



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

UYARA PAHINS COELHO

**RELAÇÃO ENTRE SEDIMENTOLOGIA DAS AREIAS  
E GRADIENTE DA FACE PRAIAL: IMPLICAÇÕES  
SOBRE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO DE  
PRAIAS EXPOSTAS SOB INFLUÊNCIA FLUVIAL**

VITÓRIA

2020



UYARA PAHINS COELHO

# **RELAÇÃO ENTRE SEDIMENTOLOGIA DAS AREIAS E GRADIENTE DA FACE PRAIAL: IMPLICAÇÕES SOBRE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO DE PRAIAS EXPOSTAS SOB INFLUÊNCIA FLUVIAL**

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.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Jacqueline Albino

VITÓRIA

2020



UYARA PAHINS COELHO

**RELAÇÃO ENTRE SEDIMENTOLOGIA DAS AREIAS  
E GRADIENTE DA FACE PRAIAL: IMPLICAÇÕES  
SOBRE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO DE  
PRAIAS EXPOSTAS SOB INFLUÊNCIA FLUVIAL**

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<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Jacqueline Albino – Orientadora  
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES

---

Prof. Dr. Dieter Carl Ernst Heino Muehe – Examinador Externo  
Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ

---

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto – Examinador Externo  
Universidade Federal do Pará/UFPA



## RESUMO

O presente trabalho objetiva-se em determinar a atuação da sedimentologia e o gradiente da face praial sobre os processos de inundação das praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho, localizadas ao sul da desembocadura do rio Doce, no município de Regência (ES), que apresentam alto grau de exposição às ondas incidentes e diferentes características morfodinâmicas em resposta ao aporte fluvial. Os resultados encontrados nos descrevem praias com sedimentos grossos, gradientes acentuados e características que classificam seu estado morfodinâmico como intermediário, no caso de Regência e Comboios, e tipicamente refletivo em Barra do Riacho. É observado que as diferentes tipologias e o potencial de inundação estão diretamente relacionados a proximidade da desembocadura. A praia de Regência, mais próxima a desembocadura, apresenta maior potencial de inundação devido a presença de sedimentos mais finos e gradientes menos acentuados, por sua vez, as praias de Comboios e Barra do Riacho, mais distante da desembocadura e com alto grau de exposição, apresentam areias grossas e altas declividades, onde se observam praias mais refletivas e sem potencial de inundação. Desta forma, diferente do que é esperado para praias próximas a desembocaduras fluviais com elevado aporte de minerais pesados, a granulometria e não a composição dos sedimentos destas praias atua na determinação da construção do perfil praial, em função da morfodinâmica associada ao alto grau de exposição destas praias. Portanto, aportes fluviais em costas muito expostas distribuem a sedimentação devido a ação das ondas, de modo que a carga fina pode ser incorporada ao litoral por outros processos costeiros como deriva litorânea, concluindo-se que praias expostas e de alta energia apresentam perfis construtivos e características refletivas independente da carga fina trazida pelo aporte fluvial.

**Palavras-chaves:** praias expostas; sedimentologia; gradiente praial; influência fluvial; inundação.



## ABSTRACT

*This work aims to determine the role of sedimentology and the gradient of the beach face on the flooding processes of Regência, Comboios and Barra do Riacho's beaches, located south of the mouth of the Doce River, in the municipality of Regência (ES), which present a high degree of exposure to incident waves and different morphodynamic characteristics in response to fluvial input. The results found describe beaches with thick sediments, steep gradients and characteristics that classify their morphodynamic state as intermediate, in the case of Regência e Comboios, and typically reflective in Barra do Riacho. It is observed that the different typologies and the flood potential are directly related to the proximity of the mouth. The Regência beach, closest to the mouth, has a greater potential for flooding due to the presence of finer sediments and less accentuated gradients, in turn, the beaches of Comboios and Barra do Riacho, further from the river mouth and with a high degree of exposure, present thick sands and high slopes, where more reflective beaches are observed and without potential for flooding. In this way, different from what is expected for beaches close to river mouths with a high supply of heavy minerals, the granulometry and not the composition of the sediments of these beaches acts in determining the construction of the beach profile, due to the morphodynamics associated with the high degree of exposure of these beaches. Therefore, fluvial inputs on many exposed coasts distribute sedimentation due to the action of the waves, so that the thin load can be incorporated to the coast by other coastal processes such as coastal drift, concluding that exposed and high energy beaches have constructive profiles and reflective characteristics independent of the thin load brought by the river supply.*

**Key-words:** *exposed beaches; sedimentology; beach gradient; river influence; inundation.*



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de equilíbrio entre estado da praia e valor médio de $\omega$ (WRIGHT <i>et al.</i> , 1985). Fonte Calliari <i>et al.</i> (2003). .....	23
Tabela 2 - Fórmulas para o cálculo do run-up.....	24
Tabela 3 - Localização aproximada das Estações amostrais do monitoramento do sistema praial. Coordenadas em UTM (Universal Transverse Mercator System; UTM 0,1km 24k). .....	26
Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson (r) e raiz do erro médio quadrático (RMSE) para os parâmetros altura significativa ( $H_s$ ), período ( $T_p$ ) e direção de propagação das ondas ( $\theta$ ), correspondentes ao período de 31/10/2018 à 31/07/2019.....	30
Tabela 5 - Gráficos dos parâmetros de onda, $H_s$ e $T_p$ , ao longo dos 3, 7 e 15 dias que se antecederam a primeira campanha, realizada entre 21 e 30 de setembro de 2018. ....	32
Tabela 6 - Gráficos dos parâmetros de onda, $H_s$ e $T_p$ , ao longo dos 3, 7 e 15 dias que se antecederam a segunda campanha, realizada entre 01 e 11 de dezembro de 2018. ....	33
Tabela 7 - Gráficos dos parâmetros de onda, $H_s$ e $T_p$ , ao longo dos 3, 7 e 15 dias que se antecederam a terceira campanha, realizada entre 01 e 10 de abril de 2019.....	33
Tabela 8 - Gráficos dos parâmetros de onda, $H_s$ e $T_p$ , ao longo dos 3, 7 e 15 dias que se antecederam a quarta campanha, realizada entre 09 e 14 de julho de 2019.....	34
Tabela 9 - Diâmetro médio, desvio padrão e grau de seleção dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.....	48
Tabela 10 – Composição granulométrica das areias (WENTWORTH, 1922) e teor de minerais pesados dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.....	48
Tabela 11 - Declividade da face praial observada nos monitoramentos feitos em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019, em Regência.....	49
Tabela 12 - Diâmetro médio, desvio padrão e grau de seleção dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019. ....	49
Tabela 13 - Composição granulométrica das areias (WENTWORTH, 1922) e teor de minerais pesados dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.....	50
Tabela 14 - Declividade da face praial observada nos monitoramentos feitos em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019, em Comboios. ....	50

Tabela 15 - Diâmetro médio, desvio padrão e grau de seleção dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.....	51
Tabela 16 - Composição granulométrica das areias (WENTWORTH, 1922) e teor de minerais pesados dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.....	51
Tabela 17 - Declividade da face praial observada nos monitoramentos feitos em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019, em Barra do Riacho.....	52
Tabela 15 - Classificação da praia de Regência quanto ao seu estado morfodinâmico, segundo Wright <i>et al.</i> , 1985.....	55
Tabela 16 - Relação entre espraiamento máximo (eixo y do perfil) e altura da berma na praia de Regência. ....	55
Tabela 17 - Classificação da praia de Comboios quanto ao seu estado morfodinâmico, segundo Wright <i>et al.</i> , 1985.....	56
Tabela 18 - Relação entre espraiamento máximo (eixo y do perfil) e altura da berma na praia de Comboios.....	56
Tabela 19 - Classificação da praia de Barra do Riacho quanto ao seu estado morfodinâmico, segundo Wright <i>et al.</i> , 1985.....	57
Tabela 20 - Relação entre espraiamento máximo (eixo y do perfil) e altura da berma na praia de Barra do Riacho.....	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem da área de estudo evidenciando os pontos onde será realizado o monitoramento de praia.....	14
Figura 2 - Aspectos morfológicos da plataforma continental centro-norte do Espírito Santo. Fonte: Bastos <i>et al.</i> , 2015 modificado por Silva, 2017.....	16
Figura 3 - Representação da mudança sazonal nos terraços do rio Doce. Dados de perfis praias levantados mensalmente, janeiro de 1996 a janeiro de 1997. Fonte: Albino et al. (2016), adaptado. ....	17
Figura 4 - Divisão morfológica e hidrodinâmica do perfil praias. Fonte: Komar (1998), adaptado. ....	19
Figura 5 - Representação dos processos de estabilização da camada superficial de sedimentos da face e diminuição da camada limite no fluxo do espraiamento e a desestabilização da camada superficial de sedimentos da face e aumento da camada limite no refluxo do espraiamento. .	20
Figura 6 - Transporte de sedimentos na face praias gerado por correntes longitudinais. Fonte: Coleman (2001), modificado por Pasolini (2008). ....	21
Figura 7 - Célula de circulação litorânea com correntes transversais e longitudinais. Fonte: Silva <i>et al.</i> (2004). ....	22
Figura 8 - Pontos de monitoramento em Barra do Riacho, Comboios e Regência. ....	26
Figura 9 - Instrumentos utilizados no levantamento topobatimétrico. Base de GPS RTK instalada sobre marco geodésico para levantamento topográfico (à esquerda) e computador utilizado a bordo para coleta de dados batimétricos (à direita). ....	29
Figura 10 - Comparação entre os parâmetros altura significativa ( $H_s$ ), período ( $T_p$ ) e direção de propagação da onda ( $\theta$ ) obtidos por meio do modelo WW3 e medidos in situ por ADCP. Dados correspondentes ao período de 31/10/2018. ....	30
Figura 11 – Perfil topobatimétrico (a) e perfil da praia emersa (b) da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril de 2019. ....	36
Figura 12 - Teor de $\text{CaCO}_3$ (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.....	37
Figura 13 - Teor de minerais pesados (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019. ....	37



Figura 14 - Diâmetro médio do sedimento (em phi, $\phi$ ) encontrado em cada ponto amostral da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019. ....	38
Figura 15 – Perfil topobatimétrico (a) e perfil da praia emersa (b) da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril de 2019. ....	39
Figura 16 - Teor de CaCO <sub>3</sub> (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019. ....	40
Figura 17 - Teor de minerais pesados (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019. ....	40
Figura 18 - Diâmetro médio do sedimento (em phi, $\phi$ ) encontrado em cada ponto amostral da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019. ....	41
Figura 19 – Perfil topobatimétrico (a) e perfil da praia emersa (b) da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril de 2019. Em tracejada região onde não houve medição batimétrica. ....	42
Figura 20 – Teor de CaCO <sub>3</sub> (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019. ....	43
Figura 21 – Teor de minerais pesados (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019. ....	43
Figura 22 - Diâmetro médio do sedimento (em phi, $\phi$ ) encontrado em cada ponto amostral da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019. ....	44



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.2 OBJETIVOS .....	13
1.2.1 Geral .....	13
1.2.2 Específicos.....	13
<b>2. METODOLOGIA .....</b>	<b>14</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO .....	14
2.2 FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS .....	17
2.2.1 Definições e Terminologias.....	17
2.2.2 Processos Sedimentares da Face da Praia.....	19
2.2.3 Processos Costeiros Associados a Morfologia Praiaal .....	22
2.3 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS.....	25
2.3.1 Determinação Sedimentológica .....	26
2.3.2 Levantamento de Topobatimetria e Condições Oceanográficas .....	28
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E SEDIMENTOLOGICA DOS PERFIS DE PRAIA E ATUAÇÃO DO APORTE FLUVIAL .....	32
3.1.1 Condições Oceanográficas Precedentes ao Levantamento Topobatimétrico e Coleta de Sedimentos .....	32
3.1.2 Morfologia e Sedimentologia da Praia de Regência.....	35
3.1.3 Morfologia e Sedimentologia da Praia de Comboios .....	38
3.1.4 Morfologia e Sedimentologia da Praia de Barra do Riacho .....	41
3.1.5 A Morfodinâmica dos Perfis e o Aporte Fluvial .....	44
3.2 A SEDIMENTOLOGIA DAS AREIAS E O GRADIENTE DA FACE PRAIAL .....	47
3.2.1 Sedimentologia e gradiente da Face da Praia de Regência .....	47
3.2.2 Sedimentologia e Gradiente da Face da Praia de Comboios.....	49
3.2.3 Sedimentologia e Gradiente da Face da Praia de Barra do Riacho.....	50
3.2.4 Atuação dos Parâmetros Sedimentológicos no Gradiente da Face da Praia .....	52
3.3 O ESTADO MORFODINÂMICO DAS PRAIAS E O POTENCIAL DE INUNDAÇÃO .....	55



3.3.1	<i>Estado Morfodinâmico, Espraçamento Máximo Modelado e Altura da Berma da Praia de Regência</i> .....	55
3.3.2	<i>Estado Morfodinâmico, Espraçamento Máximo Modelado e Altura da Berma da Praia de Comboios</i> .....	56
3.3.3	<i>Estado Morfodinâmico, Espraçamento Máximo Modelado e Altura da Berma da Praia de Barra do Riacho</i> .....	56
3.3.4	<i>Potencial de Inundação Associado a Morfologia e Condições Oceanográficas.</i>	57
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>60</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>62</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O perfil de uma praia é moldado pelo transporte sedimentar na face da praia gerado pela quebra de ondas, e assim, varia de acordo com as características sedimentológicas do grão (tamanho e grau de seleção) e com processos físicos que agem sobre a antepraia (ação de ondas, variação no nível do mar e ocorrência de correntes litorâneas) (KOMAR, 1977; BIRD, 2008; REIS e GAMA, 2010). A face da praia é a seção subaérea situada abaixo da berma, que apresenta maior gradiente de declividade da antepraia, sendo limitada pela altura mínima da maré baixa e máxima da maré alta (zona de espraiamento) (BASCOM, 1951; DAVIS, 1985).

