da linha de costa.

3.2.3 Variável 3 Taxa de variação da linha de costa

A análise da evolução da linha de costa foi realizada para um período de 44 anos usando 2 conjuntos de fotografias aéreas e 1 conjunto de imagens de satélite, entre os anos de 1969 e 2013 (Tabela 1).

Tabela 1 - Indicador de linha de costa, resolução, fonte e DATUM de cada mosaico de imagens.

Ano	Indicador de linha de costa	Resolução	Fonte	DATUM
1969	Limite do pós praia*	Aproximada de 2,4m	Instituto Jones dos	WGS1984

			Santos Neves	
2008	Limite do pós praia*	Aproximada de 1,0m	Geobases	WGS1984
2013	Limite do pós praia*	Aproximada de 1,2m	Geobases	WGS1984

*Limite do pós praia (backshore) final da faixa arenosa da praia rumo ao continente e seu contato com feições como falésias, dunas e/ou edificações.

O processo que permite a aquisição e análise dos dados de mobilidade da linha de costa é subdividido em 3 processos distintos: o georreferenciamento das fotografias aéreas e imagens de satélites, a digitalização das linhas de costa e o cálculo da mobilidade da linha de costa.

O georreferenciamento foi feito a partir metodologia descrita por Araújo *et al.* (2008), que relaciona o posicionamento da imagem com coordenadas reais da área por meio de pontos de controle (PC), que são feições identificadas nas imagens não possuindo deslocamentos durante o período estudado. Para servir de base foi utilizado o mosaico de imagens de satélite do ano de 2008, visto que se encontra retificada e validada com base no Padrão de Exatidão Geográfica 2 (PEC 2), facilitando a comparação dos dados gerados a partir da análise dessas imagens. Esse processo resultou num erro médio no posicionamento das imagens de 4,04m, o que em termos de taxa anual representa um erro médio de 0,09m/ano.

No processo de extração de linha de costa, segundo Boak e Turner (2005) estudos costeiros utilizam indicadores para representar a real linha de costa, caracterizada pela interface terra-água. Neste estudo foi utilizada o limite praia-retropraia, como calçamento de ruas, muro de casas, linha de vegetação e sopé de falésias, como o indicador da real posição da linha de costa, a fim de se obter um mapa de tendência de erosão / acreção. As linhas foram traçadas com o auxílio de SIG, sob mesma escala a fim de padronizar o processamento dos dados.

No cálculo de mobilidade foi utilizada a metodologia proposta por Thieler *et al.* (2005) e utilizada pelo estudo de Muehe e Klumb-Oliveira (2014), Araújo *et al.* (2008) e Eguchi e Albino (2018), que utiliza a extensão DSAS (Digital Shoreline Analysis System), disponível para a utilização em SIG. O método

consistiu na criação de 386 transectos transversais à linhas de costa com espaçamento pré-definido de 100m (Figura 6). Calculou-se a distância entre as linhas de costa em cada transecto e dividiu-se essa distância pelo tempo decorrido (em anos) entre a aquisição das imagens, obtendo assim as taxas de variação da linha de costa.

Essa interpretação e classificação foi realizada com o auxílio SIG, editando o shapefile que foi subdividido e classificado em tabela de atributos os trechos de mesma vulnerabilidade costeira por meio do módulo ArcMap. Nesse caso, a análise de cada transecto tem como representatividade 100m de linha de costa.

A classificação da vulnerabilidade assumida para essa variável é mostrada na Tabela 2.

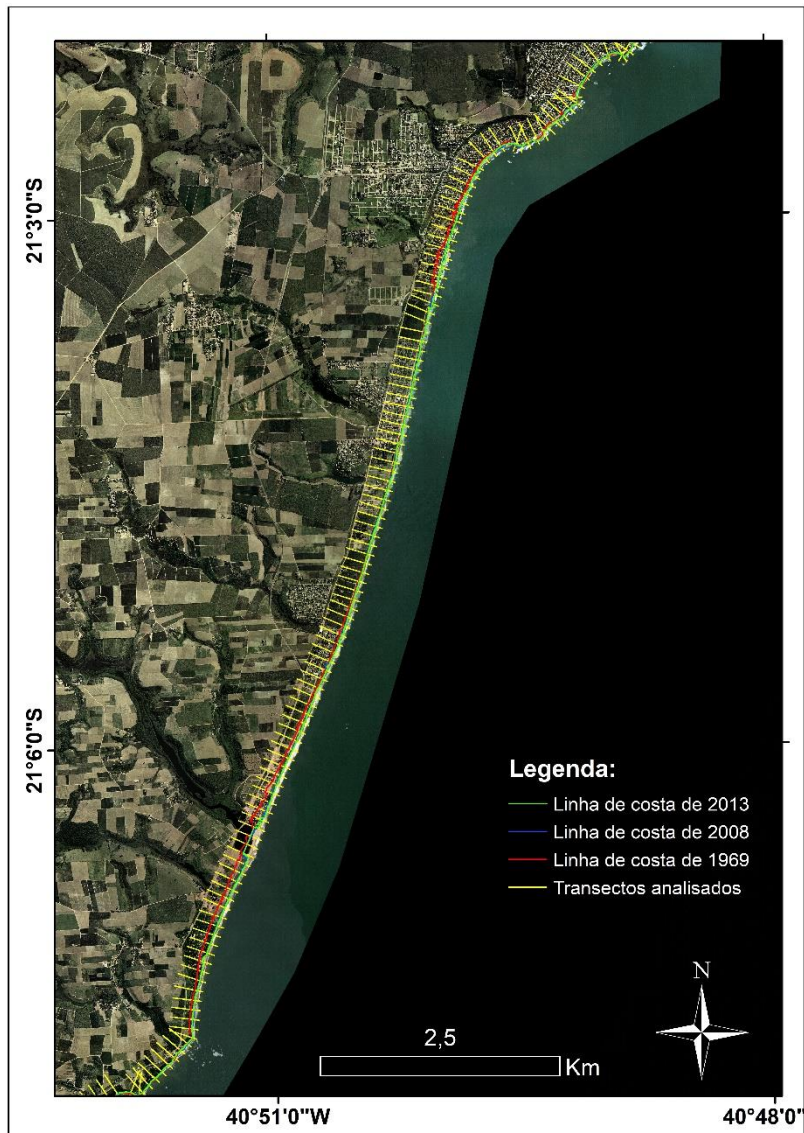


Figura 7 – Exemplificação do processo de análise de variação da linha de costa, em amarelo os perfis onde foram calculadas. Note que os perfis são diferentes daqueles usados para a variável altimetria.

3.2.4 Variável 4 Distância da isóbata de 20m

Contrariando a situação em águas profundas, a dinâmica das ondas em águas rasas é dominada pela sua interação com o fundo. Existem diferentes mecanismos de dissipação da energia de onda no fundo, como energia dissipada pela percolação, fricção, entre outros (PADILLA-HERNÁNDEZ e MONBALIU, 2001; MATOS *et al.*, 2014). O atrito de fundo parece ser o mecanismo mais importante para a dissipação de energia de ondas em regiões costeiras arenosas (SHEMDIN *et al.*, 1978). Estudo realizado por Trombetta *et al.* (2018) através de modelagem numérica para a plataforma continental sul do Brasil, detectou que

uma declividade mais suave, comum em plataformas mais extensas, pode reduzir em até 98% da altura das ondas que se aproximam da costa, e aproximadamente 90% do potencial energético, tendo capacidade de atenuar os efeitos erosivos causados pelas ondas na área litorânea.

No estudo foi medida a distância entre a linha de costa e a isóbata de 20m de profundidade com auxílio da Carta Náutica nº1403 “Da Barra do Itapemirim ao Cabo de São Tomé” disponibilizada gratuitamente para fins acadêmicos no site da Marinha do Brasil (<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/cartas-raster>). Perfis a partir da linha de costa e equidistantes em 500m, totalizando 76 medidas, foram construídos e analisados em SIG.

Essa interpretação e classificação foi realizada com o auxílio de SIG, editando o “shapefile” que foi subdividido e classificado em tabela de atributos os trechos de mesma vulnerabilidade costeira por meio do módulo ArcMap.

A classificação da vulnerabilidade assumida para essa variável é mostrada na Tabela 2.

Após todas as variáveis espacializadas, a classificação é feita de forma linearizada em ordem de incremento da vulnerabilidade em relação a subida do nível do mar e erosão e/ou inundação costeira. É importante salientar que as variáveis quantitativas, tais como a Taxa de mobilidade costeira e Distância até a isóbata de 20m tiveram seus resultados separados em 5 grupos de forma linear como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Dados correspondentes às variáveis utilizadas no levantamento em escala regional. Intervalos dessas variáveis foram propostos para a área de estudo.

Vulnerabilidade - Variáveis	Altimetria – 1km	Geomorfologia costeira	Mobilidade costeira (m/ano)	Distância até a isóbata de 20m (km)
1 Muito baixa	Somente tabuleiro costeiro	Costão rochoso	Entre 1,89 (±0,09)m/ano e 2,56 (±0,09)m/ano	Entre 34,9km e 39,1km
2 Baixa	Tabuleiro costeiro precedido por estreita planície costeira	-	Entre 1,09 (±0,09)m/ano e 1,89 (±0,09)m/ano	Entre 30,6km e 34,9km
3 Moderada	Tabuleiro costeiro com	Falésia do Grupo Barreiras	Entre 0,36 (±0,09)m/ano e	Entre 26,4km e 30,6km

	interseção de vale		1,09 (±0,09)m/ano	
4 Alta	Tabuleiro costeiro com interseção de vale, precedido por estreita planície costeira	Planície costeira estreita limitada por falésia	Entre -0,36 (±0,09)m/ano e 0,36 (±0,09)/ano	Entre 22,1km e 26,4km
5 Muito alta	Somente planície costeira	Planície costeira	Entre -1,09 (±0,09)m/ano e -0,36 m/ano	Entre 17,9km e 22,1km

3.3 Levantamento local

Devido à disponibilidade para levantamento dos dados, a determinação da vulnerabilidade costeira em escala local a partir de dados coletados “in situ” foi realizado apenas para o arco praias da Praia Central localizada em Marataízes, compreendendo toda a extensão desse arco praias, sendo delimitado ao norte pela Praia central de Marataízes e ao sul pela praia do Camping do Siri, totalizando cerca de 11,5km de extensão.

Para caracterização das praias foram utilizados dados topobatimétricos de campo coletados entre os meses de março de 2018 e outubro de 2019 (Tabela 3), num total de 09 campanhas, com a realização de levantamentos topográficos (ANEXOS) de 09 perfis praias ao longo de todo o arco praias.

Tabela 3 – Relação com as datas das campanhas realizadas para a coleta de dados topográficos in situ em Marataízes.

Campanha	Data
Mar/2018	Dias 13, 14 e 15.
Mai/2018	Dias 13, 14 e 15.
Jul/2018	Dias 11, 12 e 13.
Set/2018	Dias 10, 11 e 12.
Nov/2018	Dias 21, 22 e 23.
Fev/2019	Dias 01, 02 e 03.
Mai/2019	Dias 01, 02 e 03 .
Ago/2019	Dias 02, 03 e 04.
Out/2019	Dias 29, 30 e 31.

Os levantamentos topográficos foram realizados com auxílio de equipamento RTK (Real Time Kinematic), tendo como metodologia alternativa (Backup) o levantamento com auxílio de nível de precisão, mira e trena. Os perfis foram levantados transversais à praia, com início em pontos fixos conhecidos como marcos, postes de luz ou muro de casas, e foram estendidos até regiões submersas além do máximo recuo de onda.

Após a coleta dos dados topográficos de cada campanha realizada, os dados foram planilhados, tratados e analisados no programa Excel. O tratamento se deu sob a forma de calcular a distância horizontal acumulada e a altura acumulada do perfil, e posteriormente fazer os descontos das cotas de cada ponto medido no local, sendo o produto final um perfil topográfico plotado com a altura acumulada no eixo y e a distância acumulada no eixo x. Após o perfil pronto foi feita a correção do nível de referência considerando o nível médio do mar local (0,82 m segundo DHN) para a linha d'água.

Os perfis foram enumerados de 1 a 9 no sentido Sul – Norte ao longo do litoral.

Na região submersa, foi realizada uma campanha batimétrica no mês de março de 2018 pela equipe da CPmais Serviço de Consultoria em Meio Ambiente, sendo realizados 43 perfis batimétricos alinhados perpendicularmente à linha de costa. Além disso, foram realizados 09 perfis batimétricos alinhados aos 09 perfis que foram levantados topograficamente na parte emersa (Figura 7).

Nesse levantamento foi utilizado um jet-ski, equipado com sistema DGPS, monofeixe de alta precisão e um compensador de ondas, para corrigir o movimento da embarcação devido as ondas durante o levantamento batimétrico.

Para o posicionamento da embarcação foi utilizado um DGPS, modelo Hemisphere R320. Os valores de profundidade foram obtidos através do ecobatímetro digital, Echotrac CV100, de fabricação Odom Hydrographic System Inc., com transdutor 200Khz operando na frequência de 0,1 % da profundidade. O compensador de ondas utilizado no levantamento foi o modelo TSS DMS - 05 fabricado pela Teledyne Inc.

Após o levantamento topográfico e batimétrico, os dados foram tratados por Maia (2018) com procedimentos de interpolação para unificar a parte emersa com a submersa dos perfis topobatimétricos de forma correta, padronização do sistema de coordenadas geográficas e correção do nível de referência para o nível médio do mar (NMM) para a região que segundo o DHN é de 0,82m.

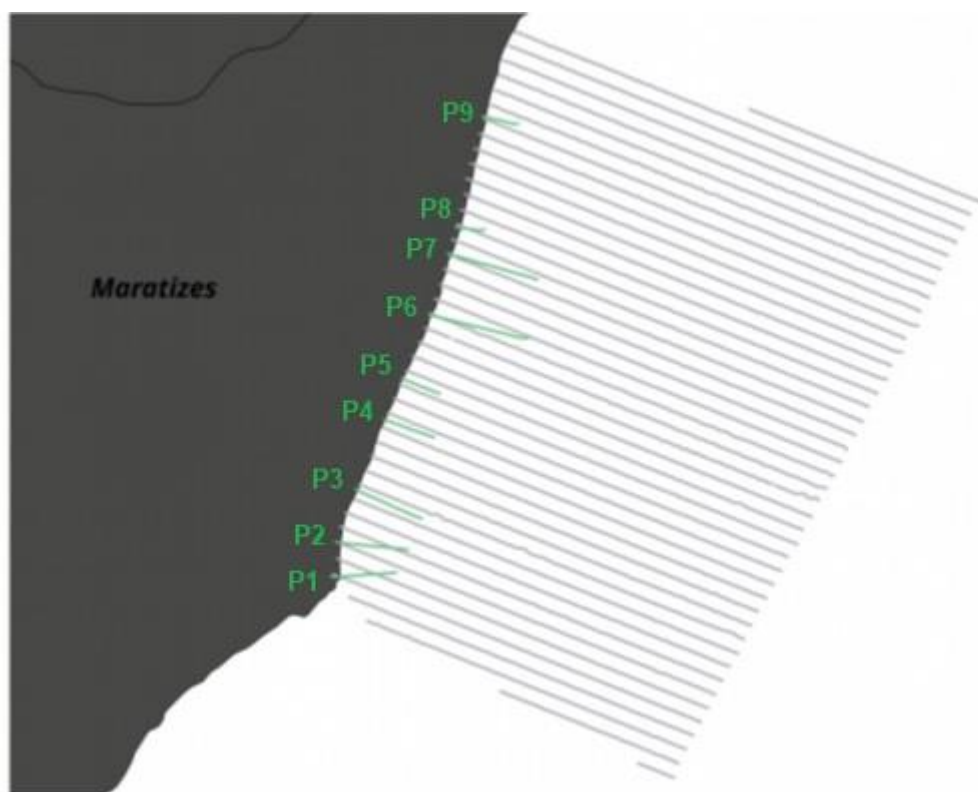


Figura 8 - Perfis batimétricos (em cinza) e perfis topobatimétricos (P - em verde).
Fonte: modificado de Venancio (2018).

A maioria das transformações em regiões costeiras arenosas são ocasionadas naturalmente pela interação das ondas com a praia. Os dados gerados a partir de Windcasts, a partir de reanálises de dados meteorológicos são um importante meio para se estudar, analisar e compreender o clima de ondas em águas intermediárias. Tal fato é devido à grande dificuldade de se obter dados de ondas medidos em campo por causa dos altos custos de se manter equipamentos de medição fundeados por longos períodos.

Bancos de dados como este, gerados a partir de reanálise, são frequentemente utilizados em estudos científicos (PIANCA *et al.*, 2010;

OLIVEIRA *et al.*, 2015; ALBINO *et al.*, 2016; EGUCHI e ALBINO, 2018 e VENANCIO, 2018), e também são utilizados na gestão costeira (ELFRINK *et al.*, 2006)

O Global Ocean Wave (GOW) conta com um banco de dados global de 60 anos (1948 - 2008) de hora em hora. Sua resolução é 1,5° de Latitude x 1,0° de Longitude, simulado pelo modelo WaveWatch III, versão 2,2. Teve como dados de entrada uma reanálise de ventos do NCEP/NCAR, com resolução espacial de 1,9° de Latitude x 1,875° de Longitude, com intervalo de 6h, de dados a 10m acima da superfície, e batimetria do ETOPO (NOAA, 2006).

Os dados foram tratados e analisados através do software Python por Venancio (2018) a fim de se conhecer a estatística dos dados da reanálise.

A escolha desses 3 conjuntos de dados (perfis topográficos, perfis batimétricos, e reanálise do clima de ondas) permite acessar uma diversa gama de variáveis para a determinação da vulnerabilidade costeira em escala local. A escolha das variáveis foi realizada de acordo com sua representatividade para sintetizar as características físicas do litoral e suas diversidades. As variáveis utilizadas para a determinação da vulnerabilidade costeira em escala local foram: Taxa de variação da linha de costa, Altura da barreira arenosa, Espraçamento máximo (runup máximo) e Distância da urbanização costeira.

A integração dessas variáveis e a determinação da vulnerabilidade costeira foi realizada também de acordo com a proposta de Gornitz (1991), e a exibição dos resultados utilizando a técnica de visualização *smartline*, proposto por Sharples *et al.* (2009).

3.3.1 Variável 1 Espraçamento máximo da onda (runup)

O espraçamento máximo é a medida vertical em relação ao nível do mar do alcance das ondas depois do processo de quebra e espraçamento na face da praia.

Venancio (2018) realizou ao longo do litoral de Marataízes a determinação do espraçamento máximo comparando o observado à 3 modelos matemáticos: os modelos empíricos propostos por Stockdon *et al.* (2006) e Mather *et al.* (2011) e o modelo matemático XBeach, elaborado por Roelvink *et al.* (2009) na determinação do runup máximo.

Segundo Venancio (2018) o modelo empírico proposto por Mather *et al.* (2011) apresentou bons resultados e é o mais indicado para trabalhos de gerenciamento em situações de emergência.

Na proposta de Mather *et al.* (2011), é considerada a inclinação da parte submersa até o perfil de fechamento, (Equação 2), o S_u , C que é um coeficiente adimensional, a altura de onda significativa em águas profundas, H_0 .

$$\text{EQ.2} \quad R_x = H_0 \times (C \times S_u^{2/3})$$

Onde:

R_x = Runup máximo

H_0 = Altura de onda significativa em águas profundas

C = Constante adimensional

S_u = Inclinação da parte submersa até a profundidade de fechamento.

O termo S_u da equação pode ser escrito da seguinte forma $S_u = h/X_h$, onde h é a profundidade de fechamento do perfil e X_h é a distância horizontal de h até a linha de costa.

No presente estudo foi utilizada a equação 2 com os seguintes dados: $H_0 = 1,35\text{m}$, altura de onda significativa segundo Venancio (2018) de acordo com análise do banco de dados GOW. $C = 30,26$ calculado por Venancio (2018) pelo processo de iteração (processo de resolução de uma equação mediante operações em que sucessivamente o objeto de cada uma é o resultado da que a precede), onde o objetivo era encontrar uma razão mais próxima de 1 entre o espraçamento máximo medido em campo e o espraçamento máximo calculado. $h = 5,19\text{m}$ obtida por Maia (2018) através da análise do banco de dados GOW e

da equação proposta por Hallermeier (1981) (Equação 3). E o valor de X_h para cada perfil foi encontrado a partir dos perfis topobatimétricos medindo a distância entre a linha de costa e a profundidade de fechamento de 5,19m.

$$\text{EQ.3} \quad h = (2 \times H_s) + (11 \times \delta)$$

No presente estudo o resultado é exibido sob a forma da razão entre o resultado da equação proposta por Mather *et al.* (2011) e a altura do perfil ativo da praia para se ter um maior poder de comparação padronizada para os perfis do trecho estudado.

$$\text{EQ.4} \quad R_{\%} = \frac{H_0 \times (C \times S_u^{2/3})}{\text{Altura do perfil ativo}}$$

A classificação da vulnerabilidade assumida para essa variável é mostrada na Tabela 4.

3.3.2 Variável 2 Altura da barreira arenosa

Em litorais caracterizados por ser expostos a incidência de ondas, com presença de praias intermediárias e dissipativas, compostas por areais finas e comumente associadas à presença de dunas frontais, as dunas exercem funções muito importantes. Elas funcionam como uma reserva de sedimentos que podem ser mobilizados para compor o perfil praial em momentos de alta energia das forçantes meteoceanográficas quando sedimentos são transportados da porção emersa para a porção submersa do perfil pela ação das ondas.

Segundo Darke *et al.* (2013), é reconhecido que as dunas costeiras também providenciam uma espécie de amortecimento do oceano e protege áreas costeiras de inundações e erosão durante tempestades.

Smith *et al.* (2010) visualizaram em KwaZulu-Natal, África do Sul, que durante eventos extremos de tempestade, formam-se escarpas nessas dunas frontais, e esses sedimentos são reintroduzindo no sistema praial.

Segundo Mir-Gual *et al.* (2016) em estudo realizado em duas praias das Ilhas Baleares, Espanha, analisou a relação entre a rugosidade do relevo (ocasionado pela presença de dunas frontais), padrão de ventos, e transporte e deposição de sedimentos. Os resultados mostraram que a presença de dunas altera o padrão de ventos e conseqüentemente o padrão de transporte de sedimento; já regiões sem a presença de dunas estão sujeitas a um déficit de sedimentos ocasionados pelos ventos que não são alterados pela rugosidade do relevo, transportando sedimentos além do sistema praial, ocasionando um processo erosivo na praia emersa. Os mesmos autores sugerem que a restauração da faixa de dunas poderia reduzir a quantidade de areia transportada da praia e, ao mesmo tempo, a interação entre vento, topografia e disponibilidade sedimentos poderia manter o equilíbrio morfodinâmico no sistema praia duna.

Logo, trechos do litoral que possuem dunas frontais mais desenvolvidas e conseqüentemente mais altas possuem um menor potencial de erosão e/ou inundação costeira e conseqüentemente são trechos menos vulneráveis. Os perfis sem a presença de dunas, de acordo com Mir-Gual *et al.* (2016), são mais vulneráveis e foram classificados como vulnerabilidade muito alta

A classificação da vulnerabilidade assumida para essa variável é mostrada na Tabela 4.

3.3.3 Variável 3 Taxa de variação da linha de costa (variação sazonal)

Segundo Boak e Turner (2005) estudos costeiros utilizam indicadores para representar a real linha de costa, caracterizada pela interface terra-água. Assim como no tratamento dos dados e determinação da taxa de variação da linha de costa para o levantamento regional, para o levantamento em escala local a partir dos dados dos perfis topográficos foi utilizado o indicador da real posição da linha de costa como sendo o limite praia-retropraia caracterizado pelo fim da faixa arenosa da praia rumo ao continente e seu contato com feições como vegetação, falésias, dunas e/ou infraestrutura costeira como calçadão ou ruas.

Segundo Muehe e Oliveira (2014), utilizar o limite praia-retropraia como a real posição da linha de costa traz diversas vantagens em relação a adotar outras

feições do perfil praial, como linha de maré mais alta, máximo recuo da onda, entre outros, como a real posição da linha de costa. Essas outras feições do perfil são muito mais dinâmicas devido às variações meteoceanográficas do que o limite praia-retropraia e podem indicar tendências de curto prazo que na verdade não se caracterizam por ser um movimento de longo prazo da linha de costa. Ao se adotar o limite praia-retropraia como a real posição da linha de costa os dados passam a ter menos ruídos ocasionados pela mudança das forçantes oceanográficas de curto prazo e passam a indicar o real movimento sofrido pela linha de costa no passar do tempo, seja movimentos retrogradacionais ou progradacionais.

Nos levantamentos realizados em campo cada ponto coletado de cada um dos 09 perfis topográficos era coletado juntamente com observações que facilitavam o planejamento e pós processamento dos dados, e uma das informações importantes é saber onde se localizava o limite praia-retropraia de cada um dos 09 perfis topográficos no momento de cada uma das 09 campanhas realizadas. Com isso é possível ter um mapa de tendência de acreção/erosão para todo o litoral estudado assim como conhecer a taxa desse deslocamento de linha de costa.

A classificação da vulnerabilidade assumida para essa variável é mostrada na Tabela 4.

3.3.4 Variável 4 Distância da infraestrutura costeira

A escolha dessa variável se deu de forma a se classificar com maiores níveis de vulnerabilidade trechos do litoral que possuem infraestrutura costeira, ou seja, urbanização, muito próxima ao limite praia-retropraia se comparado com trechos do litoral onde essa urbanização se deu de forma mais distante ou ainda em trechos do litoral onde a urbanização costeira é inexistente. Anteriormente, as variáveis se concentravam mais na sensibilidade ambiental, mas segundo Albino *et al.* (2006), Elfrink *et al.* (2006), Anfuso e Del Pozo (2009) e Filgueiras (2017) a urbanização pode ser um fator agravante quanto a vulnerabilidade costeira quando realizada muito próxima ao litoral.

Trechos da costa que possuem urbanização muito próxima à orla possuem um risco potencial maior se comparados a outros trechos. No caso de um evento de empilhamento de água junto a costa, trazendo uma subida relativa do nível do mar (set up), regiões mais próximas à orla estão mais propensas a serem inundadas. Em regiões com processos erosivos já instalados, as regiões que possuem uma urbanização mais próxima à orla possuem um tempo de resposta e adaptação ao processo erosivo menor do que em outras regiões. Logo regiões com infraestrutura costeira instalada próximas à orla recebem classificações de vulnerabilidades mais altas do que em outras regiões.

Essa medida foi realizada em campo a partir do limite praia-retropraia, em direção ao continente, seguindo o alinhamento dos perfis até que se interceptasse alguma forma de urbanização, como calçadas, ruas ou muros de edificações.

A classificação da vulnerabilidade assumida para essa variável é mostrada na Tabela 4.

Após todas as variáveis espacializadas, a classificação é feita de forma linearizada em ordem de incremento da vulnerabilidade em relação a subida do nível do mar e a erosão. É importante salientar que assim como as variáveis quantitativas Taxa de variação da linha de costa (sazonal) e Distância até a isóbata de 20m do levantamento em escala regional tiveram seus resultados separados em 5 classes de forma linear como mostra a Tabela 2, no levantamento em escala local todas as variáveis tiveram seus resultados separados em 5 grupos de forma linear, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Dados correspondentes às variáveis utilizadas no levantamento em escala local. Intervalos dessas variáveis foram propostos para a área de estudo.

Vulnerabilidade - Variáveis	Runup máximo – %	Altura da barreira (m)	Mobilidade costeira (m/ano)	Distância até a infraestrutura costeira (m)
1 Muito baixa	Entre 70% e 76%.	Entre 5,98m e 6,55m.	Entre 2,62m/ano e 4,14m/ano.	Entre 79m e 94m.
2 Baixa	Entre 76% e 82%.	Entre 5,43m e 5,98m.	Entre 1,10m/ano e 2,62m/ano.	Entre 64m e 79m.
3 Moderada	Entre 82% e 88%.	Entre 4,88m e 5,43m.	Entre - 0,42m/ano e 1,10m/ano.	Entre 49m e 64m.

4 Alta	Entre 88% e 94%.	Entre 4,33m e 4,88m.	Entre - 0,42m/ano e - 1,94m/ano.	Entre 34m e 49m.
5 Muito alta	Entre 94% e 100% ou valores ainda maiores	Entre 3,78m e 4,33m. Ou perfis sem barreiras.	Entre - 1,94m/ano e - 3,46m/ano.	Entre 19m e 34m.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Vulnerabilidade em escala regional

4.1.1 As variáveis e sua atuação sobre a vulnerabilidade

Geomorfologia Costeira - O litoral da região sul do estado do Espírito Santo se mostra muito diversificada quanto as unidades geomorfológicas presentes e também ao grau de vulnerabilidade que cada uma das unidades apresenta. Sendo assim, 39% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito alta, associada às planícies costeiras adjacentes aos rios Itapemirim ao norte e Itabapoana ao sul. 40% foi classificado como vulnerabilidade alta, associada a trechos do litoral com presença de estreita planície costeira limitada por falésias do Grupo Barreiras. 17% do litoral foi classificado como vulnerabilidade moderada associada a trechos do litoral com presença falésias do Grupo Barreiras em atual estado erosivo. Por fim, 4% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito baixa, associada aos trechos na região norte de do município de Marataízes onde o embasamento cristalino está atualmente em contato direto com o mar (Figura 8).

Altimetria - O litoral é caracterizado por uma heterogeneidade de feições topográficas e conseqüentemente diferentes graus de vulnerabilidade da costa frente às forçantes oceanográficas. 44% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito alta, associada aos terrenos formados por planícies costeiras quaternárias, em sua maioria ao norte da área de estudo associada a desembocadura do Rio Itapemirim, e ao sul associada à desembocadura do Rio Itabapoana. 14% do litoral foi classificado como vulnerabilidade alta, associado

aos perfis topográficos que possuem a formação de tabuleiro costeiro com interseção de vale escavado, precedido por planície costeira. Apesar das áreas baixas de planícies costeiras e vales escavados serem áreas de maior vulnerabilidade, os terrenos mais altos possuem uma vulnerabilidade menor. Essa classificação ocorre em áreas onde o Grupo Barreiras é precedido por estreitas planícies costeiras quaternárias e os perfis topográficos interceptam algum vale presente no Grupo Barreiras. 6% do litoral foi classificado como vulnerabilidade moderada, onde os perfis identificaram o Grupo Barreiras diretamente em contato com o mar na forma de falésias vivas, e ainda que esses perfis interceptavam algum vale. 31% do litoral foi classificado como vulnerabilidade baixa, onde os perfis são compostos apenas pelo Grupo Barreiras precedido por estreita planície costeira e sem interseção de nenhum vale, nessas regiões a vulnerabilidade é maior apenas para as estreitas planícies quaternárias, visto que as porções mais altas do Grupo Barreiras possuem uma menor vulnerabilidade. Por fim, 4% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito baixa, onde todo o perfil é composto por terrenos elevados do Grupo Barreiras, não sendo precedido por planície costeira e não interceptando nenhum vale, (Figura 8).

Varição da linha de costa – Assim como a altimetria, a linha de costa apresenta muito heterogênea quanto ao comportamento e, conseqüentemente apresenta diferentes graus de vulnerabilidade. 6% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito alta, com taxas de retrogradação da linha de costa entre 1,09 e 0,36 m/ano, na região do litoral onde se concentra as falésias que estão em atual estado erosivo. 41% do litoral foi classificado como vulnerabilidade alta, com taxas de variação da linha de costa entre -0,36 e 0,36 m/ano. 34% do litoral foi classificado como vulnerabilidade moderada, com taxas de progradação da linha de costa entre 0,36 e 1,09 m/ano. 14% do litoral foi classificado como vulnerabilidade baixa, com taxas de progradação da linha de costa entre 1,09 e 1,89 m/ano. Para finalizar, 5% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito baixa, com taxas de progradação da linha de costa entre 1,89 e 2,56 m/ano, principalmente em regiões da planície costeira quaternária mais próximas a desembocadura do Rio Itabapoana, (Figura 8)

Distância da isóbata de 20m - Para distância da isóbata de 20m de profundidade, 20% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito alta com distâncias entre a linha de costa e a isóbata de 20m de profundidade entre 17,9km e 22,1km. 23% do litoral foi classificado como vulnerabilidade alta com distâncias entre 22,1km e 26,4km. 16% do litoral foi classificado como vulnerabilidade moderada com distâncias entre 26,4km e 30,6km. 31% do litoral foi classificado como vulnerabilidade baixa com distâncias entre 30,6km e 34,9km. 9% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito baixa com distâncias entre 34,9km e 39,1km, (Figura 8).

4.1.2 Índice de Vulnerabilidade Costeira

Os valores de CVI calculados para a costa sul do estado do Espírito Santo variaram entre 1,41 e 11,18. Os percentis 20, 40, 60, 80 foram respectivamente 3,36; 5,32; 7,27 e 9,22. As classes do Índice de Vulnerabilidade Costeira foram classificadas como muito baixa (<3,36), baixa (3,36 – 5,32), moderada (5,32 – 7,27), alta (7,27 – 9,22) e muito alta (>9,22). A Figura 8 mostra a vulnerabilidade total da costa e também individualizada para cada indicador. O total da linha de costa do setor sul do estado do Espírito Santo, que apresenta cerca de 44 km, é classificado como vulnerabilidade muito baixa em 9% do litoral, como vulnerabilidade baixa em 42% do litoral, como vulnerabilidade moderada em 25% do litoral, como vulnerabilidade alta em 12% do litoral, e como vulnerabilidade muito alta também em 12% do litoral.

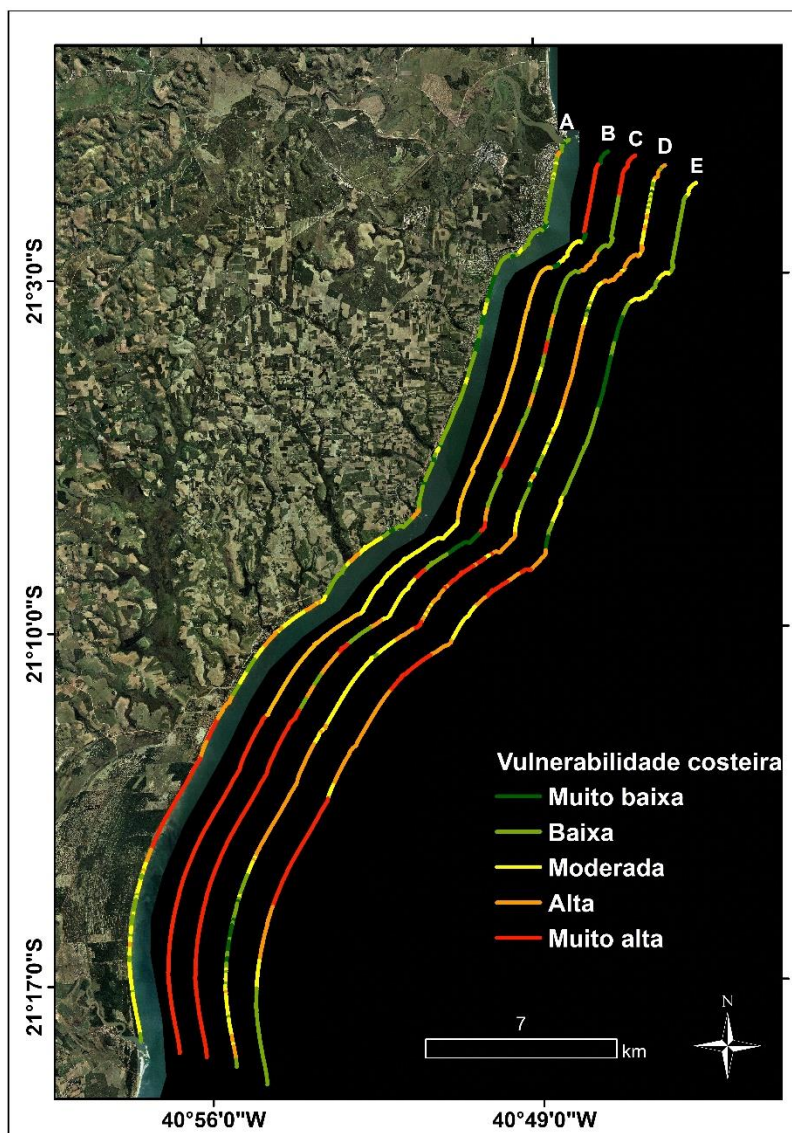


Figura 9 - Sobre a linha de costa (A) CVI do litoral sul do Espírito Santo com magnitude de Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta, e Muito alta. Note os quatro indicadores de vulnerabilidade utilizados, sendo (B) Geomorfologia, (C) Modelo digital de terreno, (D) Mobilidade costeira e (E) Distância da Isóbata de 20m.