De acordo com Bird (2008), as ondas são um dos principais agentes físicos responsáveis pelas modificações do perfil de uma praia, podendo ser construtivas, construindo perfis convexos, ou destrutivas, formando perfis côncavos. Outros autores apresentam um enfoque mais amplo quanto à forma do perfil, relacionando o gradiente de declividade da face da praia com o tamanho do sedimento, incluindo processos de infiltração e permeabilidade da zona de espraiamento (SUNAMURA, 1984; KOMAR, 1998; MASSELINK *et al.*, 2019; MCFALL, 2019).

No espraiamento, se há infiltração significativa, o fluxo de retorno perde competência no transporte de sedimentos sobre a face da praia, construindo assim um perfil mais íngreme e de forma mais convexa (BASCOM, 1980). A infiltração no espraiamento tem relação direta com a permeabilidade do sedimento, definida pelo tamanho e grau de seleção dos grãos (BASCOM, 1951; DEAN, 1977; MASSELINK e LI, 2001). Entende-se que sedimentos de maior granulometria são mais permeáveis e, portanto, possibilitam a formação de perfil mais íngreme. Sedimentos mais finos, por sua vez, são menos permeáveis e, por permitirem menor infiltração do espraiamento, moldam um perfil de forma mais aplainada (BASCOM, 1951; KOMAR, 1998; MASSELINK e LI, 2001; REIS & GAMA, 2010).

Butt e colaboradores (2000) detalham os processos de infiltração e exfiltração de água na face da praia associados aos efeitos da camada limite na mobilização de sedimentos de acordo com a granulometria. Praias quartzosas com granulometria média são estabilizadas pelos processos de infiltração, isto é, apresentam menor transporte no fluxo de subida do espraiamento (Butt *et al.*, 2000). Entretanto, em areias de maiores granulometrias os efeitos da camada limite podem se tornar dominantes, o que aumenta significativamente o transporte no fluxo de subida do espraiamento (NIELSEN, 1998). Desta forma, em praias de areias mais grossas o transporte de

sedimentos em direção à berma favorece o desenvolvimento da face com declividade mais acentuada, enquanto que em praias de sedimentos mais finos, o transporte na face favorece um perfil de menor declividade.

Por via de regra os sedimentos marinhos variam em tamanho, densidade, forma e origem, o que determina a suscetibilidade dos grãos aos efeitos da camada limite, à mobilização seletiva e ao transporte e deposição seletivos. As diferenças composicionais encontradas nas praias estão diretamente relacionadas ao ambiente onde estas se inserem, podendo apresentar maior influência marinha ou costeira. Em praias compostas por areias bioclásticas, por exemplo, onde se encontram uma variedade de sedimentos calcários, a fonte sedimentar é comumente a estrutura de organismos locais, haja vista que este tipo de sedimento apresenta pouca resistência ao ser transportado. Esta mesma relação, de maiores porcentagens associadas à maior proximidade com áreas fonte, também pode ser estabelecida para a concentração de minerais pesados.

De acordo com Rubey (1933), minerais com peso específico superior ao quartzo e feldspato (minerais mais comuns nas rochas sedimentares) são classificados como minerais pesados e são comumente encontrados em praias, depositados juntamente aos sedimentos quartzosos. Sobre esta ótica, e com base em experimentos em laboratório, o autor desenvolveu o conceito de equivalência hidráulica, onde partículas com as mesmas velocidades de decantação se depositam ao mesmo tempo. Desta forma, os minerais pesados mais densos e menores se depositam com grãos maiores e menos densos de quartzo, e são dificilmente removidos do sistema, devido a essa maior densidade. Como consequência deste processo praias de maior diversidade composicional apresentam, de maneira geral, granulometria com menor grau de seleção.

A quantidade de minerais pesados nas praias depende não somente de sua abundância na área fonte e da intensidade do processo de transporte (ligados à sua capacidade de resistência ao intemperismo e à abrasão), mas também de sua segregação devido às diferenças na densidade e forma (ADDAD, 2001). Sendo assim, o estudo destes minerais representa uma referência para a caracterização de processos que definem ambientes sedimentares, como transporte, velocidade de fluxo hidráulico, erosão e deposição (TOMAZELLI, 1978).

Mesmo considerando-se a diversidade da composição de sedimentos marinhos, grande parte do conhecimento sobre processos costeiros foi adquirida através de inferências sobre o comportamento hidráulico dos grãos em praias arenosas essencialmente quartzosas. São inúmeras as praias com areias de composição sedimentológica mais complexa, com grãos de

origens, maturidades e densidades diferentes, o que pode influenciar diretamente na distribuição da granulometria, e dificultar a compreensão dos processos hidráulicos da face praial e tornar a aplicação de modelos limitados.

A granulometria da areia e o gradiente de declividade na face da praia atuam não somente na morfologia do perfil de uma praia, mas também todos os processos morfodinâmicos relacionados a esta, como o alcance vertical do espraiamento das ondas. O espraiamento máximo (*run-up*) é determinado por Hunt (1959) por meio de experimentos físicos onde se observa a relação empírica entre as condições de onda em águas profundas e o gradiente da face praial. Através do *run-up* é possível avaliar o potencial de inundação de uma praia, isto é, a altura da berma *versus* os processos de transposição das ondas sobre esta feição. Inúmeros autores como Silva (2019), Sancho *et al.* (2011) e Raposeiro e Ferreira (2010) fazem uso deste conceito para a avaliar regiões costeiras quanto a sua vulnerabilidade.

Entender a relação entre a sedimentologia das areias e os processos morfodinâmicos ocorridos na face da praia é, portanto, essencial para o gerenciamento costeiro, haja vista que os resultados dos modelos aplicados, baseados fundamentalmente no diâmetro do sedimento e gradiente da face, interferem diretamente na instalação de obras costeiras e na gestão de processos erosivos e inundacionais,

As praias abordadas pelo presente trabalho se situam ao sul da desembocadura do rio Doce, no município de Regência (ES), e apresentam diferentes características morfodinâmicas em resposta a suas distâncias em relação a desembocadura do rio e, conseqüentemente, ao alcance de sua descarga (ALBINO & SUGUIO, 2010). Praias expostas adjacentes a desembocaduras de rios tem sua morfodinâmica altamente influenciada pela descarga fluvial, que está associada diretamente ao nível da água e ao suprimento de sedimentos, caracterizando a composição, granulometria e grau de seleção dessas praias.

Tais características são observadas por Vespremeanu-Stroe e Proteasa (2006) em praias contíguas ao delta do Danúbio, onde processos de deposição e erosão sofrem influência dos períodos de cheia e seca do rio e a morfologia dos perfis se torna moderadamente erosiva com o distanciamento da desembocadura. A associação entre processos deposição e erosão em regiões costeiras e a influência fluvial são amplamente estudadas (ANTHONY *et al.*, 2017; HANSEN *et al.*, 2013), haja vista que este entendimento é de suma importância para avaliação do potencial de inundação destas regiões, comumente baixas (ANTHONY *et al.*, 2017). Em estudos realizados por Nafaa e Frihy (1993), também se discute as diferenças no estado morfodinâmico de praias com diferentes graus de influência do rio Nilo. Além da atuação da

morfologia e orientação da linha de costa, são destacados pelos autores a influência do gradiente da face e a textura e composição dos sedimentos.

Sendo assim, as variações na chegada do aporte fluvial nas praias, sob análise morfodinâmica, podem ser o fator predominante sobre as características locais. Em praias onde o aporte fluvial é maior há a entrada de sedimento potencialmente mais fino e abundante em minerais pesados no sistema, o que pode moldar um perfil mais aplainado (DEAN, 1977; BASCOM, 1980) e potencialmente mais inundável do que em praias sob menor influência do rio. Estudos pretéritos (ALBINO, 1999; BRUNO, 2004) definem parâmetros morfodinâmicos observados na área de estudo, caracterizando a sedimentologia, o gradiente da face e a tipologia praial, o que evidencia potenciais mudanças morfodinâmicas ocorridas em decorrência de alterações sedimentológicas associadas a carga do rio.

Desta forma, ao longo da planície deltaica do rio Doce acredita-se que o aporte fluvial contribui para a diversidade composicional e textural das areias depositadas nas praias adjacentes. Essa diversidade, por sua vez, influencia os processos hidráulicos da face praial, determinando seu gradiente e, conseqüentemente, os resultados das aplicações de modelos usualmente utilizados em estudos de gerenciamento costeiro.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Determinar a atuação da sedimentologia das areias e o gradiente da face praial sobre os processos de inundação de praias expostas sob influência fluvial.

### 1.2.2 Específicos

- a) Discutir a influência da carga fluvial na morfologia das praias;
- b) Determinar a atuação dos parâmetros sedimentológicos das areias nos processos de infiltração e permeabilidade e no gradiente da face da praia;
- c) Determinar o potencial de inundação das praias a partir de sua morfologia e tipologia.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada na porção sul do delta do rio Doce, nos municípios de Linhares e Aracruz, Espírito Santo, abrangendo o litoral da vila de Regência, Reserva Biológica de Comboios e Terras Indígenas de Comboios. A região estudada abrange as praias de Comboios e Barra do Riacho, sendo limitada a norte pelo rio Doce e ao sul pelo Estaleiro Jurong Aracruz, possui extensão 37 km e encontra-se aproximadamente à 130 km da cidade de Vitória (ES) e a 7 km da vila de Regência (Linhares-ES), vide Figura 1.



Figura 1 - Imagem da área de estudo evidenciando os pontos onde será realizado o monitoramento de praia.



A região apresenta verões chuvosos e invernos secos, característico de clima tropical quente e úmido (Aw (KÖPPEN, 1948)). Observando-se predominância de ventos de nordeste e sudeste (SUGUIO *et al.*, 1982).

Segundo Oliveira *et al.* (2015), as principais direções das ondas incidentes no delta do Rio Doce são de leste (L), sudeste-leste (SE-E) e nordeste-leste (NE-E), havendo predominância de ondas de leste. No que diz respeito à altura significativa e período de onda os setores sudeste (SE) e sul-sudeste (S-SE) apresentam os maiores valores (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Segundo Dominguez (1990), as ondas de direção sul estão relacionadas a processos de deposição/construção, e ondas de direção norte a processos erosivos. Havendo diferenças sazonais na predominância destas direções, que apresentam transporte longitudinal para norte mais acentuado no outono e no inverno e transporte para sul uniforme ao longo do ano (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

A bacia hidrográfica do Rio Doce é largamente explorada para atividades de mineração (comportando o maior complexo de extração de ouro da América do Sul), irrigação, agricultura, atividades industriais e consumo humano. A região abordada pelo presente trabalho, em novembro de 2015, foi atingida por grande volume de lama e contaminantes oriundos do rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro em Mariana (MG). A descarga destes rejeitos adiciona ao sistema sedimentos de características físicas e químicas diferentes do sedimento naturalmente encontrado na área.

A plataforma continental interna associada à desembocadura do rio Doce apresenta alta declividade na zona mais próxima a costa, onde se encontram isóbatas com mais de dez metros a menos de um quilometro da praia (ALBINO, 1999). Segundo Lima *et al.* (2005), a carga sedimentar do Rio Doce é  $11,22 \times 10^6$  ton/ano, sendo maior do que outras bacias hidrográficas como Parnaíba, Paraíba do Sul, Paraná e Uruguai. Assim sendo, a dispersão de sedimentos fluviais do rio Doce estende-se a cerca de 15 km da costa, onde os sedimentos fluviais são gradualmente substituídos por areias biossiliciclásticas, dominando a superfície da plataforma a partir deste ponto (ALBINO *et al.*, 2016). Este setor da plataforma é marcado por ser mais estreito (quebra da plataforma varia entre 60 e 80 metros de profundidade) do que setores a sul e a norte, possuindo largura média de 50 km (ALBINO *et al.*, 2016). Segundo Albino (1999), a ausência de rugosidade (Figura 2) juntamente com esta alta declividade e estreitamento da plataforma continental, permitem que haja entrada de ondas alta energia na antepraia.

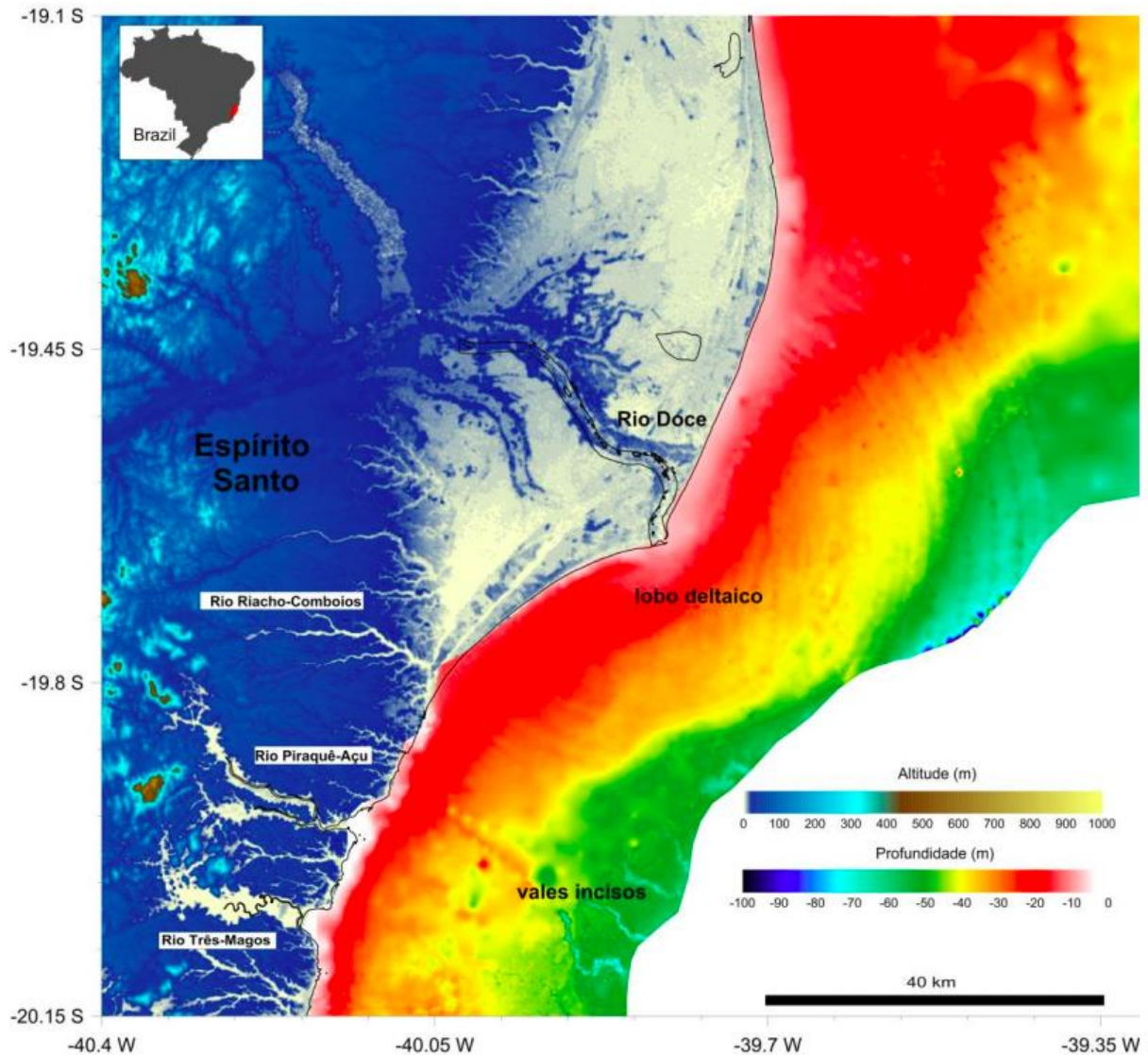


Figura 2 - Aspectos morfológicos da plataforma continental centro-norte do Espírito Santo. Fonte: Bastos *et al.*, 2015 modificado por Silva, 2017.

A plataforma continental adjacente ao sul do delta do rio Doce recebe aporte sedimentar dos rios Riacho, Comboios e Doce, apresentando areias quartzosas, com manchas de areias lamosas e pontos isolados de areias biolitolásticas, o que indica alternância no suprimento de transporte e/ou deposição de sedimentos pelas correntes de fundo (ALBINO, 1999). De acordo com Albino (1999), a proximidade da desembocadura do rio Doce e sua influência como um molhe hidráulico determinam a morfodinâmica ao longo das praias da planície deltaica que, em geral, têm como principal fonte sedimentar o aporte do rio Doce, caracterizado pelo transporte de areias finas a grossas. Entretanto, praias ao sul da desembocadura, Comboios e Barra do Riacho, recebem menor volume de sedimentos fluviais, possuindo sedimentos siliciclásticos com grãos grossos (ALBINO *et al.*, 2016). Sendo assim, no que diz respeito à classificação do comportamento morfodinâmico de Wright *et al.* (1979), é possível identificar uma faixa mais

ao sul, relativamente distante da desembocadura, que apresenta comportamento morfodinâmico tipicamente refletivo, e outra mais ao norte, próxima a desembocadura do rio Doce, que sofre maior influência do rio, apresentando um perfil intermediário (ALBINO, 1999; ALBINO *et al.*, 2016), vide Figura 3.

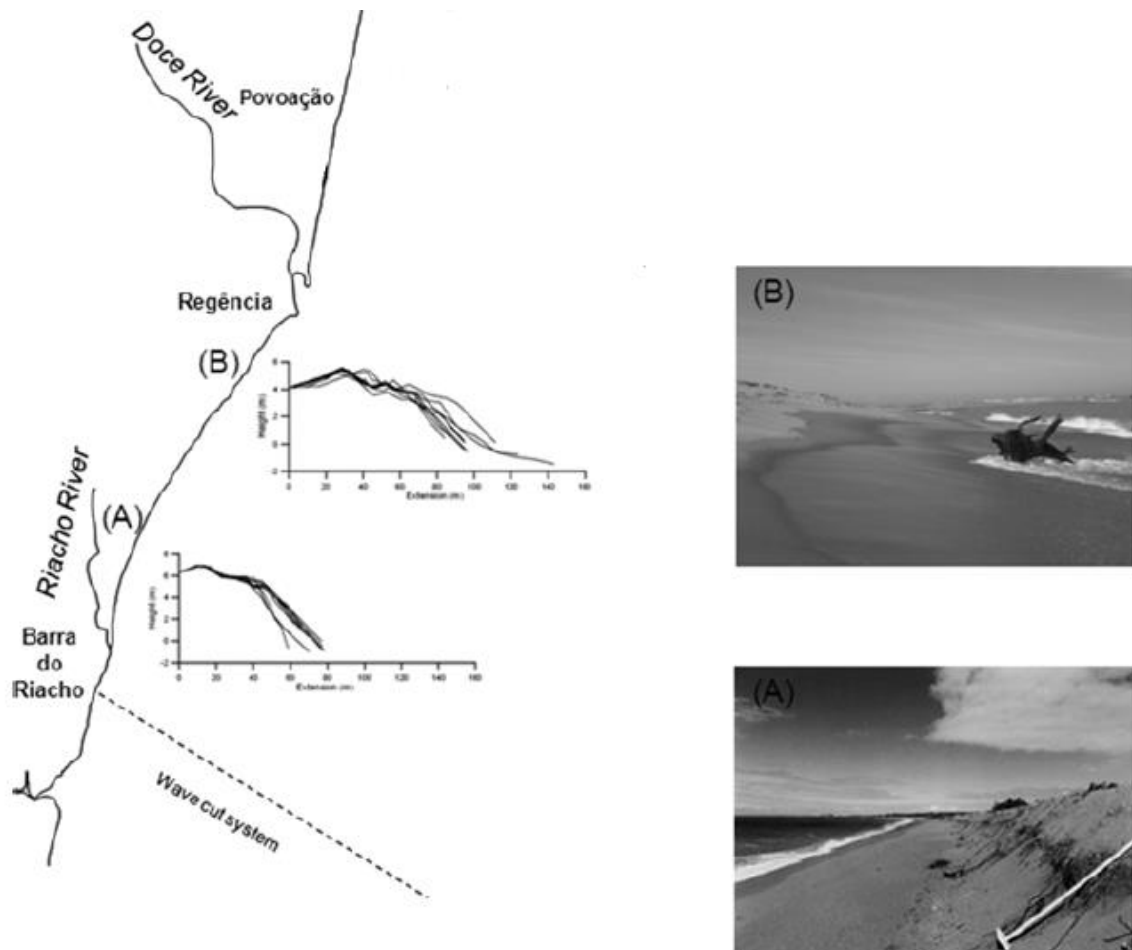


Figura 3 - Representação da mudança sazonal nos terraços do rio Doce. Dados de perfis praias levantados mensalmente, janeiro de 1996 a janeiro de 1997. Fonte: Albino et al. (2016), adaptado.

## 2.2 FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

A base de discussão desta pesquisa se fundamenta nas interações entre elementos e forçantes físicas da praia responsáveis por determinar sua morfodinâmica. Ou seja, através da determinação dos parâmetros morfodinâmicos e da compreensão da relação entre eles.

### 2.2.1 Definições e Terminologias

A definição das divisões morfológicas e hidrodinâmicas que compõe o perfil praias foi baseada na proposta de Komar (1998) cuja zonação está inserida nas divisões: pós-praia, antepraia

superior e antepraia inferior (Figura 4). Recentemente, Muehe (2019) propõe a substituição do termo “pós-praia” para “praia”, já que o termo *backshore* vem sendo inadequadamente traduzido e este novo termo será aqui utilizado.

A região da praia é definida como a porção emersa do perfil que se estende desde o limite superior da face da praia até o desenvolvimento de vegetação ou mudança de fisiografia (falésia, campo de dunas, etc.). Partes integrantes da região da praia são a berma e a escarpa praial, sendo a primeira definida como uma suave inclinação em direção ao continente, formada pela deposição de sedimentos no limite de influência das ondas, enquanto a escarpa praial é definida como um entalhe abrupto do perfil praial formada pela ação erosiva das ondas, podendo ser associada à episódios de erosão recentes ou mais antigos.

A região da antepraia superior corresponde à porção do perfil praial inserida entre a crista da berma (ou o máximo alcance de espraiamento das ondas de preamar) e a zona de arrebentação das ondas. Estão inseridas na região da antepraia superior as zonas de espraiamento, surfe e arrebentação. A zona de espraiamento é definida como a porção que se alterna ora coberta pelo *run-up* das ondas e ora exposta pelo refluxo das ondas, nesta zona está inserida a face praial, feição caracterizada como exposta ao espraiamento das ondas. A zona de surfe, por sua vez, é definida como a porção do perfil onde ocorre a dissipação da energia das ondas após a quebra. Por fim, a zona de arrebentação é definida como a região de quebra das ondas.

A antepraia inferior corresponde à porção submersa do perfil praial que se estende desde o limite da antepraia superior, até a plataforma continental interna. As feições de calha e barra longitudinal são importantes marcadores do perfil praial, uma vez que são formadas pela interação entre ondas e sedimento, desenvolvendo-se paralelamente à linha de costa. Enquanto a calha é uma depressão, a barra longitudinal é uma barra arenosa que é comumente usada como um marcador associado à profundidade de fechamento do perfil praial.

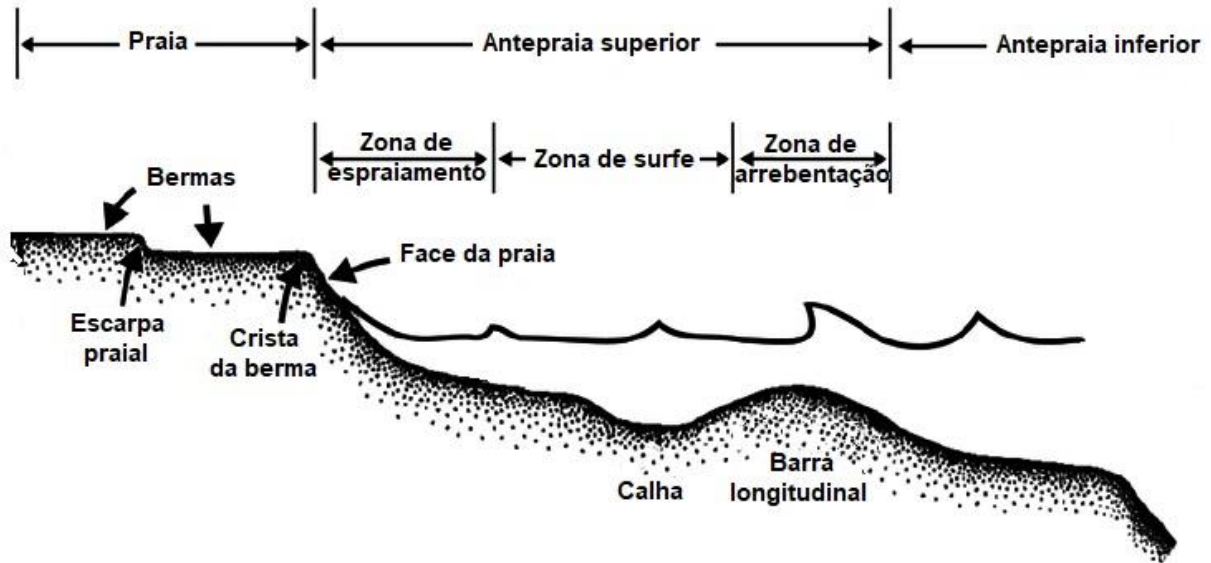


Figura 4 - Divisão morfológica e hidrodinâmica do perfil praial. Fonte: Komar (1998), adaptado.

### 2.2.2 Processos Sedimentares da Face da Praia

Segundo Butt *et al.* (2000) um dos fatores que deve ser levado em consideração no transporte de sedimento na zona de espraiamento é infiltração e exfiltração de água na face da praia, e o seu efeito na mobilização de sedimentos. Segundo os autores, este fluxo vertical pode ocasionar a fluidificação da camada superior de sedimento, uma vez que a pressão da água se propaga rapidamente nas camadas superiores do sedimento, gerando um fluxo contrário ao fluxo de retorno do espraiamento e a subsequente redução na profundidade do mesmo, produzindo forças que agem verticalmente para cima, abaixo da superfície (Figura 5). Ao tornar esta camada fluida, aumenta-se consideravelmente o transporte de sedimento, uma vez que os torna passíveis de serem mobilizados pelo refluxo do espraiamento.

Mesmo que o gradiente de pressão vertical seja muito pequeno para produzir a fluidificação, ainda assim pode-se aumentar o transporte de sedimento no fluxo de retorno do espraiamento, reduzindo o efeito do peso do sedimento (por consequência, desestabilizando a camada). Por outro lado, o gradiente de pressão para baixo aumentará o efeito do peso do sedimento (estabilizando a camada), diminuindo o potencial de transporte.

Alterações na espessura da camada limite devido ao fluxo vertical para dentro e fora da face praial também podem gerar o efeito de estabilização e desestabilização dos sedimentos da face (Figura 5). A espessura da camada limite é reduzida pela infiltração e aumentada pela exfiltração, tornando a velocidade relativamente maior durante a infiltração. Os vórtices de turbulência durante a infiltração são mantidos próximos ao lençol freático, aumentando o

potencial para o transporte de sedimento. Durante a exfiltração, por sua vez, os vórtices são elevados para fora do lençol, aumentando a espessura da camada limite e diminuindo o potencial para o transporte de sedimento (BUTT *et al.*, 2000).