4.2 Vulnerabilidade em escala local

4.2.1 As variáveis e sua atuação sobre a vulnerabilidade

Espraiamento máximo - 60% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito alta, associada aos runups entre 94% e 100% sendo que em 4 perfis o runup máximo ultrapassou os 100% chegando ao valor máximo de 140% no perfil 7. 4% foi classificado como vulnerabilidade moderada, associada a runup entre 82% e 88%. 37% do litoral foi classificado como vulnerabilidade baixa associada a trechos do litoral com runup entre 76 e 82%, (Figura 9).

Altura da barreira - 40% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito alta, associada aos perfis sem a presença de dunas frontais ou com dunas frontais com alturas inferiores a 4,33m. Há a diminuição da vulnerabilidade onde dunas frontais são preservadas e mais altas. 18% do litoral foi classificado como vulnerabilidade alta, associado aos perfis topográficos que possuem dunas frontais com alturas entre 4,33m e 4,88m. 9% do litoral foi classificado como vulnerabilidade moderada, onde os perfis topográficos possuem dunas frontais com alturas entre 4,88m e 5,43m. 33% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito baixa, onde os perfis medidos possuem dunas frontais com alturas entre 5,98m e 6,55m, (Figura 9). Dunas frontais com alturas em torno de 6m ou mais possuem capacidade de diminuir a vulnerabilidade da costa.

Varição da linha de costa – 22% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito alta, com taxas de retrogradação da linha de costa entre 3,46 e 1,94 m/ano. 37% do litoral foi classificado como vulnerabilidade alta, com taxas de variação da linha de costa entre -1,94 e -0,42 m/ano. 10% do litoral foi classificado como vulnerabilidade moderada, com taxas de variação da linha de costa entre -0,42 e 1,10 m/ano. 20% do litoral foi classificado como vulnerabilidade baixa, com taxas de progradação da linha de costa entre 1,10 e 2,62 m/ano. Para finalizar, 11% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito baixa, com taxas de progradação da linha de costa entre 2,62 e 4,14 m/ano, (Figura 9).

Distância da infraestrutura costeira - Para distância da infraestrutura costeira, 63% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito alta com distâncias entre 19m e 34m. 33% do litoral foi classificado como vulnerabilidade alta com distâncias entre 34m e 49m. Para finalizar, 4% do litoral foi classificado como vulnerabilidade muito baixa com distâncias entre 79m e 94m, (Figura 9).

4.2.2 Índice de Vulnerabilidade Costeira

Os valores de CVI calculados para o arco praias da Praia Central de Marataízes variaram entre 2,24 e 11,18. Os percentis 20, 40, 60, 80 foram respectivamente 4,03; 5,85; 7,61 e 9,40. As classes do Índice de Vulnerabilidade Costeira foram classificadas como muito baixa (<4,03), baixa (4,03 – 5,82), moderada (5,82 – 7,61), alta (7,61 – 9,40) e muito alta (>9,40). A Figura 9 mostra a vulnerabilidade total para o arco praias e também individualizada para cada indicador. O comprimento total da linha de costa, que apresenta cerca de 11,5 km, é classificado como vulnerabilidade muito baixa em 31% do litoral, como vulnerabilidade baixa em 5% do litoral, como vulnerabilidade moderada em 47% do litoral, e como vulnerabilidade muito alta em 18% do litoral.

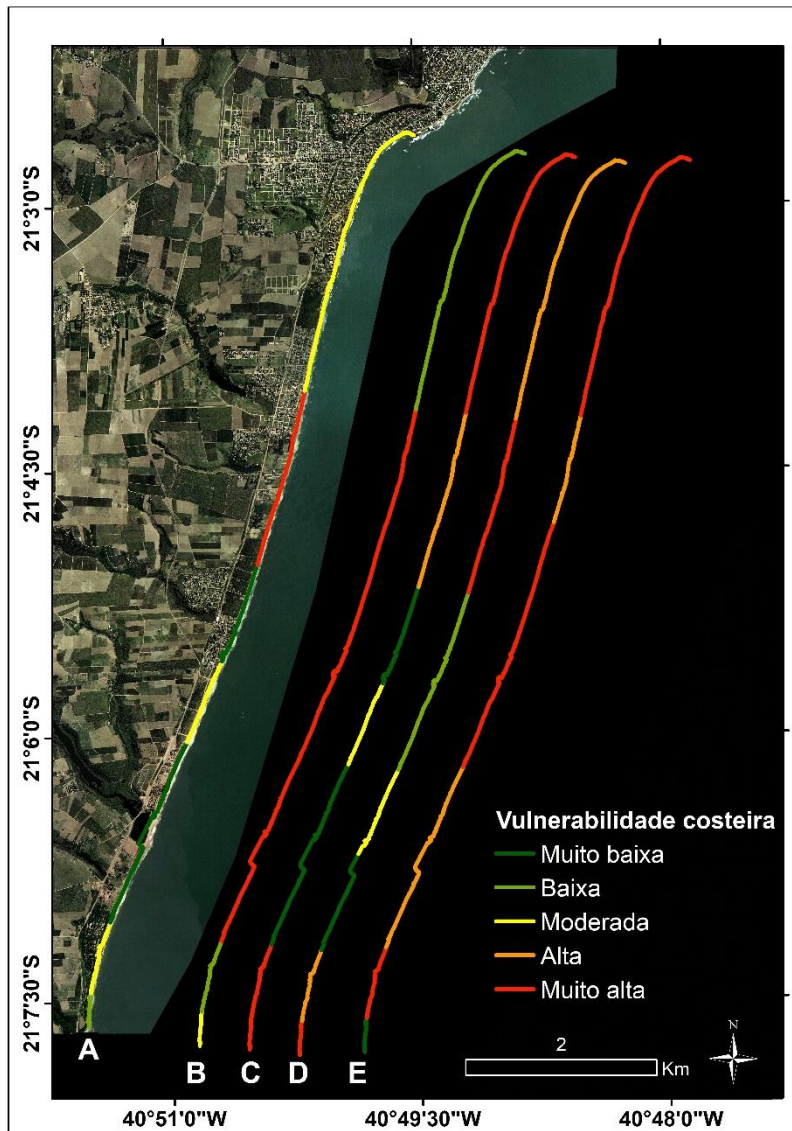


Figura 10 - Sobre a linha de costa (A) CVI do litoral do arco praial entre a Praia Central e o Camping do Siri com magnitude de Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta, e Muito alta. Note os quatro indicadores de vulnerabilidade utilizados, sendo (B) Runup máximo, (C) Altura da barreira, (D) Mobilidade costeira e (E) Distância da infraestrutura costeira.

4.3. Comparação das escalas na eficiência da definição da vulnerabilidade do litoral

4.3.1 A comparação dos resultados por perspectivas de escala e método

No que tange a uma avaliação regional, sem a influência da deposição fluvial e desenvolvimento das planícies fluviais dos rios Itapemirim e Itabapoana, o litoral é caracterizado por ter trechos em que os tabuleiros terciários do Grupo Barreiras estão presentes junto ao litoral. Este depósito ocorre sob a forma de falésias vivas que vivem um atual período de erosão por ação marinha, falésias

mortas desenvolvidas em períodos de flutuações pretéritas do nível do mar e estreitas planícies quaternárias desenvolvidas aos pés dessas falésias. As características da antepraia e plataforma atua ainda sobre a tendência erosiva, já que a presença de terraços de abrasão indica processos erosivos recentes atuantes no litoral, com o solapamento das falésias pelas ondas incidentes (ALBINO *et al.*, 2001; ALBINO *et al.*, 2006; e ALBINO *et al.*, 2016).

Com pouca contribuição de sedimento fluvial, o litoral já se mostra naturalmente com alto grau de vulnerabilidade costeira. As mudanças das forçantes meteoceanográficas, como o que acontece em passagens de sistemas frontais no litoral que não possui uma faixa desenvolvida que permita grandes variações morfodinâmicas, é refletida diretamente sob formas negativas no litoral, com erosão das dunas frontais e dos depósitos terciários, e em regiões ocupadas colocando em risco residências, comércios e infraestrutura como ruas e calçadas a beira mar (ALBINO *et al.*, 2001).

A geomorfologia se mostrou ser um dos melhores indicadores, onde as regiões que se esperam ser mais vulneráveis à erosão, como o trecho com presença de falésias; e a inundação, como o trecho com extensas planícies costeiras com baixa altimetria, foram classificadas como sendo mais vulneráveis e isso refletiu no resultado final de forma satisfatória, assim como Ozyurt e Ergin (2010), Yin *et al.* (2012), Hereher (2015), Loinenak e Hartoko (2015) e Pantusa *et al.* (2018). A geomorfologia como destaque no diagnóstico erosivo deste litoral foi também salientada por Klumb-Oliveira *et al.* (2020, no prelo).

A análise do modelo digital de elevação através dos perfis topográficos analisou trechos do litoral que possuem mesma classificação de geomorfologia que possam ser mais ou menos vulneráveis. Segundo Albino *et al.* (2010), as planícies quaternárias são classificadas como vulneráveis devido à intensa dinâmica e baixa altimetria, enquanto que os terraços do Grupo Barreiras menos vulneráveis ao uso e ocupação. Ainda, segundo Teubner Junior *et al.* (2013), nas regiões de vales escavados do Grupo Barreiras, devido à baixa altimetria e à baixa permeabilidade do terreno, e ainda sendo assoreados por sedimentos quaternários, são as áreas mais vulneráveis à inundação, seja ela no período de chuvas ou por elevação do nível do mar.

Estudos vem mostrando que regiões costeiras baixas associadas a desembocaduras fluviais estão mais propensas a sofrerem com eventos episódicos de inundação associados a eventos extremos e ainda inundação permanente, forte erosão, infiltração salina nos aquíferos e em estuários e danos a instalações e estruturas construídas pelo homem em decorrência da elevação do nível do mar (GORNITZ, 1991; NICHOLLS, 1995; MCLEAN *et al.*, 2001; IPCC, 2007; YIN *et al.*, 2012).

Por outro lado, orlas com presença de falésias estão mais propensas ao aumento do alcance das ondas e o ataque a base das falésias, conseqüentemente aumentando a frequência do ciclo de erosão das mesmas (EGUCHI e ALBINO, 2018). Esta situação salienta a vulnerabilidade erosiva das falésias, mesmo feições com maior elevação o processo erosivo representa perda permanente de terreno em comparação as regiões arenosas sem as presenças de falésias, que podem ser recuperadas ou reconstruídas naturalmente se ou quando as condições meteoceanográficas voltarem às passadas.

A altura de onda é proporcional a raiz quadrada da energia da mesma onda, e essa é a principal energia na mobilização e transporte de sedimentos costeiros, resultando na variação final entre erosão e deposição (GORNITZ, 1991, DWARAKISH *et al.* 2009, YIN *et al.*, 2012). Segundo Padilla-Hernández e Monbaliu (2001) e Matos *et al.* (2014), existem diferentes mecanismos de dissipação de energia na interação das ondas com o fundo marinho, como percolação, fricção entre outros; e segundo Shemdin *et al.* (1978) o atrito com o fundo parece ser o principal deles em regiões costeiras arenosas. O estudo realizado por Trombetta *et al.* (2018) na plataforma continental sul do Brasil, analisou como uma declividade mais suave, comum em plataformas mais extensas, pode reduzir em até 98% da altura das ondas e aproximadamente 90% do potencial energético ao se aproximarem da costa, atenuando os efeitos erosivos causados pelas ondas na área litorânea.

A utilização da distância entre a costa e a isóbata de 20m de profundidade, mostra os trechos da costa com maiores e menores potenciais de redução da energia das ondas ao se deslocarem sobre águas intermediárias e rasas e por fim atingirem a costa, e a variação do potencial de mobilização e transporte de

sedimentos resultando de forma satisfatória na diferença de vulnerabilidade de diferentes trechos do litoral estudado.

Quanto à taxa de variação da linha de costa, o referenciado pós-praia como indicador de linha de costa se mostrou eficiente em costas naturais, não artificializadas pelo processo de urbanização mostrando tendências de longo prazo na mobilidade natural da linha de costa e evitando falsas interpretações de curto e médio prazo, que segundo Muehe (2014) podem ser feitas com a utilização de outros indicadores, como por exemplo linha de maré alta ou a linha entre areia úmida e areia seca. Porém, se mostrou ineficiente em locais onde a urbanização se deu por sobre áreas dinamizadas da praia, sendo uma distorção da mobilidade natural do sistema e o responsável por um comportamento de progradação ou estabilidade da costa onde se esperaria o comportamento natural de retrogradação do litoral. Vale ressaltar que o conjunto de dados não contempla variação na posição da linha de costa após o ano de 2013, e que a vulnerabilidade pode ser alterada em vista dos processos erosivos mais recentes.

O CVI para todo litoral estudado teve seu maior valor igual a 11,18 em um trecho sendo classificado em 3 variáveis como vulnerabilidade muito alta (Modelo digital de elevação, Taxa de variação da linha de costa e Distância da isobata de 20m) e em 1 como alta (Geomorfologia costeira). Já o menor valor do CVI foi de 1,41 em um trecho sendo classificado em 2 variáveis como vulnerabilidade muito baixa (Taxa de variação da linha de costa e Distância da isóbata de 20m), 1 variável como vulnerabilidade baixa (Modelo digital de elevação) e 1 como vulnerabilidade alta (Geomorfologia costeira). Logo, mostra a eficiência das variáveis escolhidas em para a determinação da vulnerabilidade costeira da região e a eficiência do método em determinar a variabilidade da vulnerabilidade costeira ao longo é corroborada pelos estudos de Theiler e Hammar-Klose (2000), Pendleton *et al.* (2005), Kumar *et al.* (2010), Ozyurt e Ergin (2010), Yin *et al.* (2012), Hereher (2013), Hereher (2015), Loinenak e Hartoko (2015), Pantusa *et al.* (2018) e Serafim *et al.* (2019) realizado em países como Brasil, China, Egito, Estados Unidos, Índia, Indonésia, Itália e Turquia.

Já a nível mais local, segundo Albino *et al.* (2006) o trecho norte da Praia Central de Marataízes passou por um processo de urbanização que se deu muito

próxima ao mar, destruindo as dunas frontais, o que intensifica os processos erosivos. As tentativas de conter a erosão se deram na sob a forma de sucessivas obras de engenharia costeira. Para Elfrink *et al.* (2006), tal esquema de proteção era formado por um grande número de esporões curtos constituídos por gabiões. Como o processo erosivo não foi interrompido, vários outros danos poderiam ocorrer à infraestrutura costeira como ruas, quiosques e edificações. Além disso, o esquema de proteção era pouco atraente e não fornecia uma boa qualidade para fins recreativos (Figura 10).



Figura 11 - Antigo esquema de proteção costeira presente na Praia Central, Maratáizes – ES, 2009.

O atual esquema de proteção foi baseado no engordamento artificial da praia associada a estruturas duras, que tem como objetivo criar pequenas células fechadas de circulação de sedimentos permitindo que a costa encontre seu equilíbrio morfodinamico entre as estruturas, com as mudanças das condições meteoceanográficas. O esquema desenvolvido é formado por quatro estruturas duras curvas com aproximadamente 150m de extensão e 350m entre as estruturas, a largura da nova praia varia entre 100 e 150 metros e o volume de sedimentos para a recuperação da praia foi aproximadamente de $1,2 \times 10^{-6}$ milhão e 200 mil metros cúbicos (Figura 11) (ELFRINK *et al.*, 2006).



Figura 12 - Atual esquema de proteção costeira presente na Praia Central, Maratáizes - ES.
Fonte: Prefeitura de Maratáizes.

Pelo fato do transporte de sedimentos longitudinal residual se dar no sentido sul (ALMEIDA, 2006; CONTI NETO, 2010), esse trecho norte possivelmente já possui tendência de ceder sedimentos (ALMEDA, 2006).

Segundo Filgueiras (2017), com a criação de células de circulação e, conseqüentemente, o aprisionamento dos sedimentos no interior da região abrangida pelo atual esquema de proteção costeira, a região ao sul de tal esquema, à barlavento do sistema de estruturas, se configura atualmente numa região faminta de sedimentos e onde agora intensos processos erosivos se dão presente (Figuras 12 e 13).



Figura 13 - Em destaque, processo erosivo que se instalou, e ao fundo é possível ver a atual esquema de proteção costeira, Marataízes – ES.
Fonte: Prefeitura de Marataízes.



Figura 14 - Técnicos verificam as obras feitas em caráter emergencial, Marataízes - ES.
Fonte: Prefeitura de Marataízes.