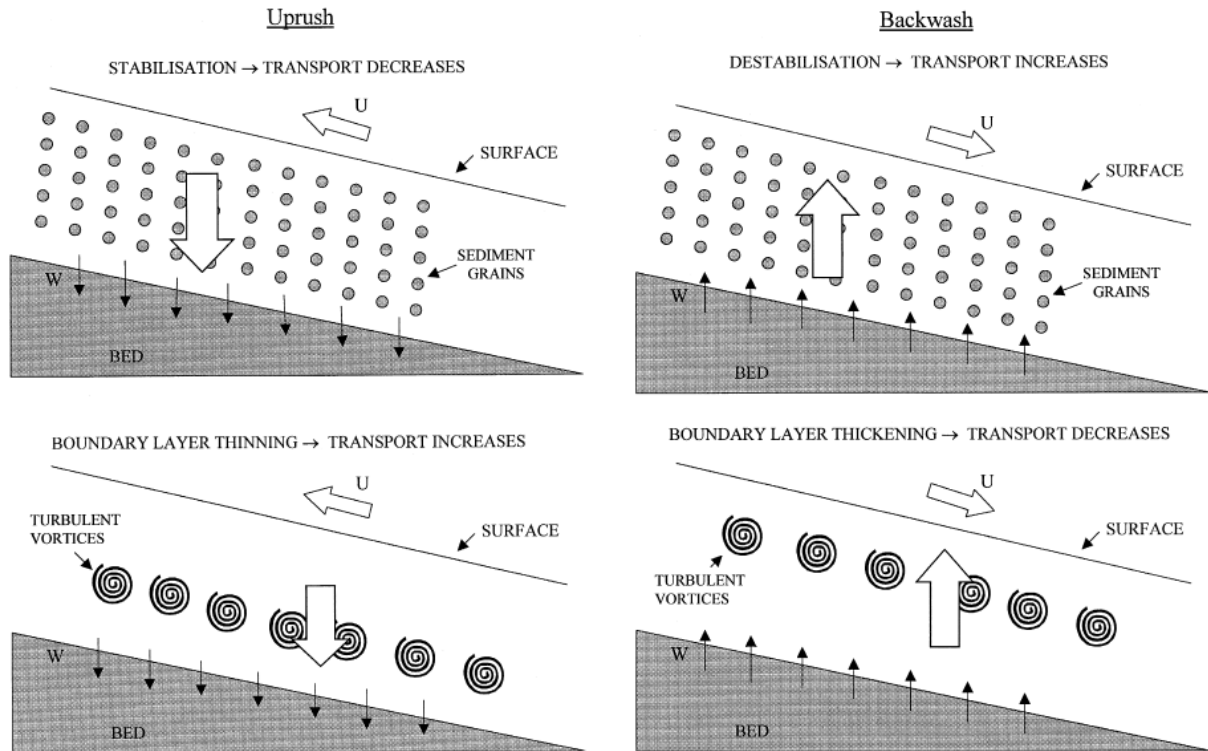


Figura 5 - Representação dos processos de estabilização da camada superficial de sedimentos da face e diminuição da camada limite no fluxo do espraçamento e a desestabilização da camada superficial de sedimentos da face e aumento da camada limite no refluxo do espraçamento.

Influenciando diretamente esses processos está a granulometria dos sedimentos da face. Onde areias de quartzo com granulometria média de aproximadamente 0,58 mm são, provavelmente, estabilizadas pelos processos de infiltração, isto é, apresentam menor transporte no fluxo de subida do espraçamento. Por sua vez, em areias quartzosas de maiores granulometrias os efeitos da camada limite podem se tornar dominantes, o que aumenta significativamente o transporte no fluxo de subida do espraçamento (NIELSEN, 1998). Conseqüentemente, constata-se que, em praias de areias mais grossas o transporte sedimentar em direção ao pós-praia favorece o desenvolvimento da face com declividade mais acentuada, enquanto que em praias de sedimentos mais finos o transporte na face favorece um perfil de menor declividade.

### 2.2.2.1 Transporte sedimentar

A quebra das ondas na região costeira promove a desestabilização do sedimento e formação de correntes, responsáveis pelo transporte deste sedimento de um local para o outro e que atuam

como agentes na modelagem do perfil praiial. Estas correntes costeiras de costa formam células de circulação com componentes paralelas e perpendiculares às praias.

No caso de correntes paralelas a costa, se observa que após a arrebentação das ondas, os sedimentos mobilizados são transportados produzindo a deriva litorânea. As células de circulação costeira formadas pela deriva apresentam zonas de erosão, zonas de transporte e zonas de deposição, respectivamente, no sentido da deriva litorânea. À medida que a onda flui sobre a face da praia, transporta sedimento pelo espriamento oblíquo; quando ocorre o fluxo de retorno o sedimento se move em direção *offshore* e é transportado paralelamente sobre a face praia (Figura 6).

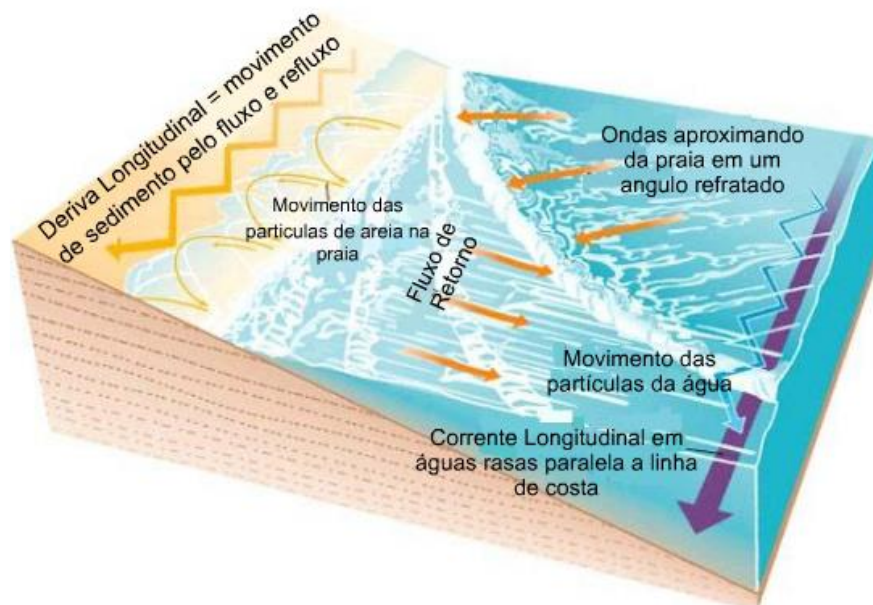


Figura 6 - Transporte de sedimentos na face praiial gerado por correntes longitudinais. Fonte: Coleman (2001), modificado por Pasolini (2008).

As correntes transversais ou correntes de retorno são responsáveis por grande parte do transporte de sedimento em direção *offshore*. As correntes perpendiculares à praia promovem o transporte de sedimentos emersos para a porção submersa do perfil e vice-versa (Figura 7). Em eventos de tempestade podem promover a migração do sedimento para fora do sistema praiial, uma vez que podem ser depositados na plataforma continental interna (BIRD, 1996).

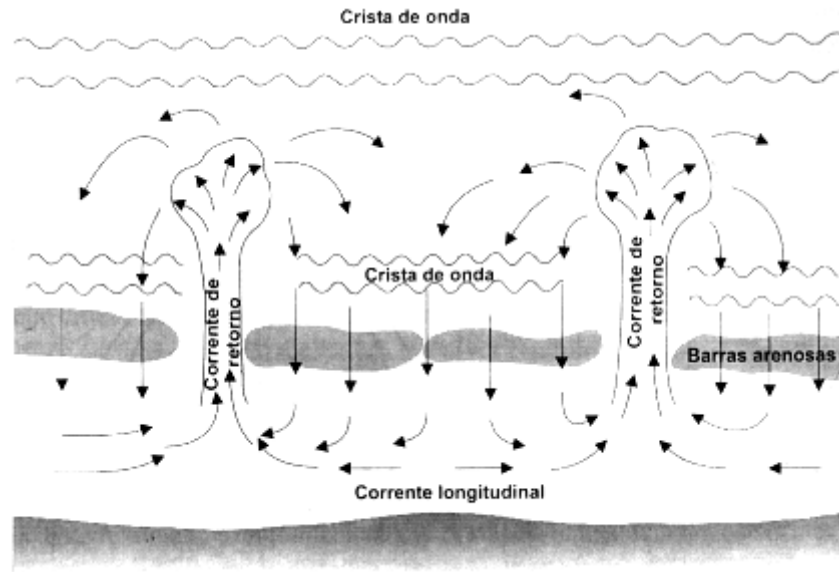


Figura 7 - Célula de circulação litorânea com correntes transversais e longitudinais. Fonte: Silva *et al.* (2004).

A variação granulométrica transversalmente à praia, com os grãos maiores encontrados na zona de arrebatção e grãos progressivamente menores em direção a costa e a antepraia inferior, é devida ao transporte gerado por essas correntes (SCHIFFMAN *apud* KOMAR, 1977). No local de máximo recuo da onda se encontram maiores concentração de grãos mais grossos, associados a grande energia e turbulência do fluxo e refluxo das ondas. Também é possível identificar uma zona de grãos maiores em barras na região da antepraia inferior.

### 2.2.3 Processos Costeiros Associados a Morfologia Praial

#### 2.2.3.1 Estado Morfodinâmico

A determinação do estágio morfodinâmico praial, relação entre o perfil da praia e as características das ondas e dos sedimentos, será determinada pela classificação de Wright e Short (1984), através do parâmetro adimensional ômega ( $\Omega$ ), proposto por Dean (1973). A equação (1) se estabelece a partir da relação entre altura de onda em águas rasas ( $H_b$ ), a velocidade de decantação dos sedimentos médios ( $\omega_s$ ) e o período de onda ( $T$ ).

$$\Omega = \frac{H_b}{\omega_s T} \quad (1)$$

Na equação os estados extremos são classificados como refletivo e dissipativo. Praias refletivas apresentam elevados gradientes de praia, zona de surfe relativamente estreita, areias grossas e



arrebentação do tipo ascendente (*surging*) ou mergulhante (*plunging*); por sua vez, praias dissipativas apresentam baixo gradiente topográfico, larga zona de surfe, sedimentos finos (com estoque de areia na porção submersa) e arrebentação do tipo deslizante (*spilling*) (CALLIARI *et al.*, 2003). Na Tabela 1 observa-se a relação entre o estado de equilíbrio da praia e o parâmetro ômega (WRIGHT *et al.*, 1985).

Tabela 1 - Relação de equilíbrio entre estado da praia e valor médio de ômega (WRIGHT *et al.*, 1985). Fonte Calliari *et al.* (2003).

Estado	Ômega ( $\Omega$ )	Desvio Padrão
Refletivo	$\leq 1,50$	-
Terraço de Baixa-Mar (TBM)	2,40	0,19
Bancos Transversais (BT)	3,15	0,64
Bancos de Praia Cúspide (BPC)	3,50	0,76
Banco de Praia longitudinal (BCL)	4,70	0,93
Dissipativo	$> 5,50$	-

### 2.2.3.2 Espraiamento Máximo (*run-up*)

Para se avaliar o potencial de inundação de uma praia, isto é, a altura da berma *versus* os processos de transposição das ondas sobre estas barreiras, se faz preciso definir o espraiamento máximo (*run-up*). O espraiamento máximo é determinado por meio da relação empírica entre as condições de onda em águas profundas ( $H_0$  e  $L_0$ ) e o declive da face praial ( $\tan\beta$ ) (HUNT, 1959). Esta relação muitas vezes é representada pelo número de Irribarren (equação (2)),  $\xi_0$

$$\xi_0 = \frac{\tan \beta}{(H_0/L_0)^{0,5}} \quad (2)$$

A Tabela 2 apresenta um resumo das fórmulas usadas para o cálculo de *run-up* de acordo com cada autor.

Tabela 2 - Fórmulas para o cálculo do *run-up*.

<b>Autores</b>	<b>Run-up</b>	
Hunt (1959)	$R_{2\%} = \tan \beta * (H_0 * L_{0s})^{0,5}$	
	$R_{2\%} = 3 * H_0$	
Holman (1986)	$R_{2\%} = H_0 * (0,83 * \xi_{0p} + 0,20)$	
	$R_{2\%} = H_i * (0,78 * \xi_s + 0,20)$	
Nielsen & Hanslow (1991)	$R_{2\%} = L_{RU} * (-\ln(0,02))^{0,5}$	
	$L_{RU} = 0,6 * \tan \beta * (H_{orms} * L_{os})^{0,5}$	$\tan \beta \geq 0,1$
	$L_{RU} = 0,05 * (H_{orms} * L_{os})^{0,5}$	$\tan \beta < 0,1$
Stockdon et al. (2006)	$R_{2\%} = 0,043 * (H_{orms} * L_{os})^{0,5}$	
	$R_{2\%} = 1,1 * (0,35 * \tan \beta * (H_0 * L_{0p})^{0,5} +$	
	$\left[ (H_0 L_{0p} (0,563 * (\tan \beta)^{0,5} + 0,004))^{0,5} \right] / 2)$	
Teixeira (2009)	$R_{m\acute{a}x} = 0,80 * H_0 + 0,62$	
	$R_{m\acute{a}x} = 1,80 * H_0 * \xi_{0m\acute{a}x}$	
Ruggiero et al. (2001)	$R_{2\%} = 0,27 * (\tan \beta * H_0 * L_{0p})^{0,5}$	
	$R_{2\%} = 0,5 * H_0 - 0,22$	
Guza & Thonton (1982)	$R_{1/3} = 0,71 * H_0 + 0,035$	

Com exceção da equação de Hunt (1959), obtida através de modelo físico, as demais são baseadas em dados obtidos em campo. De forma geral, estas equações determinam o espriamento máximo ( $R_{m\acute{a}x}$ ) através dos 2% dos valores máximos do *run-up* ( $R_{2\%}$ ) ou do *run-up* significativo ( $R_{1/3}$ ), média do terço mais alto dos *run-up*. Entretanto, segundo Neves e colaboradores (2013), uma melhor estimativa do potencial de inundação pode ser obtida utilizando-se somente 1% dos valores mais altos de *run-up* ( $R_{1\%}$ ), assumindo a distribuição de Rayleigh para alturas de onda individuais (Sancho *et al.*, 2011).