O espraçamento máximo calculado de acordo com a proposta de Mather *et al.* (2011) e analisado de forma conjunta com a altura do perfil ativo da praia obtido através dos levantamentos topográficos realizados em campo, mostra

como resultado o risco proporcional (%) que cada perfil tem de ser inundado e/ou erodido, caso as condições de runup calculadas de fato aconteçam. O destaque fica por conta que, dos 9 perfis estudados, 6 foram classificados como vulnerabilidade muito alta (em que essa relação é maior que 94%) sendo que 4 deles essa relação passa dos 100% atingindo um máximo de 140% no perfil 7. Isso mostra o quão naturalmente vulnerável é esse litoral, em função apenas das mudanças das forçantes meteoceanográficas e a interação destas com a topografia natural da praia, e não levando em consideração o processo de urbanização que se deu no trecho norte e que ainda pode se dar no restante do arco praial, fato que ocasionaria num potencial de vulnerabilidade ainda maior.

Para a variável altura da barreira foi utilizada a altura da duna frontal, quando presente, como indicador de vulnerabilidade. A geometria de dunas tem a característica de ser um impeditivo para na ação do espraiamento das ondas, atuando propriamente dita como uma barreira física a esse processo.

No entanto, as dunas frontais também possuem a característica de serem reservas de sedimentos que o perfil ativo da praia pode utilizar em condições mais energéticas das forçantes meteoceanográficas, onde a ação das ondas transporta sedimentos do perfil emerso para o perfil submerso e onde esses sedimentos presentes nas dunas frontais podem ser incorporados ao perfil emerso evitando um processo erosivo (SMITH *et al.*, 2010; DARKE *et al.*, 2013). Ao passar das condições mais energéticas e a volta das condições meteoceanográficas normais, a ação das ondas reincorpora o sedimento ao perfil emerso, e a ação dos ventos reincorporam os sedimentos finos as dunas, fechando o ciclo de transporte de sedimentos transversais no sistema praia-duna de acordo com a mudança energética das forçantes meteoceanográficas. Tal ciclo de transporte de sedimentos transversais no sistema praia-duna foi verificado para a Praia Central por Santos (2005), Pasolini (2005), Almeida (2006) e Albino *et al.* (2006).

Quando analisada a presença e conservação das dunas frontais como sendo feições de proteção costeira num trecho de costa que tem 6 dos 9 perfis analisados classificados como vulnerabilidade muito alta quanto a variável espraiamento máximo, mostra a importância de se preservar essas feições e se

ter um plano de urbanização mais consciente, sustentável e eficiente, evitando impactos socioeconômicos e ambientais futuros.

A variável taxa de mobilidade da praia ou variação da linha de costa a curto prazo medida a partir de dados coletados em campos foi a variável escolhida menos eficiente, e que não trouxe resultados satisfatórios. Os dados mostraram que num mesmo litoral de pouco mais de 11km de extensão as taxas de variação da linha de costa variaram entre -3,46m/ano e 4,14m/ano. O período amostral de pouco menos de 2 anos e com intervalo de 2 a 3 meses influencia muito nesse tipo de dado a ser analisado. Tais taxas de mobilidade tão discrepantes podem refletir uma variação de curto ou médio prazo em decorrência única e exclusivamente da variação climáticas das forçantes meteoceanográficas de curto e médio prazo como as passagens de frentes frias pelo litoral comuns entre os meses de março a agosto ou ainda os fenômenos de El Niño e La Niña que são fenômenos que ocorrem no Oceano Pacífico e que tem como característica a alteração temporária das condições climáticas em todo planeta, conseqüentemente alteração dos padrões de ventos e também dos padrões de ondas, e por fim refletem na relação de equilíbrio das interfaces atmosfera-oceano-continente.

O levantamento de perfis topográficos é a forma mais precisa de se medir efetivamente a variação da linha de costa (MUEHE e OLIVEIRA, 2014), desde que se tenha uma base de dados suficientemente longa para isso, diferentemente deste estudo em que temos apenas 2 anos de dados para propor de forma eficiente o movimento de longo prazo sofrido pela linha de costa. Segundo Muehe e Oliveira (2014), nesses casos uma boa opção continua sendo a determinação da variação da linha de costa a partir de fotografias aéreas históricas e/ou imagens de satélites com o auxílio da extensão DSAS para uso em SIG para se ter uma base de dados longa o suficiente para se determinar tendências de movimentos da linha de costa de longo prazo.

A variável de distância entre o limite do pós praia e a infraestrutura costeira mais próxima permite determinar a vulnerabilidade relacionada a perdas materiais como calçadão a beira mar, quiosques, ruas, ou até mesmo casas devido as alterações meteoceanográficas, e ainda há o risco perdas de vidas humanas em casos mais extremos.

Essa variável não teve uma variabilidade espacial muito significativa embora a classificação de quase todo o litoral ser como vulnerabilidade alta ou muito alta (exceto pelo perfil 1). Isso se dá pelo fato de que por quase toda a extensão do desse litoral logo atrás da feição das dunas frontais há uma avenida, mais desenvolvida e pavimentada no trecho norte de arco praial onde a urbanização é mais desenvolvida; e se estende por quase todo o trecho até a extremidade sul desse arco, de forma menos desenvolvida e não pavimentada.

Há o fato ainda de que após essa avenida já há presença de lotes de terra privados e edificações, o que já se configura por ser um processo de urbanização mesmo que não seja denso como no trecho norte.

A exceção dessa classificação se dá no perfil 1 classificado como vulnerabilidade muito baixa, que por estar na extremidade sul no arco praial, já não conta com a presença da referida avenida, e nem com loteamentos e casas. Tal perfil é delimitado pelas falésias do Grupo Barreiras e só então no alto dessa falésia é que se encontra a primeira infraestrutura costeira, a Rodovia ES-060, mais conhecida como Rodovia do Sol.

Ainda é válido ressaltar que o Ministério do Meio Ambiente, por meio do Projeto Orla (MMA, 2006), recomenda a distância de 50m em áreas urbanizadas e de 200m em áreas não urbanizadas; medidas a partir da linha de preamar ou do limite final de ecossistemas como restingas, falésias ou costões rochosos; como limites de segurança à ocupação costeira. Esses limites de segurança podem ainda ser estendidos diante estudos que indiquem uma tendência erosiva, capaz de ultrapassar rapidamente o limite proposto anteriormente.

A partir dessa recomendação feita pelo Projeto Orla, temos, dos 9 perfis topográficos analisados, 8 perfis que não seguem minimamente essa recomendação com urbanização a uma distância inferior a 50 metros medidos a partir do pós praia. Isso mostra o quanto litorais que já são vulneráveis devido suas características físicas naturais, podem se tornar ainda mais vulneráveis por ações humanas.

Para finalizar, como um todo, o CVI para o arco praial da Praia Central teve seu maior valor igual a 11,18 em um trecho sendo classificado em 3 variáveis como vulnerabilidade muito alta (Espriamento máximo, Taxa de variação da

linha de costa e distância até a infraestrutura costeira) e em 1 como alta (Altura da barreira). Já o menor valor do CVI foi de 2,24 em um trecho sendo classificado em 2 variáveis como vulnerabilidade muito baixa (Altura da barreira e Taxa de variação da linha de costa), 1 variável como vulnerabilidade alta (Distância até a infraestrutura costeira) e 1 como vulnerabilidade muito alta (Runup máximo). Logo, mostra a eficiência das variáveis escolhidas, com exceção da mobilidade costeira, para a determinação da vulnerabilidade costeira da região.

4.3.2 As diferenças de escala nos resultados

Há diversos pontos positivos e pontos negativos na utilização de cada um dos levantamentos, seja ele em escala regional com a utilização de dados provenientes de sensoriamento remoto ou em escala local com a utilização de dados coletados em campo. Ou ainda em levantamentos em escala nacional, como realizado costa do Vietnã por Boateng (2012) e na costa chinesa por Yin *et al.* (2012) ou ainda em escala global como DINAS-DIVA por Vafeidis *et al.* (2008).

O levantamento em escala regional a partir de dados de sensoriamento remoto ainda é o mais comumente utilizado para determinação da vulnerabilidade costeira ao redor do mundo (YIN *et al.*, 2012; LOINENAK *et al.*, 2015; HEREHER, 2015; PANTUSA *et al.*, 2018 e SERAFIM *et al.*, 2018). Os conjuntos de dados disponíveis são diversos, tendo os cientistas ou gestores costeiros o poder de escolha do melhor conjunto de dados para representar a região a ser estudada.

Os conjuntos de dados estão disponíveis para quase todas as regiões do globo terrestre, com destaque negativo para alguns conjuntos de dados, como o SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), em regiões próximas aos polos do planeta (SANDERS, 2007). Como os conjuntos de dados utilizados nesses tipos de levantamentos são disponibilizados de forma gratuita, e muito frequentemente, estudos como esses não precisam de campanhas de levantamento de dados de campo, essas modalidades de levantamentos são financeiramente muito atrativas.

Já o levantamento em escala local, a partir de dados coletados em campo, são menos frequentes e quando são realizados dão ênfase em pequenas áreas de maior importância. Há toda uma logística para as campanhas de coletas de dados, que envolvem altos custos como pessoal, hospedagens, transporte, alimentação, e na maioria das vezes as coletas de dados requerem equipamentos sofisticados, que terão que ser adquiridos ou alugados, e isso também deve ser incluído nos custos de se fazer um levantamento desse tipo.

Os dados levantados em campo sob a escala local são mais representativos embora o dilema entre números de pontos amostrados versus a representatividade espacial dos dados de forma satisfatória. Mais representatividade espacial dos dados requer mais pontos a serem amostrados, e mais pontos a serem amostrados automaticamente demanda mais tempo e conseqüentemente aumenta os custos financeiros a serem dispendidos por campanha. Isso é algo que deve ser levado em consideração na construção de um projeto desse tipo, bem como na sua execução.

Por outro lado, na determinação da vulnerabilidade em escala regional, como os dados proveniente de sensoriamento remoto são contínuos espacialmente, o processamento desses dados, em SIG, nos permite configurar o espaçamento equidistante entre os dados de forma uniforme. Por exemplo, na análise da variação da linha de costa temos 1 análise realizada a cada 100m de linha de costa. Já na análise dos perfis topográficos gerados a partir do Modelo Digital de Elevação temos uma análise realizada a cada 500m de litoral.

Já no levantamento em escala local, os locais a serem realizados os levantamentos topográficos foram escolhidos levando em consideração a sua representatividade de sintetizar características do litoral estudado e não obrigatoriamente respeitam uma distância padrão entre os perfis estudados. No presente levantamento a menor distância entre dois perfis topográficos levantados em campo foi de 433m entre os perfis de número 7 e 8; e a maior distância entre 2 perfis topográficos foi de 1.861m entre os perfis de número 8 e 9.

Segundo o levantamento em escala regional a extensão total desse trecho da linha de costa, que apresenta cerca de 11,5 km, é classificada como

vulnerabilidade muito baixa em 26% do litoral, como vulnerabilidade baixa em 63% do litoral, como vulnerabilidade moderada em 9% do litoral, e como vulnerabilidade alta em 2% do litoral. Já segundo o levantamento em escala local a extensão total desse trecho da linha de costa, é classificada como vulnerabilidade muito baixa em 31% do litoral, como vulnerabilidade baixa em 5% do litoral, como vulnerabilidade moderada em 47% do litoral, e como vulnerabilidade muito alta em 18% do litoral (Figura 14).

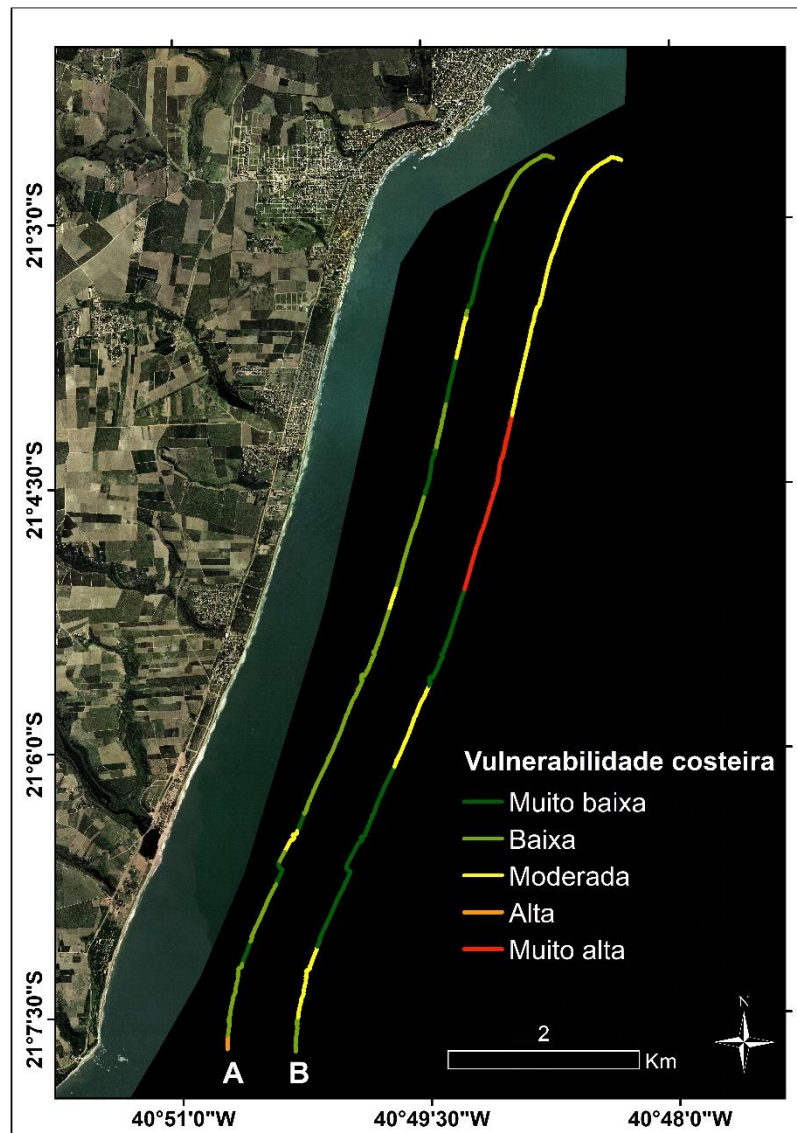


Figura 15 - Comparação do CVI nas diferentes escalas de levantamento, com magnitude de Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta, e Muito alta. Sendo (A) Levantamento em escala regional e (B) Levantamento em escala local.

Devido à disponibilidade dos dados em escala local, a análise e comparação dos resultados dos dois métodos de determinação da vulnerabilidade costeira foi

realizada somente no arco praiar entre a Praia Central e o Camping do Siri, em Marataízes. Essa análise resultou num aumento da classificação da vulnerabilidade em 60% da extensão do litoral comparando a escala local em relação a escala regional. 13% do litoral teve a mesma classificação de vulnerabilidade e 27% do litoral teve sua classificação de vulnerabilidade reduzida na comparação das duas escalas de levantamento (Figura 15).

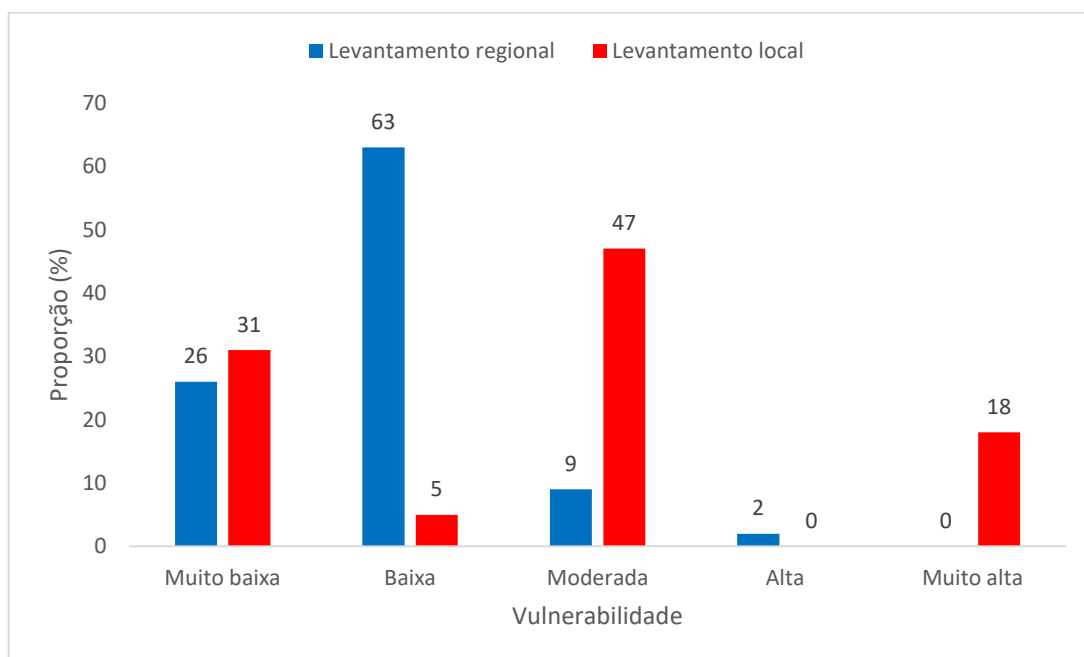


Figura 16 - Análise da diferença da vulnerabilidade costeira determinada para o arco praiar da Praia Central em Marataízes entre as escalas regional e local.

Esse tipo de resultado também foi analisado por McLaughlin e Cooper (2010), e os autores enfatizam como a escala de estudo pode determinar o resultado, e como uma área pode ser considerada vulnerável em uma escala, mas não em outra. Ainda segundo os mesmos autores, os valores do índice são normalizados em cada escala, sendo cada valor relativo ao intervalo completo de valores calculados nessa mesma escala, e todos os resultados são representados usando o mesmo intervalo de vulnerabilidade, de vulnerabilidade muito baixa à vulnerabilidade muito alta.

Logo, no presente estudo, os resultados do levantamento em escala regional mostram que as áreas classificadas como as mais vulneráveis (vulnerabilidade alta e vulnerabilidade muito alta) não fazem parte do arco praiar da Praia Central

em Marataízes. Isso faz o arco praial ter uma classificação de vulnerabilidade relativamente menor em comparação a todo o levantamento regional realizado.

Já no levantamento em escala local como foi realizado numa área menor, era de se esperar, pela normalização do índice, que estivesse presente todas as classes de vulnerabilidade (de muito baixa a muito alta) e essa característica metodológica pode ser responsável pelo aumento da classificação da vulnerabilidade em 60% da extensão do arco praial da Praia Central em Marataízes.

A proposta de Bush *et al.* (1999) utiliza uma série de geoindicadores (como presença de dunas, largura da praia, taxa de variação da linha de costa e presença de estrutura de engenharia), de forma combinada para criar um diagnóstico qualitativo da situação ambiental da costa de forma rápida, a partir de observação em campo, de baixo custo e com validade científica. Esse método de diagnóstico em campo permite a avaliação de áreas menores, que são de difícil avaliação por métodos mais tecnológicos, como sensoriamento remoto, e ainda permite a rápida resposta dos gestores em caso de uma situação de risco. Este método remete a eficiência dos levantamentos locais em diagnósticos de vulnerabilidade em curto intervalo de tempo, isto é, recentes (KLUMB-OLIVEIRA *et al.*, 2020, no prelo).

Ainda segundo Klumb-Oliveira *et al.* (2020, no prelo), é válido ressaltar que organizações como a NOAA e a UNESCO afirmam que o uso de geoindicadores são uma forma de padronizar a metodologia e a coleta de dados, e ainda facilitar comparação e a troca de informações complexas ao redor do mundo.

Numa escala de tempo decadal, como no presente estudo, a análise de variáveis como geomorfologia costeira e modelo digital de elevação, podem indicar uma vocação natural da costa em ser mais ou menos vulnerável. Mas as verdades de campo como presença de infraestrutura costeira e presença e conservação das dunas, dão um diagnóstico mais próximo da real vulnerabilidade de certo trecho do litoral, e esse tipo de análise é mais importante para os gestores locais no desenvolvimento de estratégias de adaptação.

Não há uma escala única que seja adequada para todas as necessidades. Diferentes escalas tendem a refletir diferentes prioridades e a influência de uma dada variável aumentará ou diminuirá à medida em que se altera a escala do levantamento. Índices em várias escalas tem a capacidade de serem usados para ajudar com elaboração de política costeira referente a diferentes riscos costeiros. A apresentação da informação em uma escala significativa para os responsáveis pelo gerenciamento aumenta a utilidade dessas informações para o desenvolvimento de estratégias de adaptação (MCLAUGHLIN e COOPER, 2010).

Esse tipo de estudo serve de base para criação de novas políticas públicas em áreas de futuras urbanização e ocupação, assim como é possível visualizar os trechos que já estão com maiores vulnerabilidades e dar uma maior atenção a eles a fim de mitigar e evitar futuras perdas socioeconômicas e ambientais assim como em casos mais extremos perdas de vidas humanas.

4.3.3 Ações para a vulnerabilidade costeira do litoral sul capixaba

O litoral de Marataízes e Presidente Kennedy é muito diverso no quesito processo de urbanização, embora a curta distância entre eles. Presidente Kennedy é o único município praiano que sua sede não se localiza na orla marítima. A distância do centro urbano favorece a preservação do sistema costeiro, regimentado pela interação dos sistemas marinho e fluvial. Já Marataízes teve seu crescimento urbano próximo a orla marítima, prejudicando o balanço e transporte de sedimento, causando erosão por ocasião de incremento da energia das ondas. Tentativas de conter a erosão resultaram em obras que não conseguiram conter de forma eficaz o processo erosivo no município (ALBINO *et al.*, 2006; ALBINO *et al.*, 2016).

Não há solução única para esses problemas, e cada cidade deve fazer uma avaliação individual. Entretanto, a elevação do nível do mar traz o foco para a necessidade de estratégias de longo prazo no desenvolvimento das cidades, que deve ser integrado a outras preocupações como as de médio e curto prazo (NICHOLLS, 1995; NICHOLLS e LOWE, 2004).

Segundo Nicholls (1995), não fazer nada e a proteção reativa tem sido a principal resposta a problemas costeiros. No futuro, uma abordagem mais proativa deve ser incentivada. Enquanto medidas protetivas, em que obras de engenharia são feitas para proteger a infraestrutura costeira já existente, serão mais favorecidas em cidades, como já acontece em Maratáizes; a acomodação e o retiro planejado podem ser adequados para algumas regiões, principalmente para áreas de futura urbanização costeira, como se enquadra fortemente o município de Presidente Kennedy. O objetivo principal deve ser antecipar potenciais problemas, antes que eles se desenvolvam e precisem de respostas apropriadas.

O afastamento de novas construções é um exemplo de mecanismo para realizar uma retração da faixa de edificação e ocupação. A distância adequada para o afastamento varia de região para região, e varia com as condições locais (NICHOLLS, 1995 e MMA, 2006).

A ocupação planejada em Presidente Kennedy, se torna ainda mais importante quando um megaempreendimento portuário está em fase de instalação num trecho de litoral que ainda não está urbanizado. O Porto Central é a proposta de um complexo industrial portuário multipropósito de águas profundas em desenvolvimento numa área de aproximadamente 2.000ha. O Município de Presidente Kennedy designou uma área de 6.815ha ao redor do porto para ser desenvolvida como um distrito industrial, contribuindo para o crescimento planejado e integrado da região (PORTO CENTRAL).

Nicholls (1995) e Nicholls e Lowe (2004) recomendam um melhor conhecimento de base combinado com medidas proativas de baixo custo para as mudanças climáticas, aplicadas de forma integrada em relação à problemática costeira. Sem uma abordagem integrada, considerando o médio e longo prazo, os impactos costeiros tendem a se tornar mais prováveis e frequentes, e as medidas reativas mais caras, ou ainda algumas áreas poderão até ser abandonadas. A elevação do nível do mar é um bom exemplo de preocupações costeiras de longo prazo, que precisam ser abordadas no planejamento costeiro das cidades (NICHOLLS, 1995).

VI CONCLUSÃO

O estudo analisou diversas feições nas escalas de levantamento regional e local, bem como suas diferenças. E a classificação se deu com base nos estudos citados previamente, alterando a vulnerabilidade de algumas regiões, para que as gestões urbanas e costeiras deem a atenção devida a essas localidades evitando prejuízos socioeconômicos e ambientais futuros.

No levantamento regional, os resultados indicam que o conjunto de dados de sensoriamento remoto se mostrou eficaz em determinar a vulnerabilidade costeira da região estudada e adicionalmente ao CVI mostram a variação da vulnerabilidade costeira, sendo a geomorfologia e altimetria as duas variáveis mais importantes no presente estudo, com a mobilidade costeira expondo potenciais tendências futuras e o grau de exposição ilustrando os hot spots de energia de ondas que chegam a costa.

No levantamento local, os resultados indicam que o conjunto de perfis topográficos levantados em campo se mostrou eficaz em determinar a vulnerabilidade costeira do arco praiial em questão, embora as questões técnicas relacionadas à espacialidade e representatividade dos dados. Adicionalmente ao CVI mostram a variabilidade ao longo da praia da vulnerabilidade costeira, sendo o espraiamento máximo, a altura da barreira arenosa e a distância da infraestrutura costeira as três variáveis mais importantes no presente estudo, com taxa de variação da linha de costa tendo um resultado questionável de séries temporais curtas de análise, necessitando de uma série de dados muito mais longa para que realmente indique um movimento de linha de costa principal, como no caso da análise em escala regional.

O melhor custo benefício passa a ser um levantamento em escala regional com a utilização de dados de sensoriamento remoto tendo como produto uma vulnerabilidade prévia, e a partir dos resultados dar ênfase com levantamento em escala local, concentrando os pontos amostrais em trechos mais vulneráveis. Esse tipo de estudo serve de base para novas políticas públicas em áreas de futura urbanização e ocupação, dando maior atenção a fim de mitigar e evitar impactos futuros.

Quanto as ações a serem adotadas, as soluções imediatistas são as mais utilizadas para lidar com questões climáticas nas regiões costeiras, e estas tendem a ser as soluções menos eficientes e traz a importância de que tais questões passem a ser analisadas sob a ótica de longo prazo pelas cidades, visto que os impactos costeiros tendem a se tornar mais frequentes e prováveis.

Estudos que busquem a análise e compreensão dos ambientes costeiros são muito necessários vistos os cenários previstos em decorrência das mudanças climáticas e conseqüentemente elevação do nível dos oceanos, assim como o processo de desenvolvimento urbano e industrial. E podem ser realizados de forma expedita com dados de sensoriamento remoto e auxiliar na gestão costeira local.

VII REFERÊNCIAS

Albino, J. Coelho, A. L. N. Girardi, G. Nascimento, K. A. 2006. Panorama da erosão costeira no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

Albino, J. Ghisolfi, R. D. Teixeira, J. B. Bastos, A. C. Oliveira, L. A. K. Passos, M. M. Contti Neto, N. 2010. Vulnerabilidade Natural Costeira segundo critérios de Geologia, Geomorfologia e Oceanografia Física. Zoneamento Ecológico e Econômico do Espírito Santo. Costeiro. IEMA. UFLA, UFES, IJSN.

Albino, J., Neto, N.C., Oliveira, T.C.A. 2016. The beaches of Espírito Santo. In: SHORT, A.D., KLEIN A.H. da F. Brazilian Beach Systems. Volume 17. Coastal Research Library. Springer. P. 333-362.

Albino, J. Pasolini, A. Moura, M. G. Sardenberg, E. R., Coelho, B. A. 2006. Erosão e estado morfodinâmico da praia central de Marataízes, sul do Espírito Santo. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos, métodos e técnicas. Goiânia.

Albino, J. Paiva, D. de S. Modolo, G. V. M. 2001. Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do Espírito Santo, Brasil. Geografares n.2, CCHN-UFES, Vitória.

ALMEIDA, E.R.S de. Estado morfodinâmico da Praia Central de Marataízes, ES. 2006. 56 p. Monografia (Bacharel em oceanografia) – UFES, Vitória.

Anfuso, G. Del Pozo, J. A. M. 2009. Assessment of Coastal Vulnerability Through the Use of GIS Tools in South Sicily (Italy). Environmental Management. V.43, 533 – 545. DOI: 10.1007/s00267-008-9238-8.

ANTAQ. 2009. Subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas. Relatório Final, Tomo 1. Maio/2019. Revisão 01.

Araújo, R. S. Silva, G. V. Freitas, D. Klein, A. H. F. 2008. Georreferenciamento de Fotografias Aéreas e Análise da Variação da Linha de Costa. In: Alcântara Carrió, J. (ed). Metodologías en Teledetección aplicada a la Prevención de Amenazas Naturales en el Litoral. Universidad Católica de Valencia, Espanha.

Bird, E. C. F. 2008. Coastal geomorphology: an introduction. 2 ed. Wiley.

Boak, E.H. and Turner, I.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 688–703. ISSN 0749-0208.

Boateng, I. 2012. GIS assessment of coastal vulnerability to climate change and coastal adaption planning in Vietnam. *Journal of Coastal Conservation*. 16, 25–36. DOI 10.1007/s11852-011-0165-0.

Bonetti, J. e Woodroffe, C. D. 2017. Spatial Analysis on GIS for Coastal Vulnerability Assessment. In: Bartlett, D. & Celliers, L. (eds.). *Geoinformatics for Marine and Coastal Management*. Chapter 16. CRC Press, Boca Raton, p. 367-396. DOI: 10.1201/9781315181523-17.

Burningham, H. French, J. 2017. Understanding coastal change using shoreline trend analysis supported by cluster-based segmentation. *Geomorphology*. V.282, 131 – 149. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.12.029.

Bush, D. M., Neal, W. J., Young, R. S. and Pilkey, O. H. 1999. Utilization of geoinicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. *Ocean and Coastal Management*, 42: 647–670.

Cardona, O. D. 2003. The need of rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: A necessary review and criticism for effective risk management. In: Bankoff, G., Frerks, G. and Hilhorst, D. (Eds.). *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*. Earthscan Publishers, London.

Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, 2013: Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Darke, I.B., Walker, I.J., Hesp, P.A. 2016. Beach-dune sediment budgets and dune 995 morphodynamics following coastal dune restoration, Wickanninish Dunes, 996 Canada. *Earth surface processes and landforms*, 41(10): 1370 – 1385.

Devine, N. P. 1992. Urban Vulnerability to Sea-Level Rise in the Third World. M.S. Thesis, Rutgers, The State University of New Jersey, New Brunswick, NJ.

Dwarakish, G. S. Vinay, S. A. Natesan, U. Asano, T. Kakinuma, T. Venkataramana, K. Pai, B. J. Babita, M. K. 2009. Coastal vulnerability assessment of the future sea level rise in Udupi coastal zone of Karnataka state, west coast of India. *Ocean and Coastal Management*. V.52, 467 – 478.

Eguchi, B. M. M. Albino, J. 2018. Bluff retreat by wave action on a tropical beach, In espírito santo, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*. 36(4):569-580. ISSN 0102-261X.

Elfrink, B. Acetta, D. Mangor, K. 2006. INNOVATIVE SHORELINE PROTECTION SCHEME FOR THE CITY OF MARATAÍZES, ESPÍRITO SANTO, BRAZIL. In: International Conference on Coastal Engineering. Clearware, Florida, USA.

Filgueiras, G. D. L. Mobilidade da linha de costa do litoral de Marataízes-ES nas últimas décadas. 2017. 68 p. Monografia (Bacharel em oceanografia) – UFES, Vitória.

Girardi, G. Cometti, R. de S. 2006. Dinâmica do uso e ocupação do solo no litoral sul do estado do Espírito Santo, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, n. 13, p. 51-73.

Gornitz, V., 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. *Global Planetary Change*. V.4, 379-398. DOI: 10.1016/0921-8181(91)90118-G.

Hallermeier, R.J.1981. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *CoastalEngineering*, 4, 1981, p.253-277.

Hereher, M. 2013. Coastal vulnerability assessment of Egypt's Mediterranean coast. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. V.6, 342-355. DOI:10.1080/19475705.2013.845115.

Hereher, M.E.. 2015. Assessment of South Sinai coastal vulnerability to climate change. *Journal of Coastal Research*, V.31(6), 1469–1477. ISSN 0749-0208.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2014). Produto Interno Bruto dos Municípios 2010 – 2014. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2014/default_xls.shtm>.

Klumb-Oliveira, L. A. Albino, J., Filguerias, G. D. L. 2020, prelo. Processos costeiros associados às variações oceanográficas em diferentes escalas: Estudo de caso do litoral de Maratáizes, ES. In: SOUTO, R. D. *Gestão Ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: Conceitos e práticas*. Volume 1. Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável.

Klein, R. Nicholls, R. 1999. Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*. V.28(2), 182–187.

Kumar, T. S. Mahendra, R. S. Nayak, S. Radhakrishnan, K. Sahu, K. C. 2010. Coastal vulnerability assessment for Orissa State, East Coast of India. *Journal of Coastal Research*. V.26(3), 523– 534.OI: 10.2112/09-1186.1.

Lins-de-Barros, F.; Muehe, D. 2011 - The smartline approach to coastal vulnerability and social risk assessment applied to a segment of the east coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, 2011:1-13. DOI: 10.1007/s11852-011-0175-y

Loinenak, F.A. Hartoko, A. Muskaananfola, M.R. 2015. Mapping of coastal vulnerability using the coastal vulnerability index and geographic information system. *International Journal of Technology*. V.5, 819-827. ISSN 2086-9614.

Maia, L. X. Tipologia local e perfil de equilíbrio das praias de Maratáizes-ES. 2018. 77 p. Monografia (Bacharel em oceanografia) – UFES, Vitória.

Martin, L. Suguio, K. Flexor, J. M. Arcanjo, J. D. 1996. Coastal Quaternary formations of the southern part of the State of Espírito Santo (Brazil). *Academia Brasileira de Ciências*. V.68, 389-404.

Mather, A.; Stretch, D.; Garland, G. 2011. Predicting extreme wave run-up on natural beaches for coastal planning and management. *Coastal Engineering*, v. 53, n. 2, p. 87–109.

Matos, M. de F. A. Amaro, V. E. Fortes, C. J. SCUDELARI, A. C. 2014. Interação entre ondas oceânicas e fundo marinho: Resultados na plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geomorfologia* V.15, 371-391. ISSN 2236-5664.

McFadden, L. and Green, C. 2007. Defining ‘vulnerability’: Conflicts, complexities and implications for coastal zone management. *Journal of Coastal Research*, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium): 120–124.

McLaughlin, S. and Cooper, J. A. G. 2010. A multi-scale vulnerability index: A tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, 9: 233–248.

McLean, R. Tsyban, A. Burkett, V. Codignotto, J. O. Forbes, D. L. Mimura, N. Beamish, R. J. Ittekkot, V. 2001. Coastal zone and marine ecosystems. In: McCarthy, J. J. Canziani, O. F. Leary, N. A. Dokken, D. J. White, K. S. (Eds.), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, pp.343–380.

Mir-Gual, M. and Pons, G.X. 2016. The presence of foredune strip as key factor for the integral beach-dune system conservation. In: Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and McCarroll, R.J. (eds.), *Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia)*. *Journal of Coastal Research, Special Issue, No. 75*, pp. 313- 317. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

Muehe, D. Oliveira, L. K. 2014. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. *Quaternary and Environmental Geosciences*. V.05(2), 121-124.

Muler, M. and Bonetti, J. 2014. An integrated approach to assess wave exposure in coastal areas for vulnerability analysis. *Marine Geodesy*, 37(2): 220–237.