Vale ressaltar que não somente o espriamento máximo é necessário para o cálculo da cota de inundação (CI), equação (3), sendo preciso também que se tenha informações sobre a maré astronômica e meteorológica ( $M_A$  e  $M_M$ ).

$$CI = M_A + M_M + R_{m\acute{a}x} \quad (3)$$

No presente trabalho o espraçamento máximo foi definido por modelagem numérica através do *software* livre XBeach, utilizando o contorno de entrada definido em aproximadamente 15 m, como também descrito por Barnard *et al.* (2014) e Stockdon *et al.* (2014), e as equações (4) e (5) propostas por Stockdon *et al.* (2006) e por Mather *et al.* (2011), respectivamente.

$$R_2 = 1,1 \left[ \bar{\eta} + \frac{S}{2} \right] \quad (4)$$

$$\frac{R_x}{H_0} = C S_u^{2/3} \quad (5)$$

Os dados de *input* para modelagem dos *run-ups* foram os perfis medidos em cada campanha e os parâmetros de onda extraídos do WW3, referentes ao  $H_s$  mais alto dentre os três dias anteriores a medição dos perfis. Estes dados, posteriormente utilizados na modelagem, foram processados no *software* MATLAB da *MathWorks Inc.*

### 2.3 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

O monitoramento da área estudo ocorreu por meio de quatro campanhas para coleta de dados, nos meses de setembro, dezembro (2018), abril e julho (2019), onde realizaram-se levantamentos topobatrimétricos de três perfis ao longo das praias e coleta de sedimentos. A Figura 8 apresenta a localização dos pontos de monitoramento cujas coordenadas encontram-se na Tabela 3.

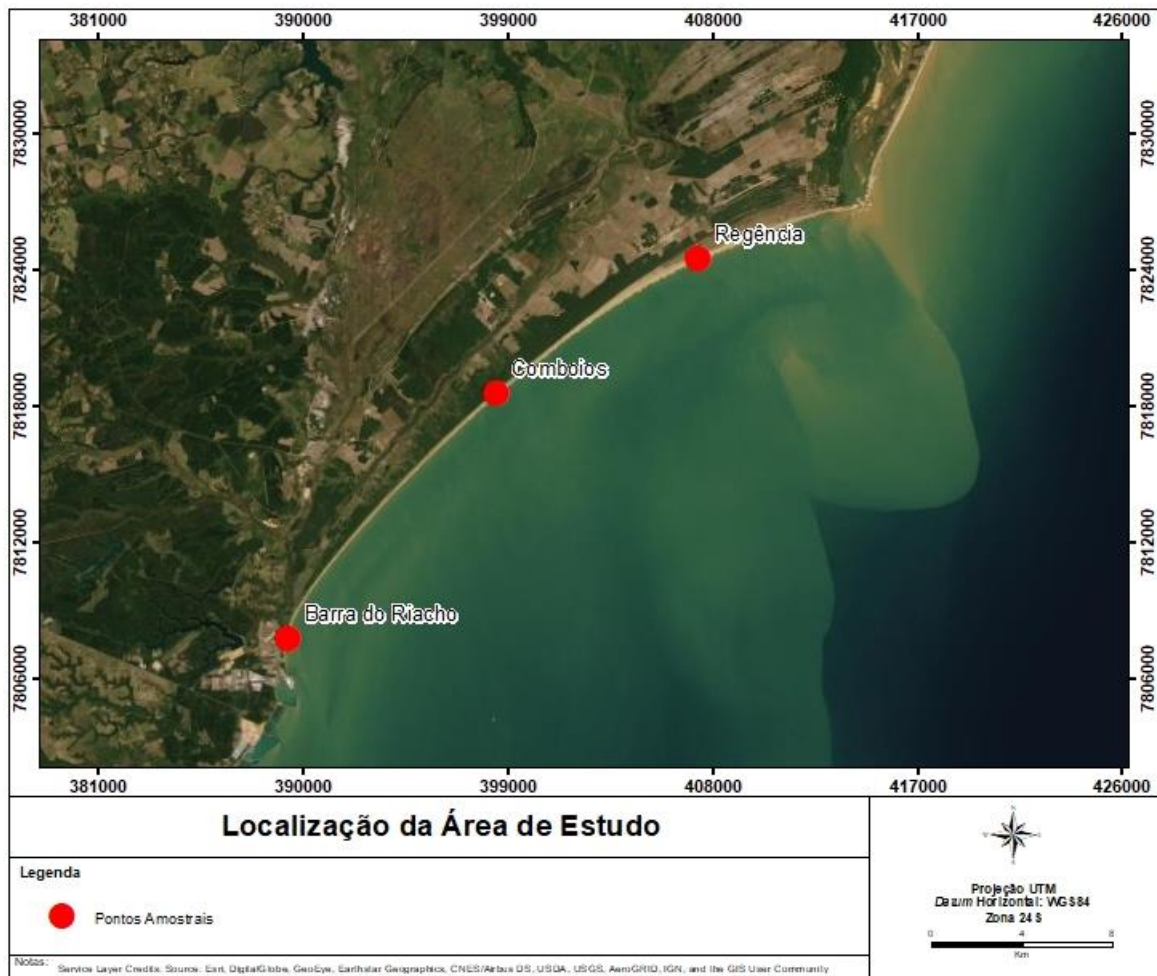


Figura 8 - Pontos de monitoramento em Barra do Riacho, Comboios e Regência.

Tabela 3 - Localização aproximada das Estações amostrais do monitoramento do sistema praiial. Coordenadas em UTM (Universal Transverse Mercator System; UTM 0,1km 24k).

Estações	X	Y
Regência	407416,77	7824460,67
Comboios	398484,04	7818545,93
Barra do Riacho	389347,01	7807767,30

### 2.3.1 Determinação Sedimentológica

Os resultados das análises sedimentológicas são essenciais para a discussão e interpretação da morfodinâmica praiial, é através destes que se inserem conceitos que nos permitem compreender os processos associados ao transporte sedimentar, responsáveis pela declividade da face da praia, bem como do desenvolvimento da morfologia de toda extensão do perfil. Fazendo-se

assim, necessários na obtenção de parâmetros morfodinâmicos, bem como no desenvolvimento dos modelos abordados.

Ao longo dos perfis topobatimétricos realizou-se a coleta de sedimentos superficiais e testemunhagens. No perfil emerso as coletas foram realizadas em três regiões (berma, face praial e antepraia próxima) definidas a partir da identificação de feições em campo. Os pontos de coletas do perfil submerso foram definidos previamente ao campo, em carta batimétrica, marcados através de equipamento de GPS e coletados por meio de draga estilo *Van Veen*.

As amostras coletadas foram caracterizadas quanto à sua granulometria e composição, sendo submetidas, anteriormente, aos processos de lavagem, secagem em estufa (40 °C) e quarteamento (quarteador tipo Jones).

#### 2.3.1.1 *Granulometria*

A determinação granulométrica dos sedimentos arenosos se realizou por meio de peneiramento a seco de aproximadamente 50 g da amostra quarteada. Para o peneiramento foi utilizado um jogo de peneiras com malha de -2 a 4  $\phi$  (4 a 0,063 mm) em agitador por 15 minutos. Após o peneiramento, as frações retidas em cada peneira foram registradas e utilizadas para determinação dos parâmetros estatísticos propostos por Folk e Ward (1957), através do programa livre Gradistat (BLOTT & PYE, 2001).

A granulometria da fração fina das amostras, com maior porcentagem de lama, foi determinada por meio de granulômetro a laser (Malvern). Para isto realizou-se peneiramento por meio de via úmida, lavando as amostras em uma peneira de 4  $\phi$  (0,063 mm), e queima de matéria orgânica, a partir da adição de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) às amostras, com o auxílio de chapa aquecedora em capela de exaustão de gases. Após a queima os sedimentos foram lavados e secos em estufa novamente e, por fim, cerca de 14 mL destas amostras foram homogeneizadas e postas no Malvern para a determinação granulométrica.

#### 2.3.1.2 *Composição*

A determinação do teor de carbonato de cálcio foi realizada a partir da queima de cerca de 20 g das amostras em ácido clorídrico 10% (HCl), com auxílio de chapa aquecedora na capela de exaustão de gases. Posteriormente as amostras foram lavadas e secas (em estufa a 40 °C). Após a secagem, as amostras foram pesadas para quantificação do teor de carbonato.

A determinação do teor de minerais pesados foi realizada por meio do método gravitacional utilizando bromofórmio. Após a dissolução do carbonato de cálcio, as amostras foram postas no funil de separação contendo bromofórmio, onde ocorreu a separação dessimétrica da amostra e, posteriormente, a amostra foi lavada e posta para secar em estufa (40°). Após a secagem os sedimentos foram pesados para a quantificação do teor de minerais pesados.

## **2.3.2 Levantamento de Topobatimetria e Condições Oceanográficas**

### *2.3.2.1 Topobatimetria*

A aquisição dos perfis topográficos e batimétricos praias transversais à costa foi realizada a partir do limite da praia até o limite da antepraia superior, ou seja, até a profundidade de fechamento interno. Foram realizadas quatro campanhas para coleta de dados, nos meses de setembro, dezembro (2018), abril e julho (2019).

Na zona emersa, os levantamentos foram realizados em períodos de baixa mar por meio posicionamento por GPS RTK e possuíam início em pontos fixos, definidos por marco geodésico, se estendendo até o máximo recuo das ondas. Quando possível os perfis topográficos foram estendidos para além da zona de arrebentação. Os levantamentos da zona submersa se deram por meio de embarcação com posicionamento por GNSS/GPS e ecobatímetro monofeixe (*Midas Surveyor - Valeport*) de dupla frequência (210khz/33Khz). A navegação e a integração dos dados de posicionamento e profundidade foram feitas através do programa *Hypack* (Figura 9)

Os dados topográficos e batimétricos foram planilhados e processados no programa *Excel* da *Microsoft*, verificando-se a consistência dos valores de latitude, longitude e altimetria para a área de estudo. Em função da dificuldade de navegação na zona de arrebentação existe uma lacuna na antepraia mais rasa.



Figura 9 - Instrumentos utilizados no levantamento topobatimétrico. Base de GPS RTK instalada sobre marco geodésico para levantamento topográfico (à esquerda) e computador utilizado a bordo para coleta de dados batimétricos (à direita).

Através dos perfis topobatimétricos fundamentam-se discussões sobre a morfodinâmica das praias, estabelecendo uma comparação entre os perfis observados, o estado morfodinâmico das praias, a sedimentologia associada a estes, bem como o alcance do espriamento máximo modelado.

#### 2.3.2.2 Ondas

Dados referentes a ondas, como altura significativa ( $H_s$ ), período de pico ( $T_P$ ) e direção de propagação ( $\theta$ ), foram obtidos a partir do modelo global *Wavewatch III*, NOA-WW3 (TOLMAN, 2009), disponíveis em <https://www.surfguru.com.br/>. O modelo apresenta resolução espacial de  $0,5^\circ$  de latitude e longitude e resolução temporal de três horas.

A validação dos parâmetros modelados ( $H_s$ ,  $T_P$  e  $\theta$ ) para área de estudo foi realizada a partir da análise e comparação destes com dados coletados *in situ* (Figura 10). As informações sobre os dados coletados correspondem aos períodos 31/10/2018 à 31/07/2019 e foram obtidos através do *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), cedidos pelo laboratório Poseidon da UFES. Para a avaliação do grau de ajuste dos parâmetros modelados em relação aos parâmetros medidos ( $H_s$ ,  $T_P$  e  $\theta$ ) realizou-se o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e da raiz do erro médio quadrático (RMSE).

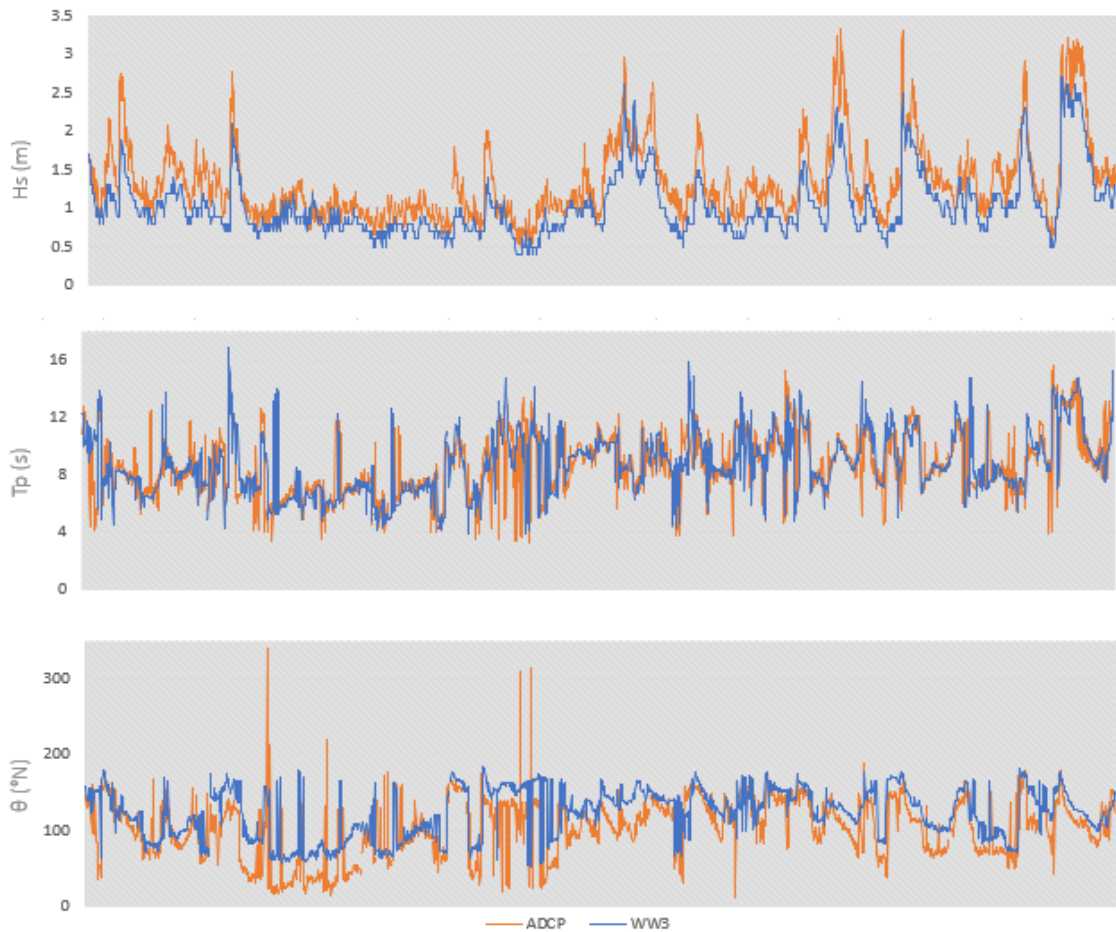


Figura 10 - Comparação entre os parâmetros altura significativa ( $H_s$ ), período ( $T_p$ ) e direção de propagação da onda ( $\theta$ ) obtidos por meio do modelo WW3 e medidos in situ por ADCP. Dados correspondentes ao período de 31/10/2018.