Neto, N.C. Vulnerabilidade geológica da planície costeira de Presidente Kennedy, ES. 2010. 108 p. Monografia (Bacharel em oceanografia) – UFES, Vitória.

Neto, N.C. Deriva litorânea e evolução da linha de costa no sul do Espírito Santo (Brasil). 2013. 128 p. Dissertação (Mestre em Ciências) – Programa de Pós-graduação em oceanografia, USP, São Paulo.

Neto, N. C. Albino, J. Coelho, A. L. N. 2011. Geomorphology of Rio Itabapoana coastal plain (Espírito Santo, Brazil) and application to its

vulnerability. In: XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA. Armação de Búzios.

Nicholls, R. J. 1995. Coastal megacities and climate change. *Geojournal*. V.37(3), 369–379.

Nicholls, R. J. Lowe, J. A. 2004. Benefits of mitigation of climate change for coastal areas. *Global Environmental Change*. V.14(3), 229–244. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2004.04.005.

Oliveira, T. C. A.; Albino, J.; Venancio, I. 2015. Transporte longitudinal de sedimentos no litoral da planície deltaica do Rio Doce. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 6, n. 1, p. 20–25.

Ozyurt, G. Ergin, A. 2010. Improving coastal vulnerability assessments to sea-level rise: a new indicator-based methodology for decision makers. *Journal of Coastal Research*. V.26(2), 265–273. DOI: 10.2112/08-1055.1.

Padilla-Hernández, R. Monbaliu, J. 2001. Energy balance of wind waves as a function of the bottom friction formulation. *Coastal Engineering*. V.43, 131-148. DOI: 10.1016/S0378-3839(01)00010-2.

Pasolini, A. Análise morfodinâmica da praia de Marataízes frente a um possível processo de engordamento artificial. 2005. 60 p. Monografia (Bacharel em oceanografia) – UFES, Vitória.

Pantusa, D. D'Alessandro, F. Riefolo, L. Principato, F. Tomasicchio, G. R. 2018. Application of a coastal Vulnerability Index. A case study along the Apulian coastline, Italy. *Water*. V.10(9):1218. DOI: 10.3390/w10091218.

Pendleton, E.A. Thieler, E.R. and Williams, S.J. 2005. Coastal Vulnerability Assessment of Golden Gate National Recreation Area to Sea-Level Rise. U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1058 p.27.

Pianca, C.; Mazzini, P. L. F.; Siegle, E. 2010. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 58, n. 1, p. 53–70.

PORTO CENTRAL. <<http://www.portocentral.com.br>>.

Projeto orla: fundamentos para gestão integrada / Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. – Brasília: MMA, 74 p. 2006.

Ramieri, E. Hartley, A. Barbanti, A. Santos, F. D. Gomes, A. Hilden, M. Laihonon, P. Marinova, N. e Santini, M. 2011. Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. ETC CCA Technical Paper 1/2011. European Topic Centre on Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation, Bologna, Italy.

Roelvink, D.; Reniers, A.; Van Dongeren, A.; Van Thiel De Vries, J.; McCall, R.; Lescinski, J. 2009. Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, v. 56, n. 11–12, p. 1133–1152. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006>>.

Sanders, B. F. 2007. Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Advances in Water Resources*. V.30:1831–1843. DOI: 10.1016/j.advwatres.2007.02.005.

Santos, L. Classificação do litoral de Marataízes, Espírito Santo, quanto à vulnerabilidade erosiva. 2005. 143 p. Monografia (Bacharel em oceanografia) – UFES, Vitória.

Serafim, M. B. Siegle, E. Corsi, A. C. Bonetti, J. 2019. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). *Journal of Environment Management*. V.230, 21-32. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.09.052.

Sharples, C. Mount, R. Pedersen, T. Lacey, M. Newton, J. Jaskierniak, D. Wallace, L. 2009. The Australian coastal smartline geomorphic and stability map version 1: project report. Prepared for Geoscience Australia and the Department of Climate Change by the School of Geography and Environmental Studies, University of Tasmania. Hobart.

Shemdin, O. Hasselmann, K. Hsiao, S. V. Herterich, K. 1978. Nonlinear and Linear Bottom Interaction Effects in Shallow Water. In: Favre, A. Hasselmann, K. (eds) *Turbulent Fluxes Through the Sea Surface, Wave Dynamics, and Prediction*. Springer, Boston, MA.

Smith, A., Mather, A., Guastella, L., Cooper, J.A.G., Ramsay, P.J., and Theron, A., 2010. Contrasting styles of swell-driven coastal erosion: examples from KwaZulu-Natal, South Africa. *Geological Magazine*, 147, 940-953.

Stockdon, H. F.; Holman, R. A.; Howd, P. A.; Sallenger, A. H. J. 2006. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, v. 53, p. 573–588.

Taubner Junior, F. J. Lima, V. S. Fileti, R. B. Zacché, V. B., Albino, J. 2013. Mapeamento Geomorfológico e Vulnerabilidade à Inundação de uma Vila Costeira no Espírito Santo. XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. *Uso e Ocupação da Terra e as Mudanças das Paisagens*. Vitória.

Thieler, E. R. Hammar-Klose, E. S. 2000. National assessment of coastal vulnerability to future sea-level rise: preliminary results for the U.S. Atlantic coast. U.S. Geological Survey, Open File Report. 99–593. 1 sheet.

Thieler, E.R. Himmelstoss, E.A. Zichichi, J.L. Miller, T.L. 2005. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-file Report.

Trombetta, T. B. Oleini, P. H. Lopes, B. V. Guimarães, R. C. Marques, W. C. Isoldi, L. A. 2018. Atenuação da Energia das Ondas sobre uma Rampa que atua

como Estrutura de Proteção Costeira na Plataforma Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.11, n.04 1303-1320. DOI: 10.26848/rbgf.v11.4.p1303-1320.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). 2009. *UNISDR Terminology on Disaster Reduction*. United Nations, Geneva, Switzerland.

Vafeidis, A. T., Nicholls, R. J., McFadden, L., Tol, R. S. J., Hinkel, J., Spencer, T., Grashoff, P. S. et al. 2008. A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, 24(4): 917–924.

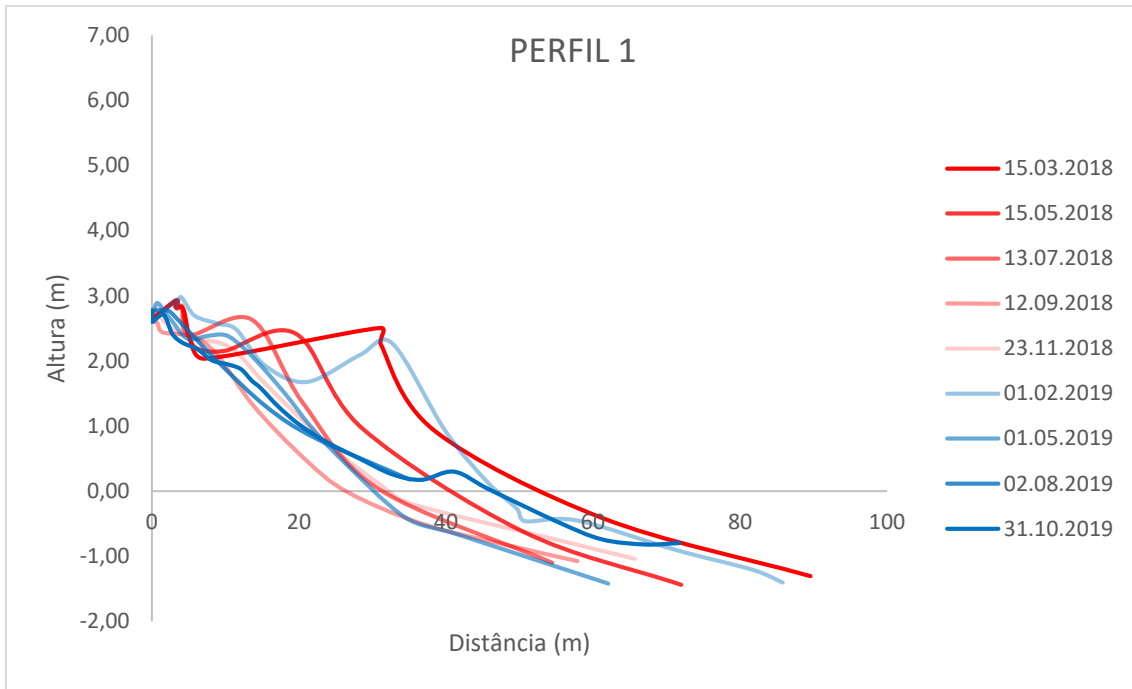
Venâncio, I. D. Aplicação de modelos de determinação de run-up em praias precedidas por terraço de abrasão. 2018. 37 p. Monografia (Bacharel em oceanografia) – UFES, Vitória.

Yin, J. Yin, Z. Wang J. Xu, S. 2012. National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese coast. *Journal of Coastal Conservation*. V.16(1):123–133. DOI: 10.1007/s11852-012-0180-9.

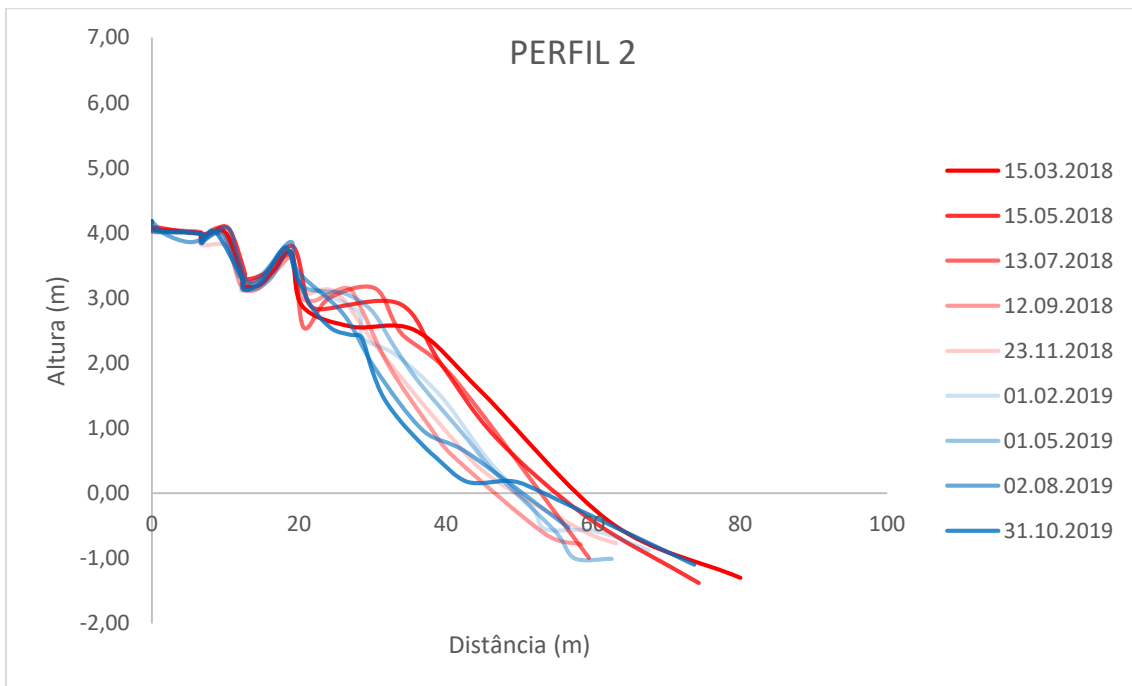
Wamsley, T. V., Collier, Z. A., Brodie, K., Dunkin, L. M., Raff, D. and Rosati, J. D. 2015. Guidance for developing coastal vulnerability metrics. *Journal of Coastal Research*, 31(6): 1521–1530.

Woodroffe, C. D. 2002. *Coasts: Form, Process, and Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

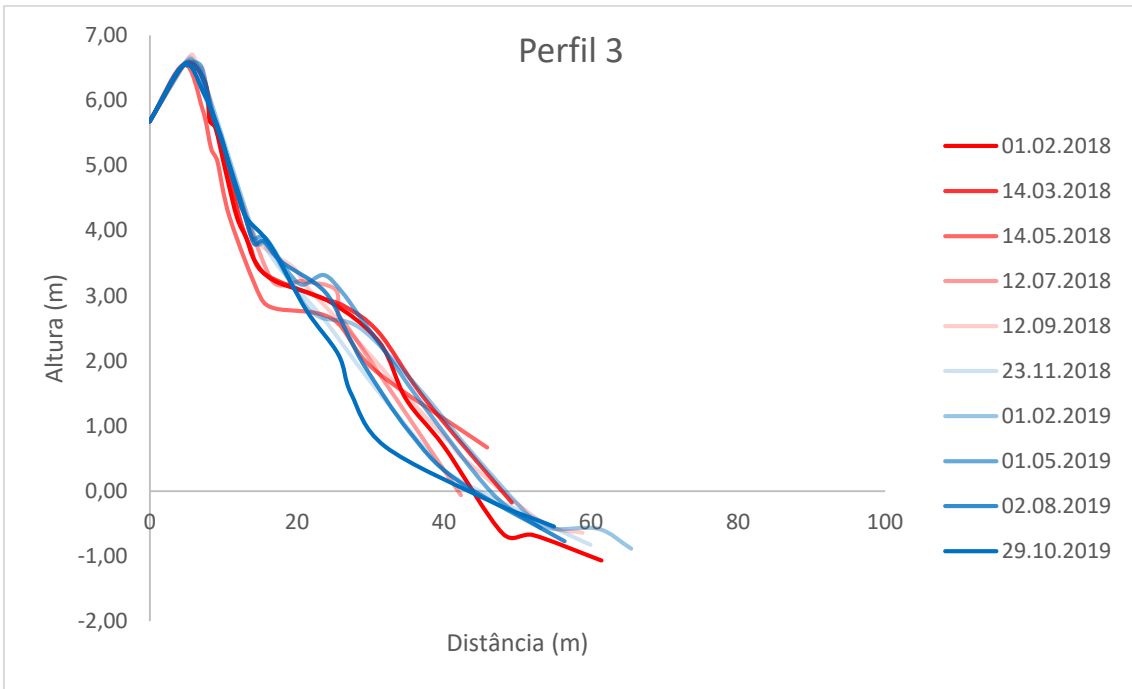
ANEXOS



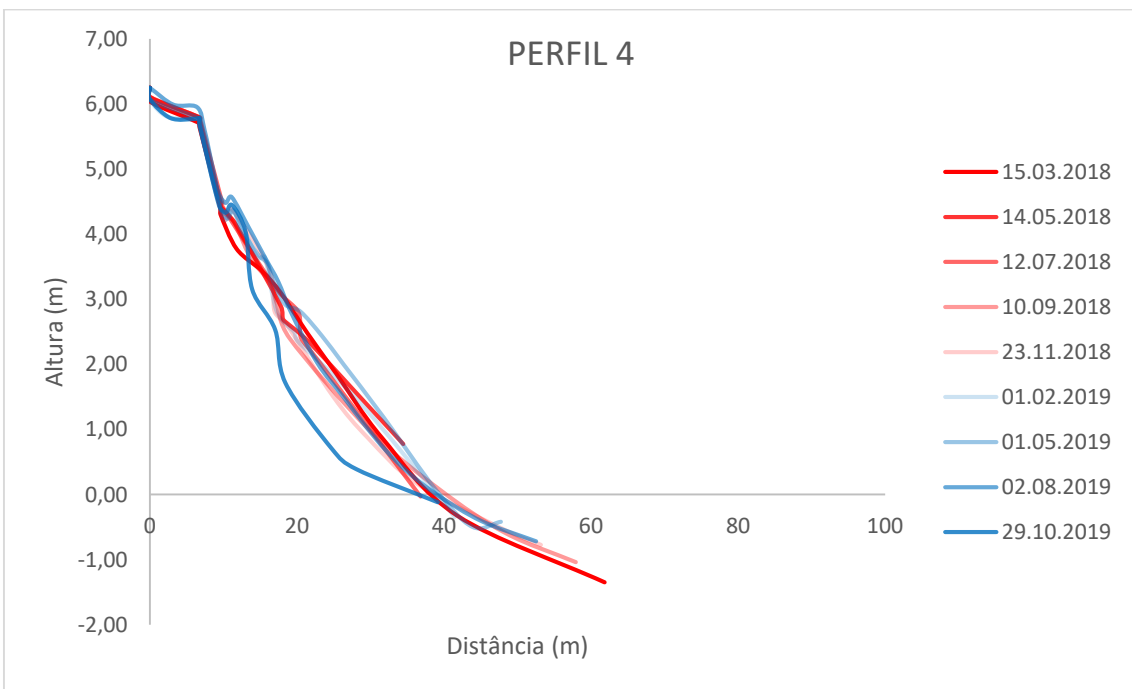
Anexo 1 - Perfis referente às 09 campanhas sobrepostos para o Perfil 1, na extremidade sul da área de levantamento.