Como pode ser observada na Tabela 4 diferença média entre os valores estimados e medidos para altura significativa, período e direção de propagação de onda apresentaram RMSE de 0,36 m, 1,88 s e 36,81 °N (respectivamente) e  $r$  variando de 0,63 a 0,92, o que indica uma correlação moderada a forte entre os dados modelados e medidos. Observa-se então que as estimativas do modelo WW3 reproduzem de forma satisfatória o padrão e a magnitude dos parâmetros analisados.

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e raiz do erro médio quadrático (RMSE) para os parâmetros altura significativa ( $H_s$ ), período ( $T_p$ ) e direção de propagação das ondas ( $\theta$ ), correspondentes ao período de 31/10/2018 à 31/07/2019.

	<b>r</b>	<b>RMSE</b>
$H_s$	0,92	0,36
$T_p$	0,63	1,88
$\Theta$	0,64	36,81



O produto das análises da altura significativa, do período e da direção de propagação de onda são necessários para a interpretação morfodinâmica local, sendo essenciais na obtenção de seus parâmetros e no desenvolvimento dos modelos abordados no desenvolvimento da pesquisa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E SEDIMENTOLÓGICA DOS PERFIS DE PRAIA E ATUAÇÃO DO APORTE FLUVIAL

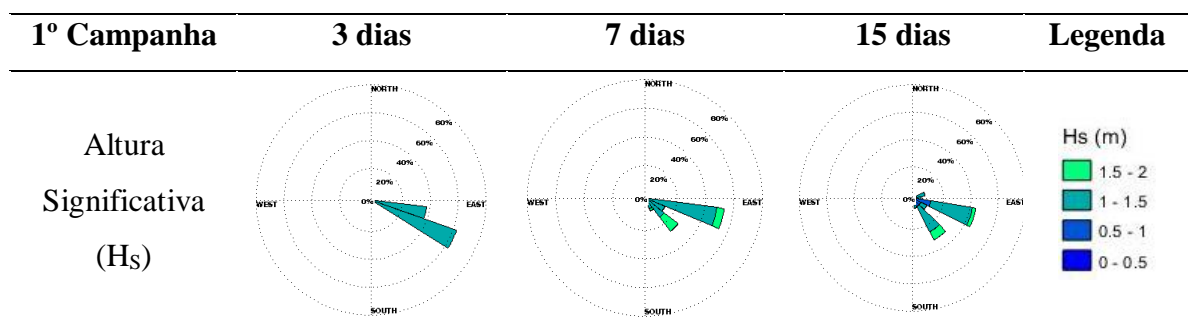
##### 3.1.1 Condições Oceanográficas Precedentes ao Levantamento Topobatimétrico e Coleta de Sedimentos

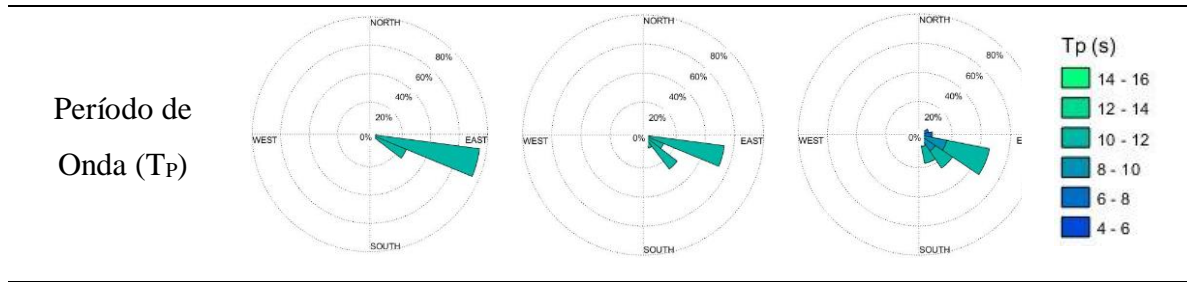
Os parâmetros de ondas observados nos períodos de 3, 7 e 15 dias que se antecederam as 4 campanhas são apresentados nas tabelas abaixo (Tabela 5 a Tabela 8). As alturas significativas ( $H_s$ ) variaram entre 0,5 e 2,4 m, ambos observados na terceira campanha, e os períodos ( $T_p$ ) variam de 4,2 a 12,9 s, na terceira e quarta campanha, respectivamente. Exceto na terceira campanha, quando as ondas estiveram mais baixas, as alturas significativas de ondas se apresentaram superiores a 1,5 m.

As principais direções das ondas incidentes observadas foram de E, SE, havendo predominância de ondas de SE. No que diz respeito à altura significativa de onda os setores SE e S-SE apresentaram os maiores valores. Ondas provenientes de NE foram associadas a entrada de ondas mais altas apenas na quarta campanha.

Na primeira campanha as ondas foram prioritariamente provenientes de E-SE e SE, sendo que nos dias imediatamente anteriores a campanha mais de 60% apresentaram alturas significativas entre 1 e 1,5 m e períodos entre 10 e 12 s.

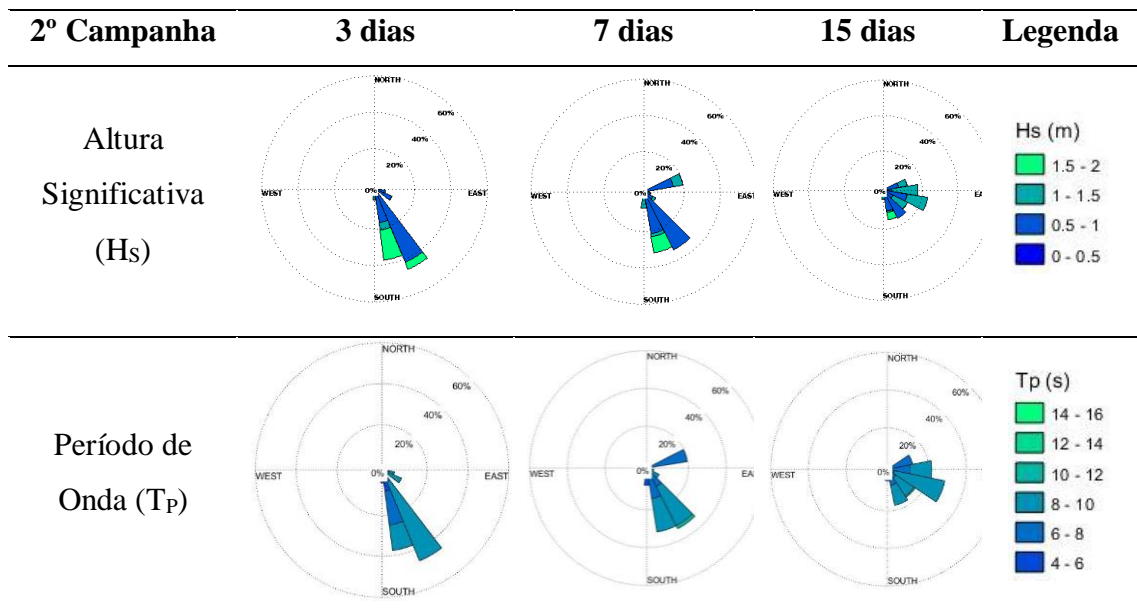
Tabela 5 - Gráficos dos parâmetros de onda,  $H_s$  e  $T_p$ , ao longo dos 3, 7 e 15 dias que se antecederam a primeira campanha, realizada entre 21 e 30 de setembro de 2018.





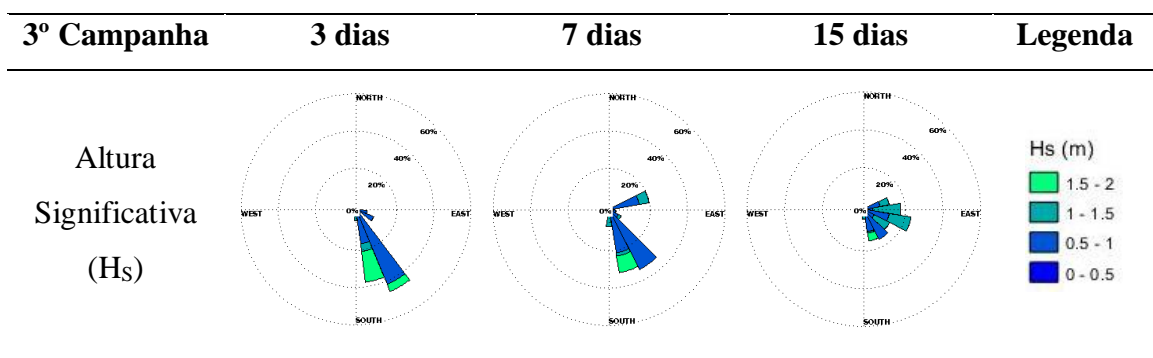
Na segunda campanha as ondas foram prioritariamente provenientes da direção E-SE e E-NE, sendo que nos dias imediatamente anteriores a campanha cerca de 50% apresentaram alturas significativas entre 0,5 e 1,0 m e períodos entre 8 e 10 s.

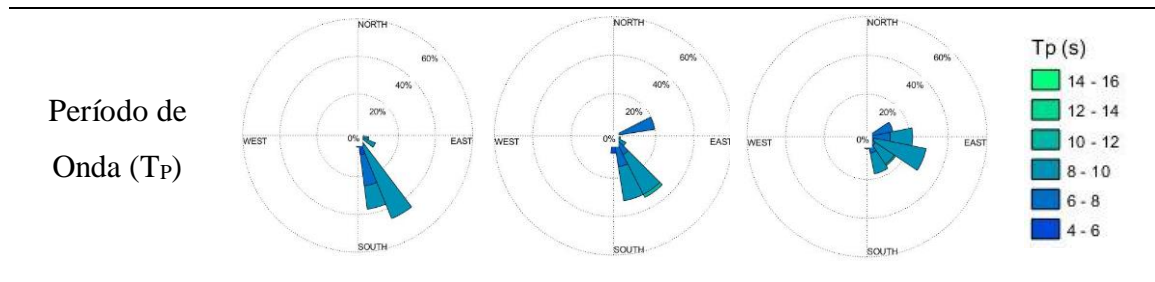
Tabela 6 - Gráficos dos parâmetros de onda,  $H_s$  e  $T_p$ , ao longo dos 3, 7 e 15 dias que se antecederam a segunda campanha, realizada entre 01 e 11 de dezembro de 2018.



Na terceira campanha as ondas foram prioritariamente provenientes do quadrante E-SE e N-NE, sendo que nos dias imediatamente anteriores a campanha mais de 50% apresentaram alturas significativas entre 0,5 e 1,0 m e períodos entre 8 e 10 s.

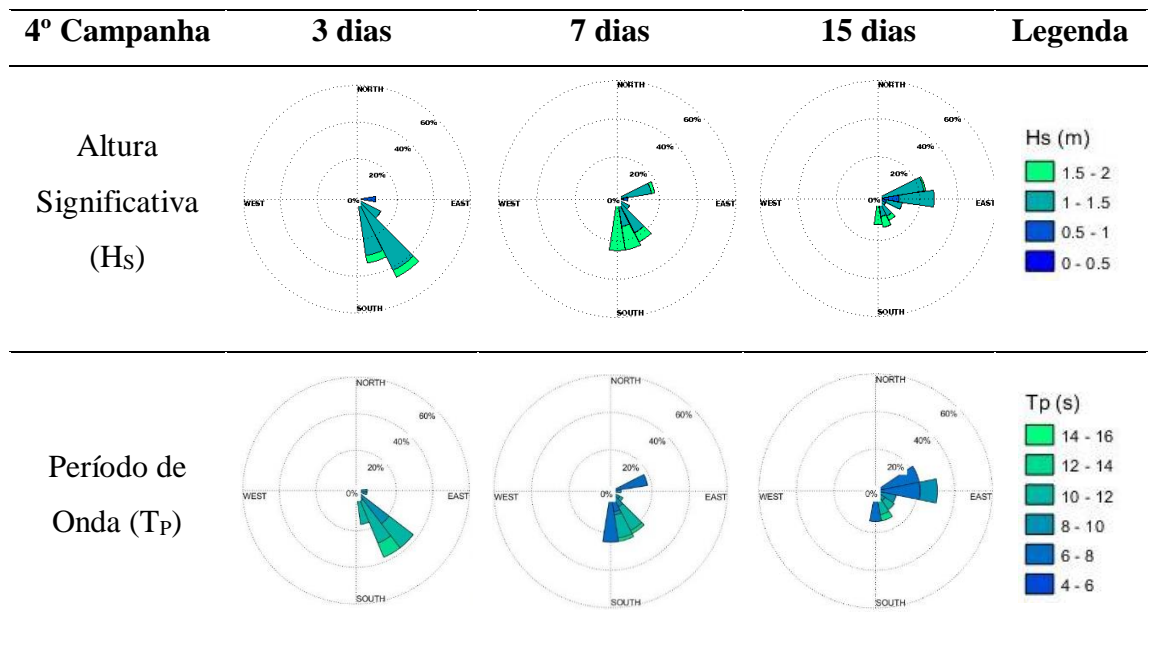
Tabela 7 - Gráficos dos parâmetros de onda,  $H_s$  e  $T_p$ , ao longo dos 3, 7 e 15 dias que se antecederam a terceira campanha, realizada entre 01 e 10 de abril de 2019.





Na quarta campanha as ondas foram prioritariamente provenientes do quadrante S e S-SE, sendo que nos dias imediatamente anteriores a campanha mais de 50% apresentaram alturas significativas entre 0,5 e 1,0 m e períodos entre 8 e 10 s.

Tabela 8 - Gráficos dos parâmetros de onda, HS e TP, ao longo dos 3, 7 e 15 dias que se antecederam a quarta campanha, realizada entre 09 e 14 de julho de 2019.



De maneira geral as condições de ondas que antecederam a primeira e a última campanha apresentaram maior energia que a segunda e terceira campanha, onde se observaram alturas e períodos menores. Estas condições de ondas estão diretamente ligadas às condições meteorológicas e são relacionadas à entrada de frentes frias. As ondas observadas na primeira campanha foram consequência de um mês (setembro de 2018) em que houve entradas de frentes frias com ventos pós-frontais persistentes, gerando ondas de maior energia e os maiores níveis de pluviosidade desde 2005. Por sua vez, as ondas observadas na quarta campanha ocorreram devido a entrada de uma forte frente polar associada a um evento de El Niño fraco, que possibilitou a geração de ondas de alta energia no início de julho de 2019.

### **3.1.2 Morfologia e Sedimentologia da Praia de Regência**

#### *3.1.2.1 Topobatimetria*

O perfil topobatimétrico de Regência apresentou comprimento máximo de 2300 m e mobilidade entre as campanhas devido ao alto grau de exposição das ondas. O perfil praiial submerso apresentou comprimento total em torno de 1900 m, alcançando profundidade máxima de 16 m (Figura 11). O perfil apresentou 0,18° de declividade até atingir a profundidade de fechamento, em torno de 14 m de profundidade e 300 m de distância da costa.

O perfil praiial topográfico apresentou comprimento total de 160 m, se estendendo 250 m em direção à zona de surfe e antepraia superior, indicando uma calha seguida de banco junto à base da face da praia. Comparando os perfis das quatro campanhas verifica-se a mobilização dos bancos, com sua migração da antepraia em direção à praia, e leve acreção de sedimentos na face praiial entre a primeira e a segunda campanha, associada à diminuição da energia das ondas na segunda campanha. Posteriormente, sob condições de ondas mais energéticas, se observa a migração de sedimentos no sentido da antepraia, com desaparecimento do banco e notável diminuição de sedimentos na face.

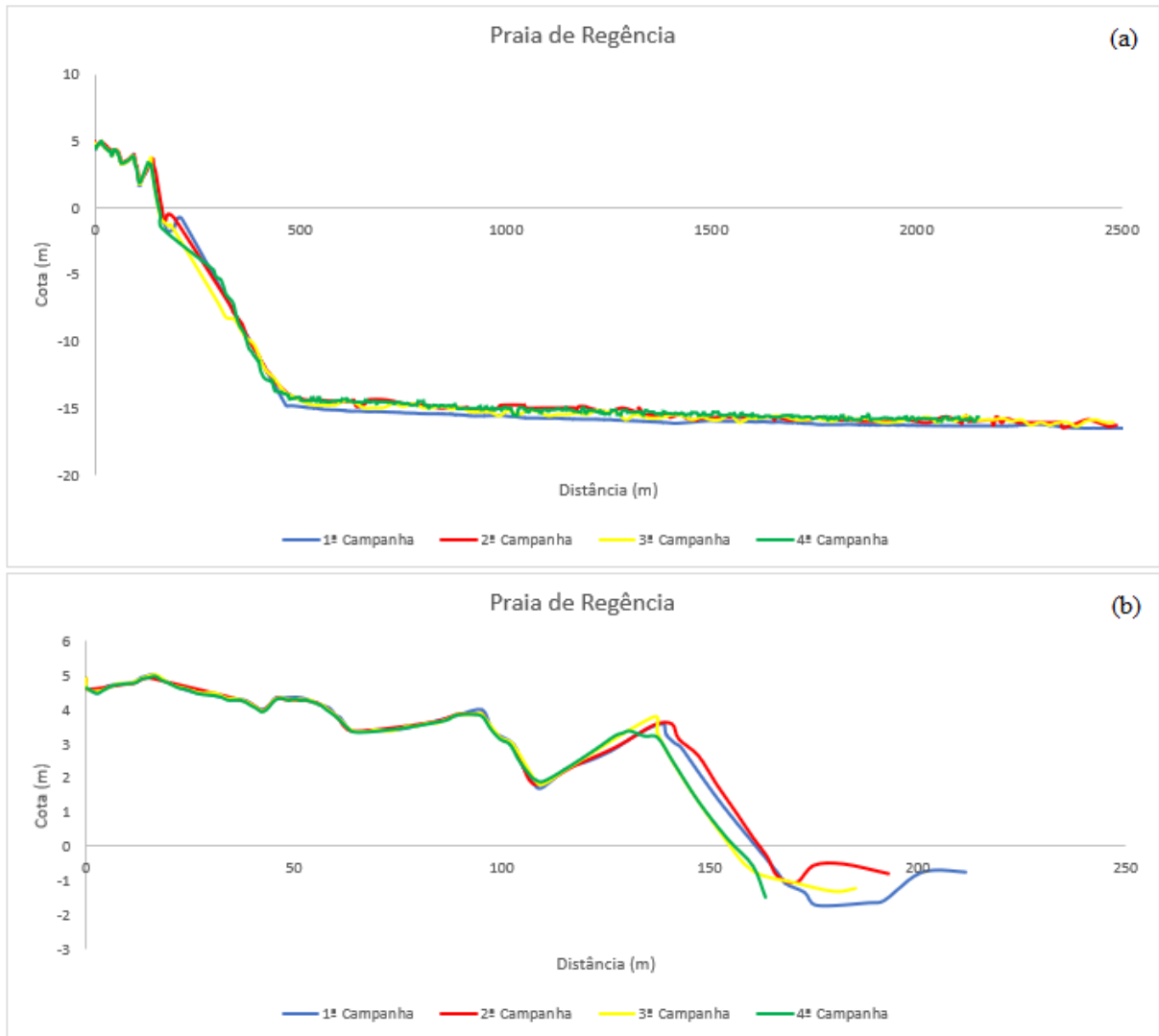


Figura 11 – Perfil topobatimétrico (a) e perfil da praia emersa (b) da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril de 2019.

### 3.1.2.2 Sedimentologia

Os sedimentos da praia de Regência são compostos predominantemente por areias siliciclásticas. Entretanto, se observa um elevado teor de carbonato a partir da profundidade de 5 m (>20%) na primeira campanha (Figura 12).

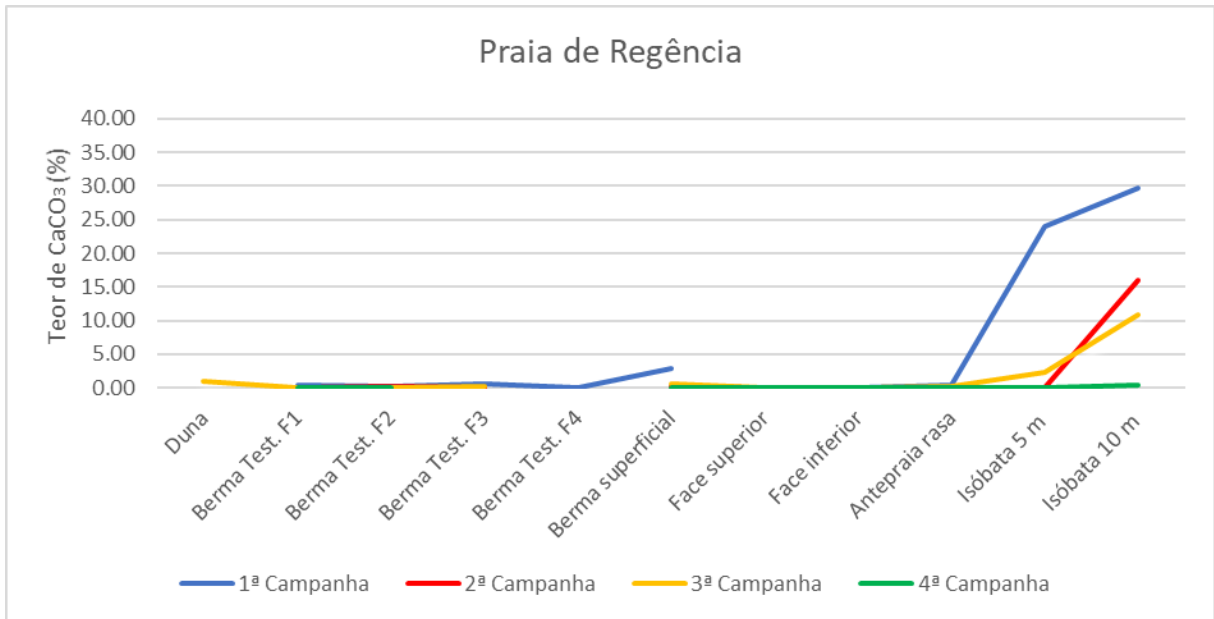


Figura 12 - Teor de CaCO<sub>3</sub> (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

Quanto aos minerais pesados se observam teores em torno de 6% na profundidade de 5 m, exceto no mês de setembro/2018, onde o pico na concentração de minerais pesados ocorre na antepraia rasa (3,18%) (Figura 13). Nas bermas se observam picos de concentração variando entre 1,38 a 5,44%.

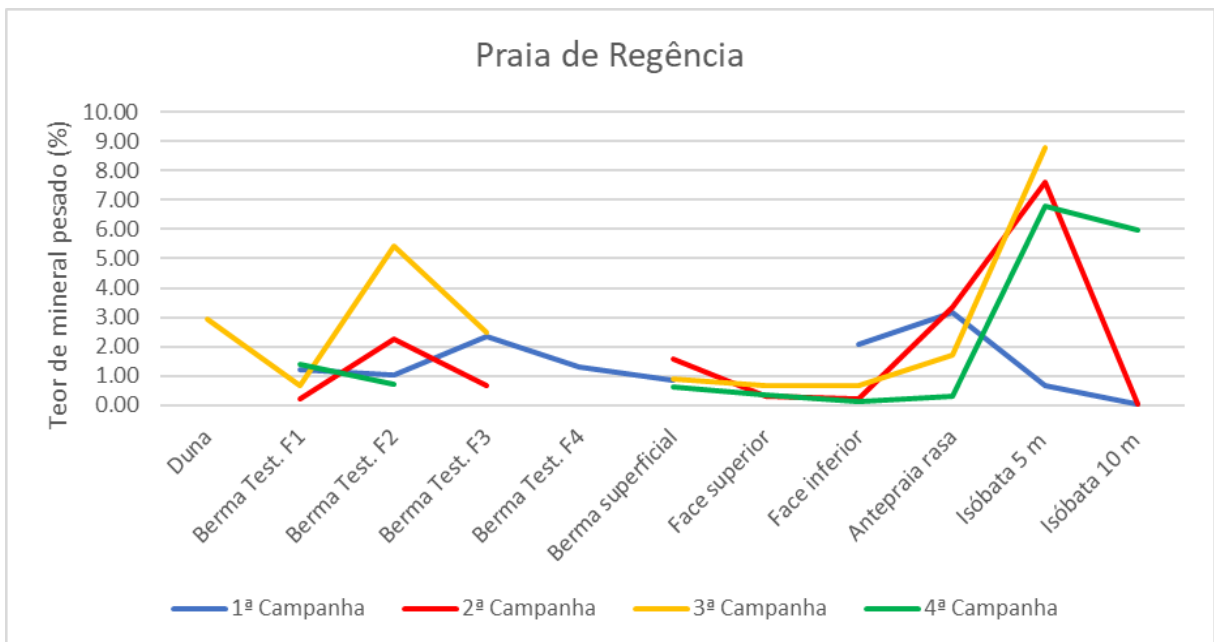


Figura 13 - Teor de minerais pesados (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

A praia de Regência, na porção emersa, apresentou areias muito grossas a médias (diâmetro médio variando de -0,70 a 1,69 phi), com assimetria variando entre -0,27 a 0,17 e moderado a

bom grau de seleção (0,79 a 0,41 phi). A porção submersa da praia caracterizou-se pelo afinamento das areias e presença de sedimentos lamosos a partir da profundidade de 5 m (Figura 14), tendo apresentado pobre grau de seleção (1,41) na antepraia, localizada na zona de surfe, onde ocorre migração de bancos e alto fluxo sedimentar.

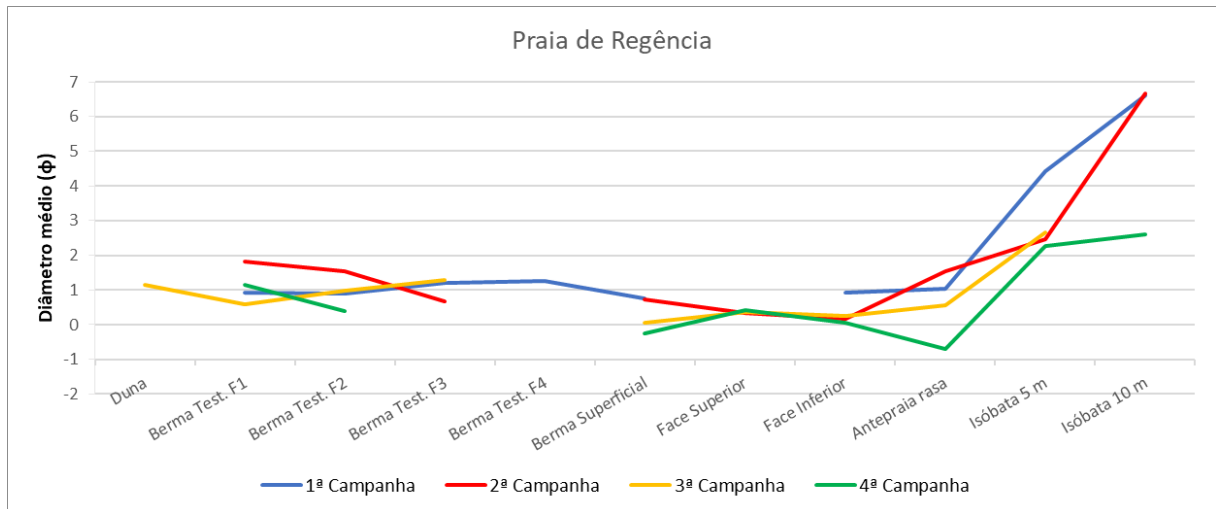


Figura 14 - Diâmetro médio do sedimento (em phi,  $\phi$ ) encontrado em cada ponto amostral da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

### 3.1.3 Morfologia e Sedimentologia da Praia de Comboios

#### 3.1.3.1 Topobatimetria

O perfil da antepraia de Comboios apresentou comprimento total de aproximadamente 2300 m e alcançou a profundidade máxima de 18 m (Figura 15), elevando-se gradativamente (declividade de 0,2°) até atingir a aproximadamente 7,2 m de profundidade e 80 m de distância da costa.