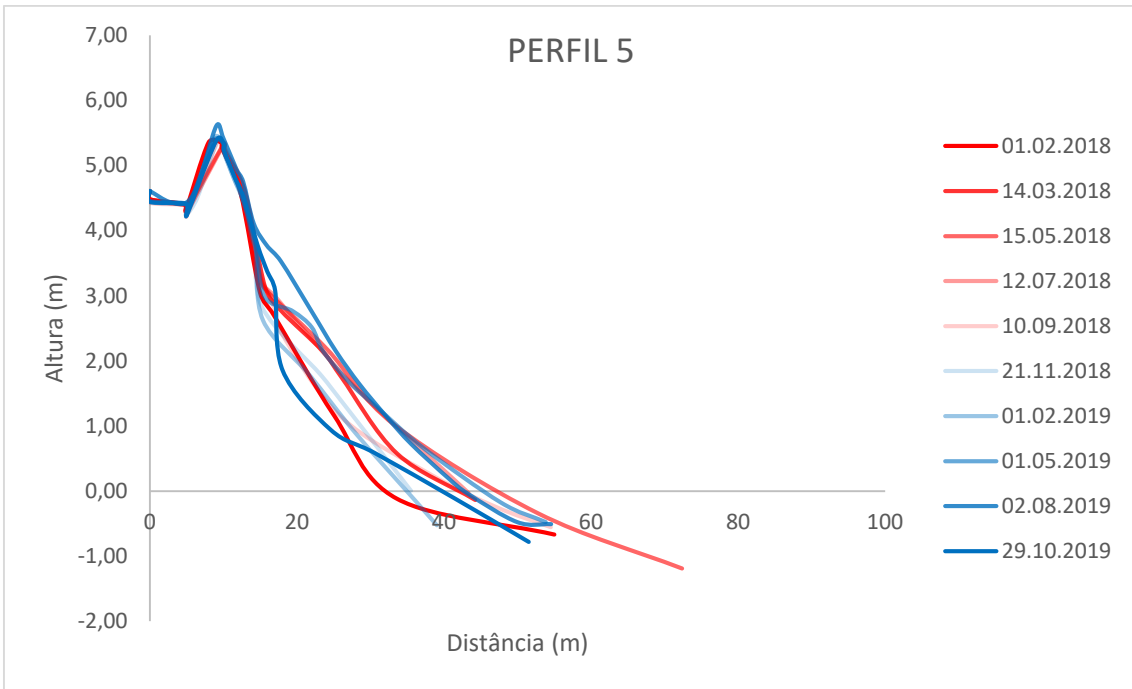
Anexo 2 - Perfis referente às 09 campanhas sobrepostos para o Perfil 2.



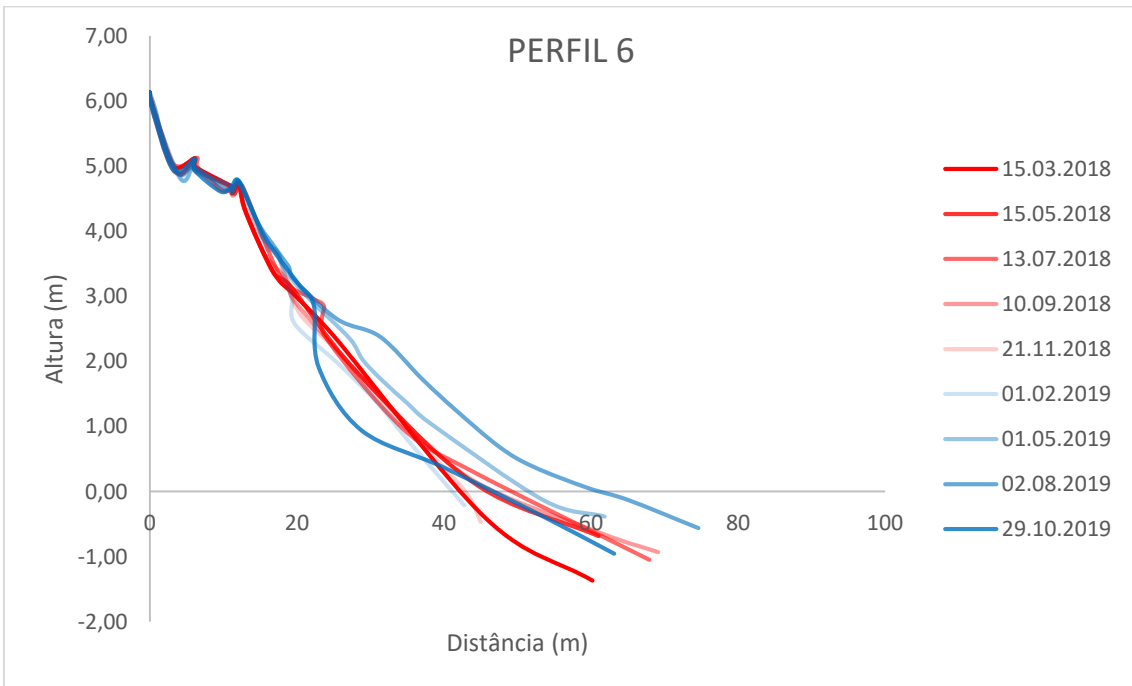
Anexo 3 - Perfis referente às 09 campanhas sobrepostos para o Perfil 3.



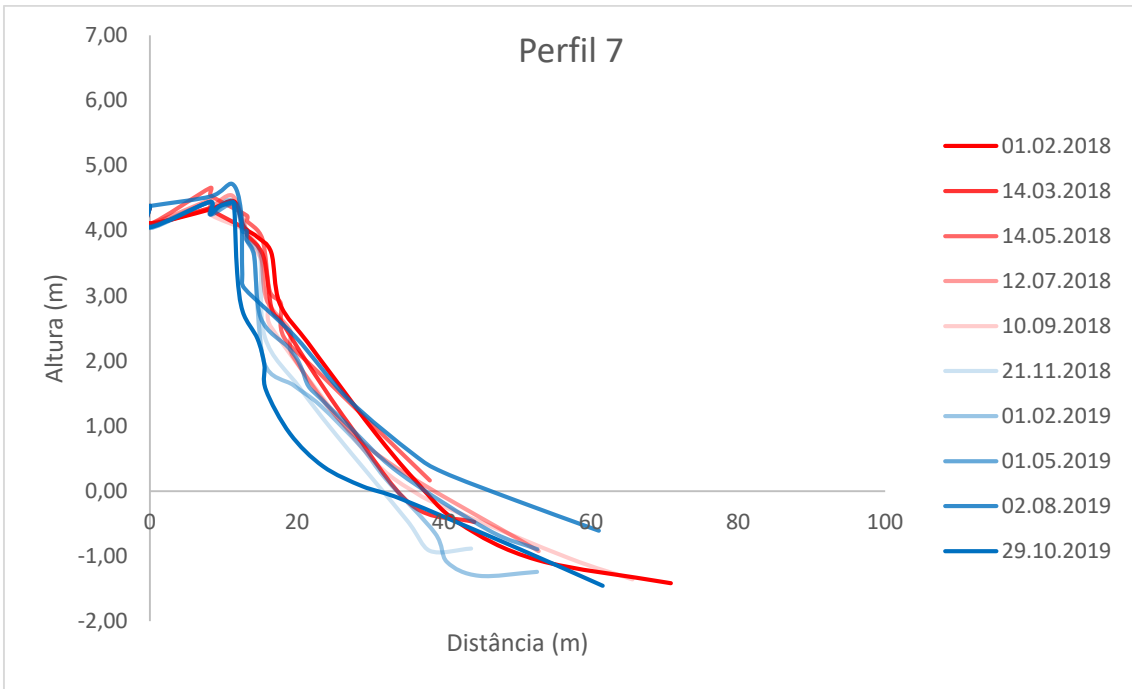
Anexo 4 - Perfis referente às 09 campanhas sobrepostos para o Perfil 4.



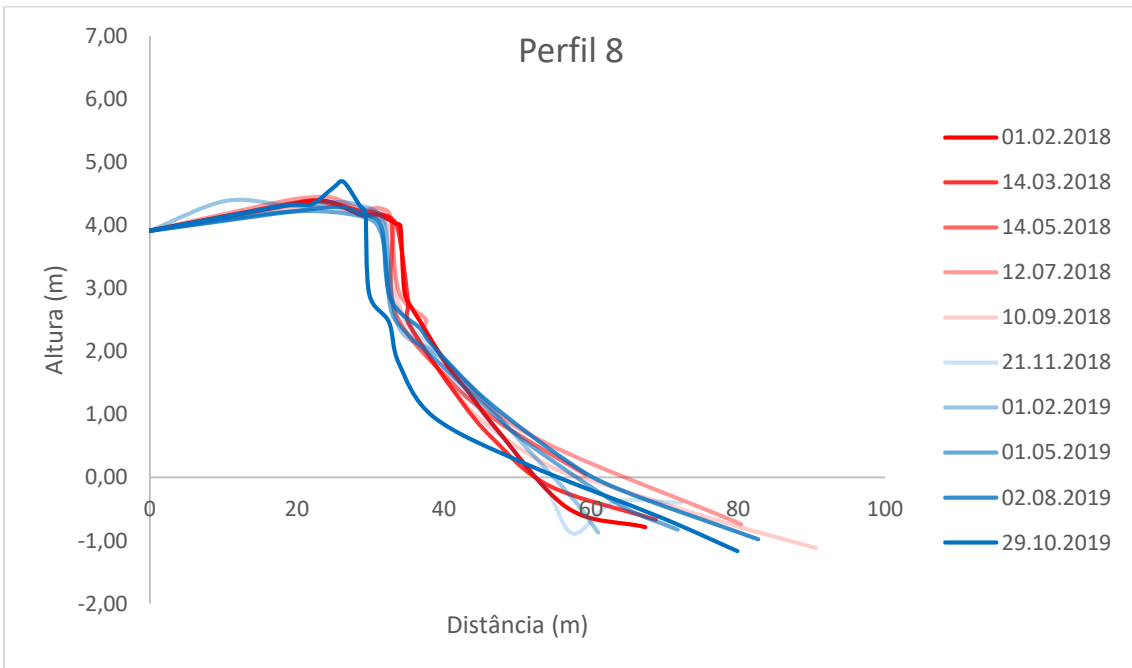
Anexo 5 - Perfis referente às 09 campanhas sobrepostos para o Perfil 5.



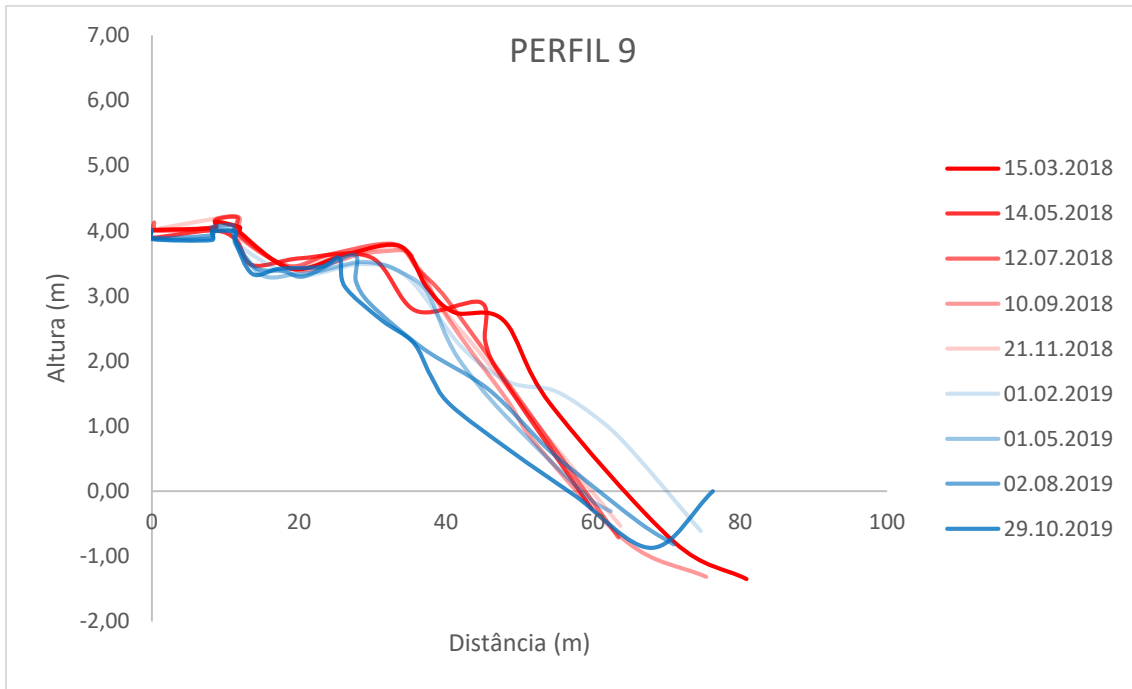
Anexo 6 - Perfis referente às 09 campanhas sobrepostos para o Perfil 6.



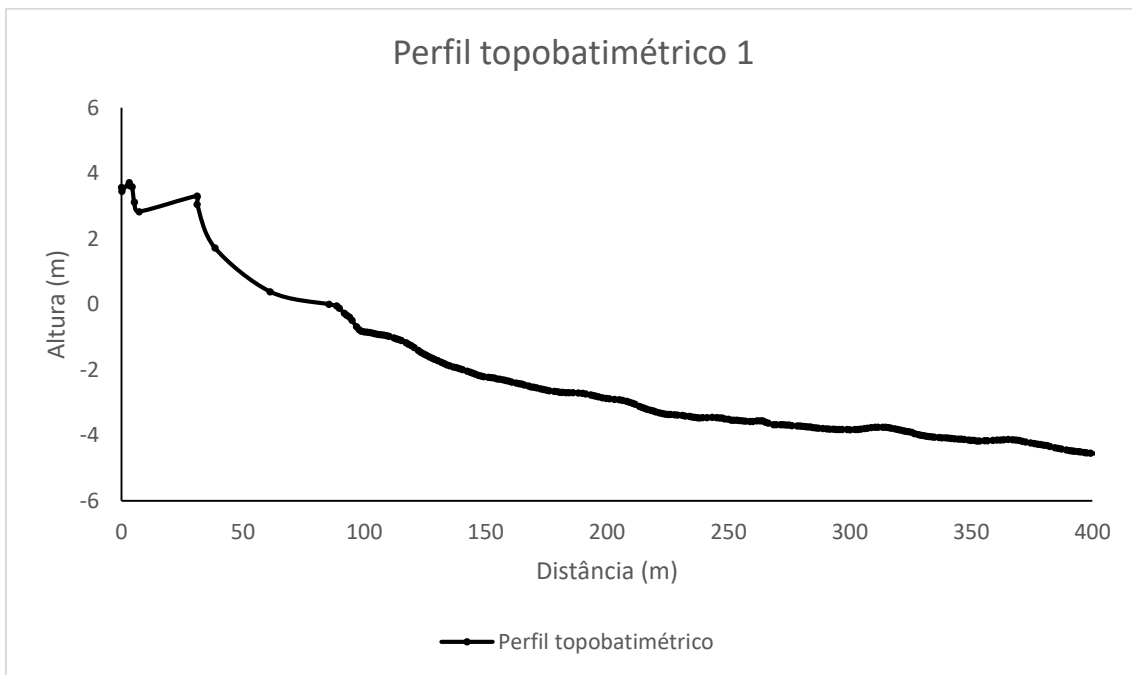
Anexo 7 - Perfis referente às 09 campanhas sobrepostos para o Perfil 7.



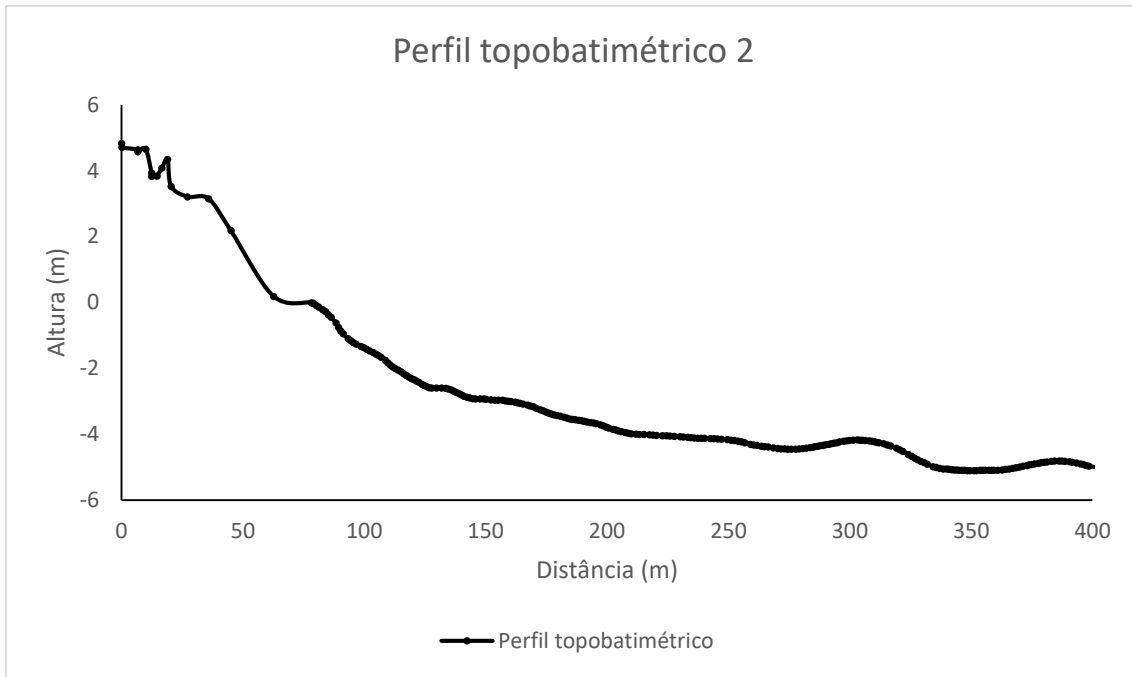
Anexo 8 - Perfis referente às 09 campanhas sobrepostos para o Perfil 8.



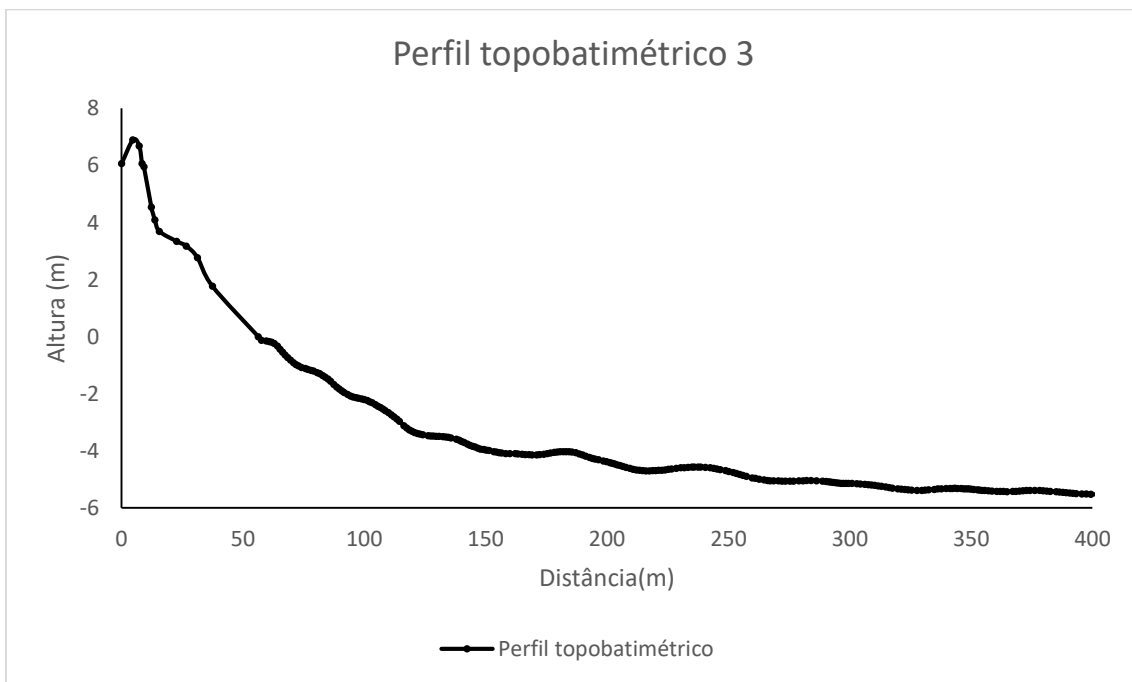
Anexo 9 - Perfis referente às 09 campanhas sobrepostos para o Perfil 9, na extremidade norte da área de levantamento.



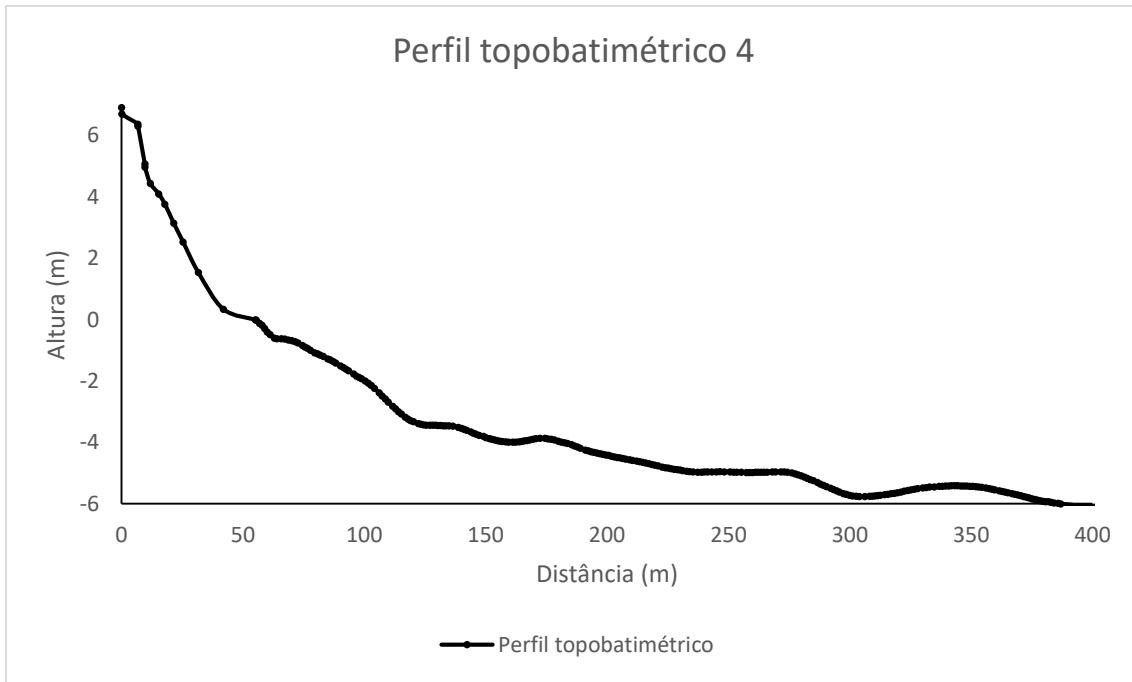
Anexo 10 – Perfil topobatimétrico 1 referente à campanha de março de 2018, na extremidade sul da área de levantamento. Fonte: Modificado de Maia (2018).



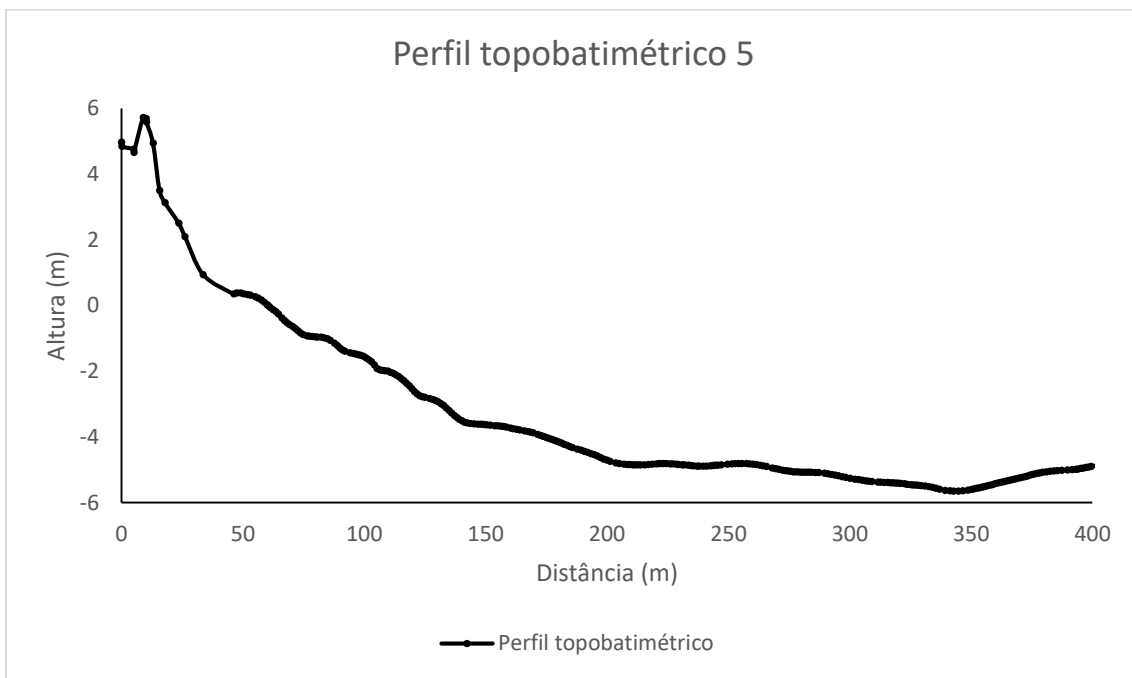
Anexo 11 – Perfil topobatimétrico 2 referente à campanha de março de 2018. Fonte: Modificado de Maia (2018).



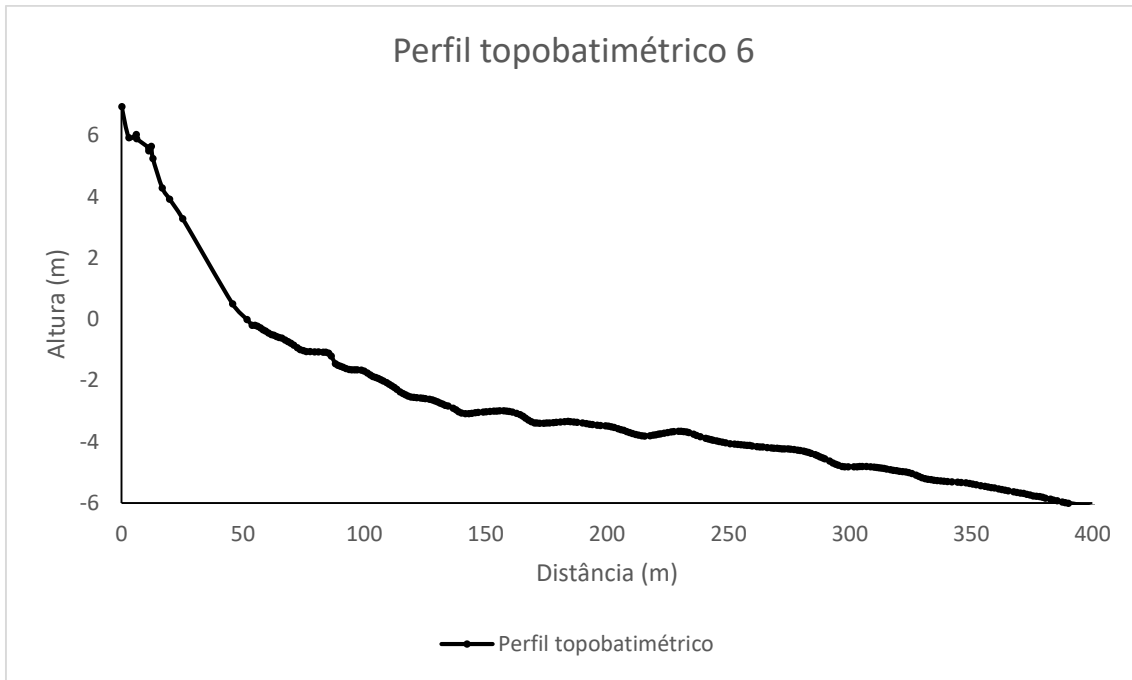
Anexo 12 – Perfil topobatimétrico 3 referente à campanha de março de 2018. Fonte: Modificado de Maia (2018).



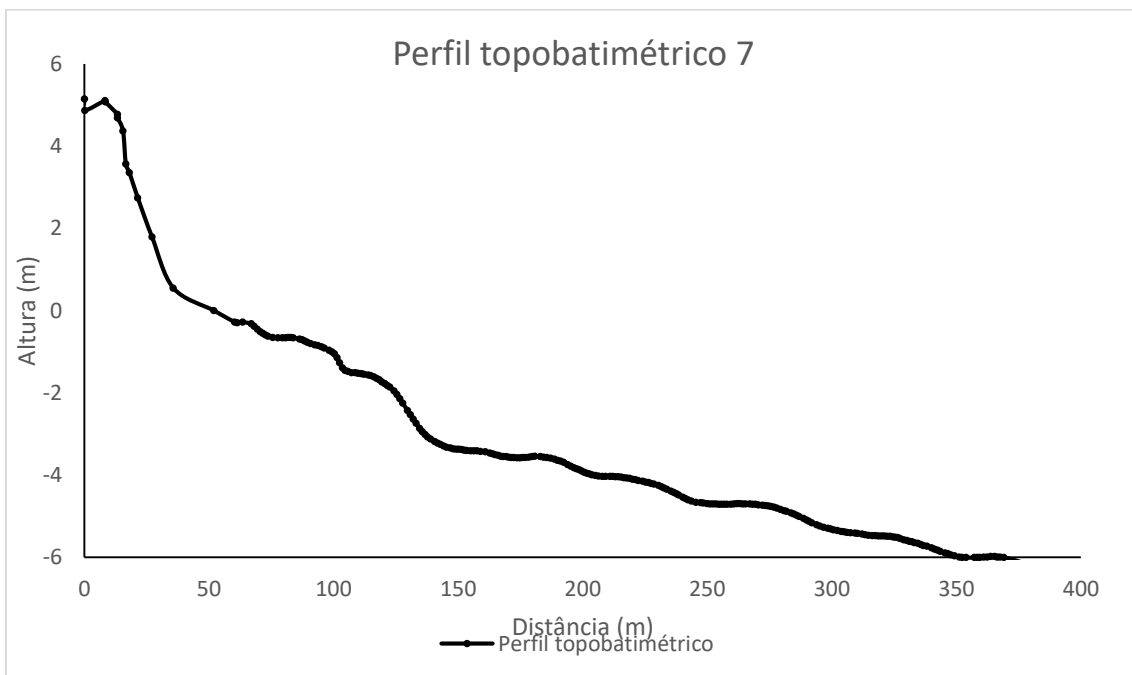
Anexo 13 – Perfil topobatimétrico 3 referente à campanha de março de 2018. Fonte: Modificado de Maia (2018).



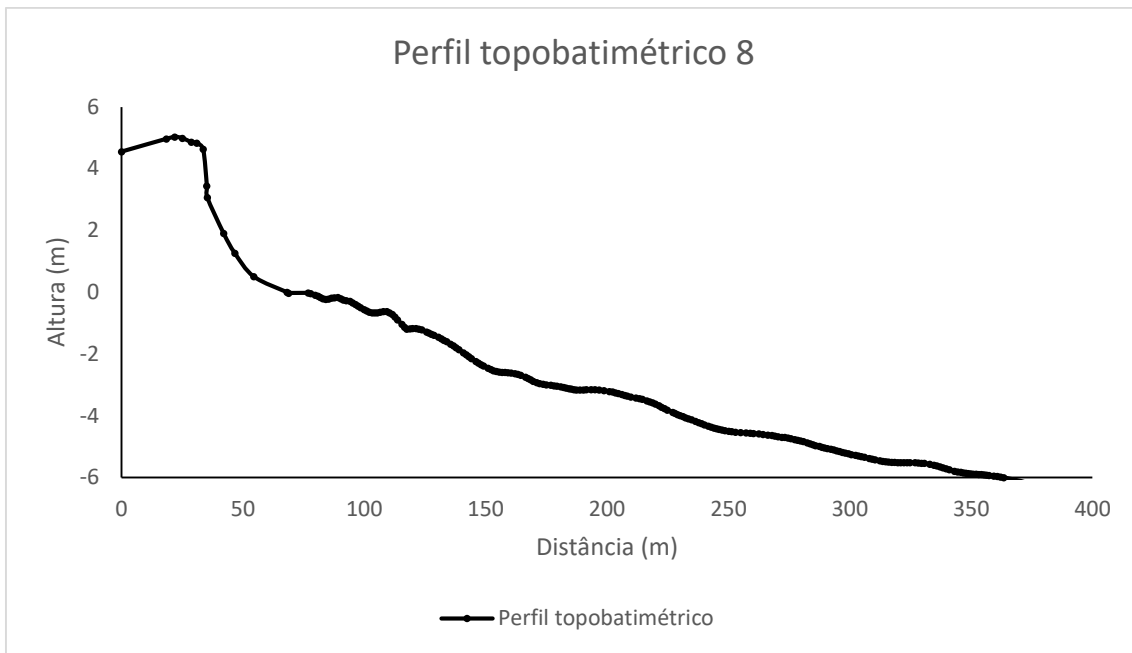
Anexo 14 – Perfil topobatimétrico 5 referente à campanha de março de 2018. Fonte: Modificado de Maia (2018).



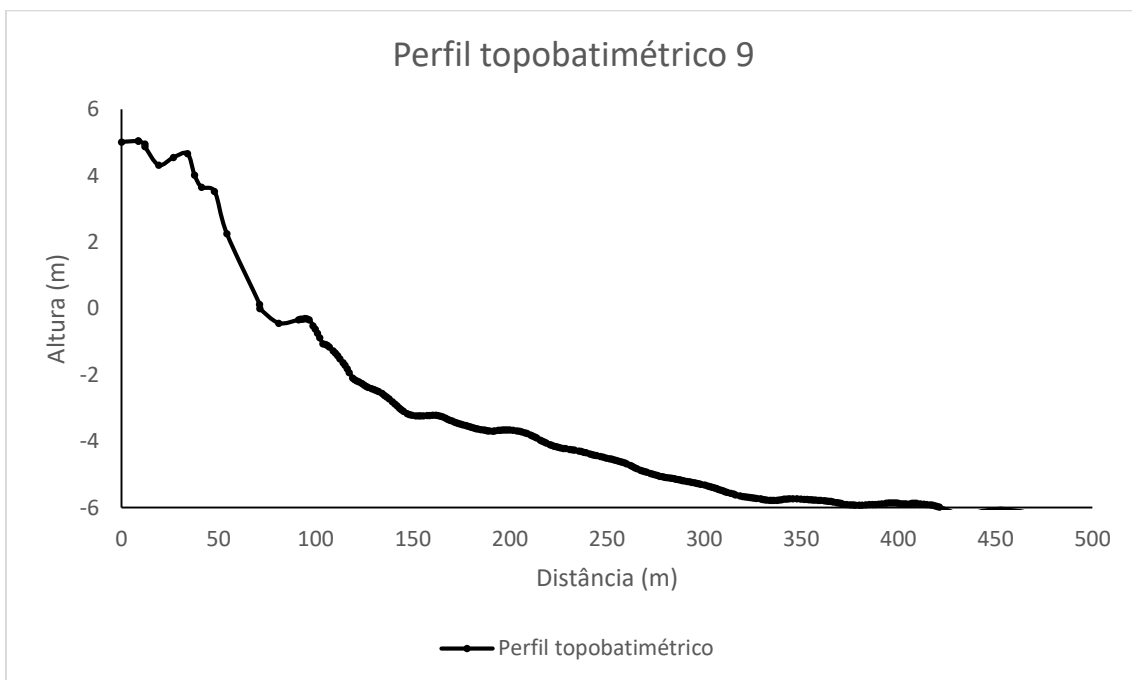
Anexo 15 – Perfil topobatimétrico 6 referente à campanha de março de 2018. Fonte: Modificado de Maia (2018).



Anexo 16 – Perfil topobatimétrico 7 referente à campanha de março de 2018. Fonte: Modificado de Maia (2018).



Anexo 17 – Perfil topobatimétrico 8 referente à campanha de março de 2018. Fonte: Modificado de Maia (2018).



Anexo 18 - Perfil topobatimétrico 8 referente à campanha de março de 2018, na extremidade norte da área de levantamento. Fonte: Modificado de Maia (2018).