O perfil praiar emerso apresentou comprimento de 75 m, até o contato com o nível médio do mar, e se estendeu por mais 45 m em direção à zona de surfe e antepraia superior, até a profundidade de 1,5 m (Figura 15). Observa-se aumento no volume de sedimentos na berma da primeira para segunda campanha, associada a condições de ondas menos energéticas, seguido por uma diminuição de volume na berma e aplainamento do perfil até a quarta campanha, sob condições de ondas mais energéticas.



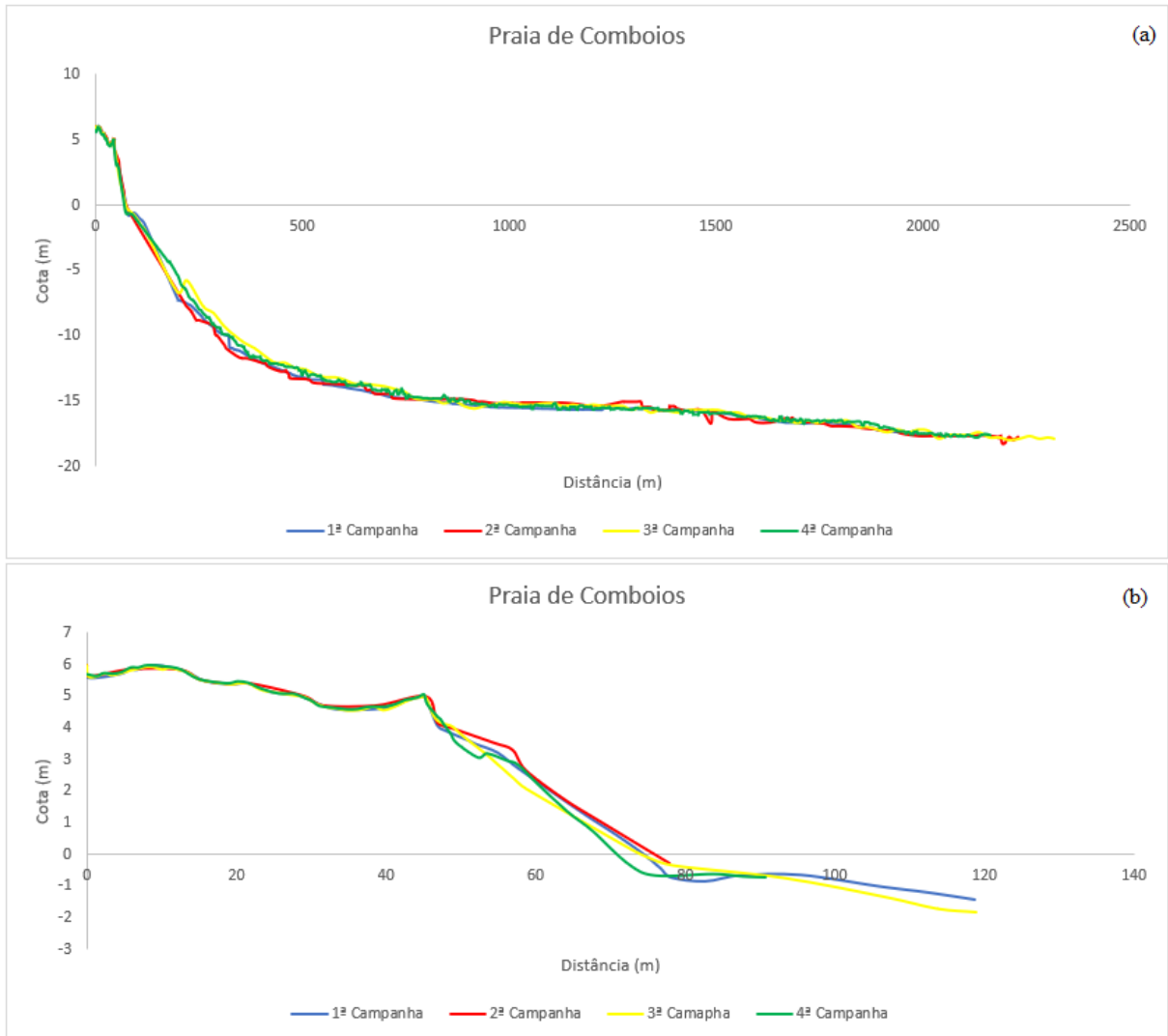


Figura 15 – Perfil topobatimétrico (a) e perfil da praia emersa (b) da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril de 2019.

### 3.1.3.2 Sedimentologia

As areias da praia de Comboios são compostas predominantemente por material siliciclástico. Na segunda campanha foi observado aumento no teor de carbonato a partir da profundidade de 10 m (>20%) (Figura 16).

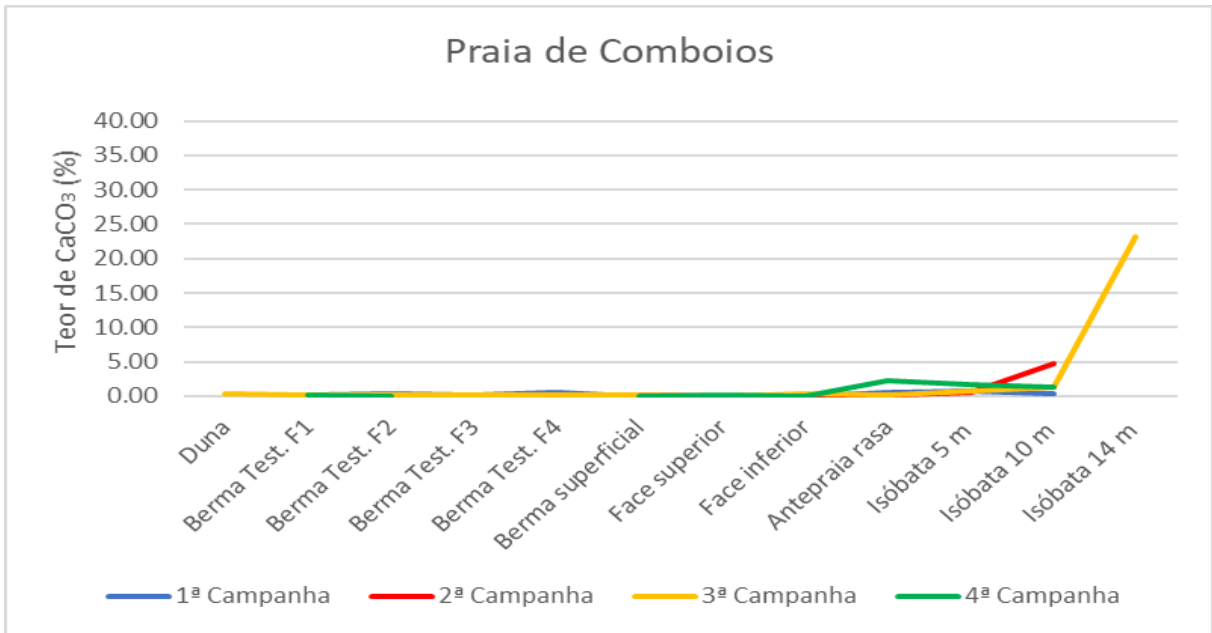


Figura 16 - Teor de CaCO<sub>3</sub> (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

Quanto aos teores de minerais pesados é observado na terceira campanha o aumento na concentração na antepraia rasa (3,40%). Nas demais campanhas teores mais elevados de minerais pesados ocorreram na profundidade de 5 m (de 1,98 a 6,19%) (Figura 17).

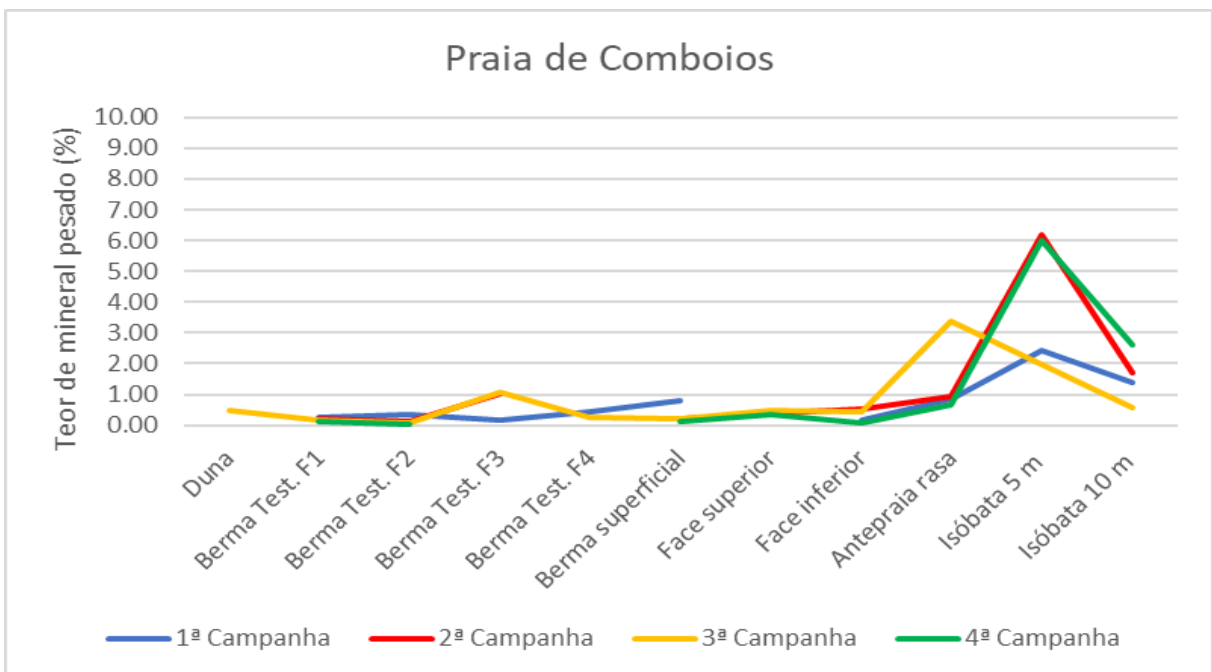


Figura 17 - Teor de minerais pesados (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

No perfil de Comboios os sedimentos da praia emersa foram classificadas como areias muito grossas a médias (diâmetro médio variando de -0,75 a 1,56 phi), com moderado a bom grau de seleção (0,90 a 0,42 phi) e assimetria variando entre -0,19 e 0,23. A porção submersa da praia

foi caracterizada por areias médias a finas (diâmetro médio variando de 1,29 a 2,67 phi), com moderado a bom grau de seleção (0,88 a 0,50 phi) e assimetria variando entre -0,08 e 0,14. Na terceira campanha foi realizada coleta a 15 m de profundidade e o diâmetro médio encontrado na amostra foi de 5,07 phi, classificado como silte grosso (Figura 18).

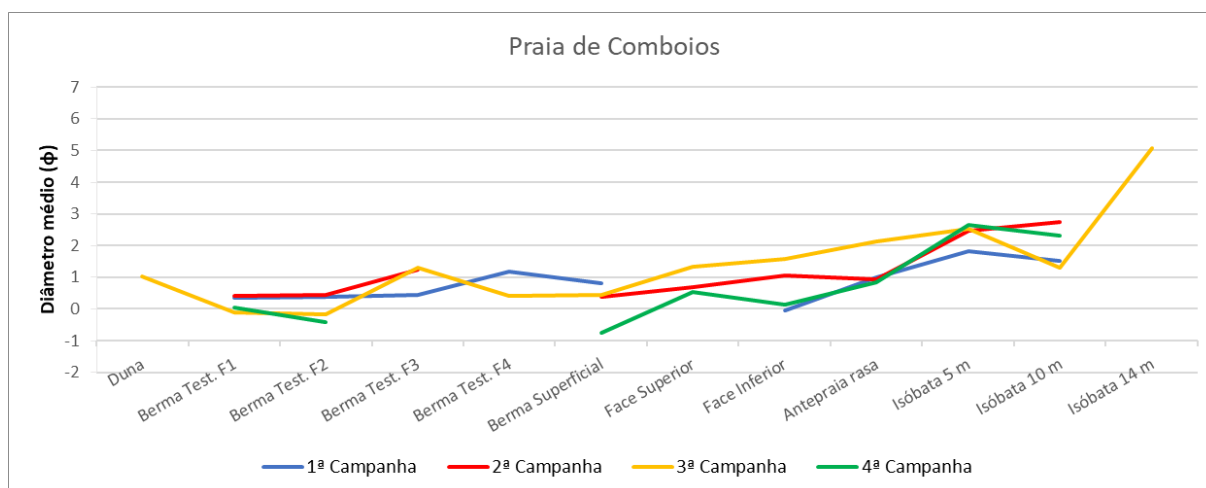


Figura 18 - Diâmetro médio do sedimento (em phi,  $\phi$ ) encontrado em cada ponto amostral da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

### 3.1.4 Morfologia e Sedimentologia da Praia de Barra do Riacho

#### 3.1.4.1 Topobatimetria

O perfil praiado submerso de Barra do Riacho foi levantado de 100 a 2000 m de distância da costa, até a profundidade de 16 m (Figura 19). A profundidade de fechamento da antepraia superior foi observada em torno de 8 m abaixo do nível médio do mar e o limite da antepraia inferior em torno dos 14 m. A mobilidade deste perfil é menos evidenciada, embora se observe modificações no volume de sedimentos na face da praia e formação de bermas no período entre as campanhas, associadas as variações nas condições de onda.

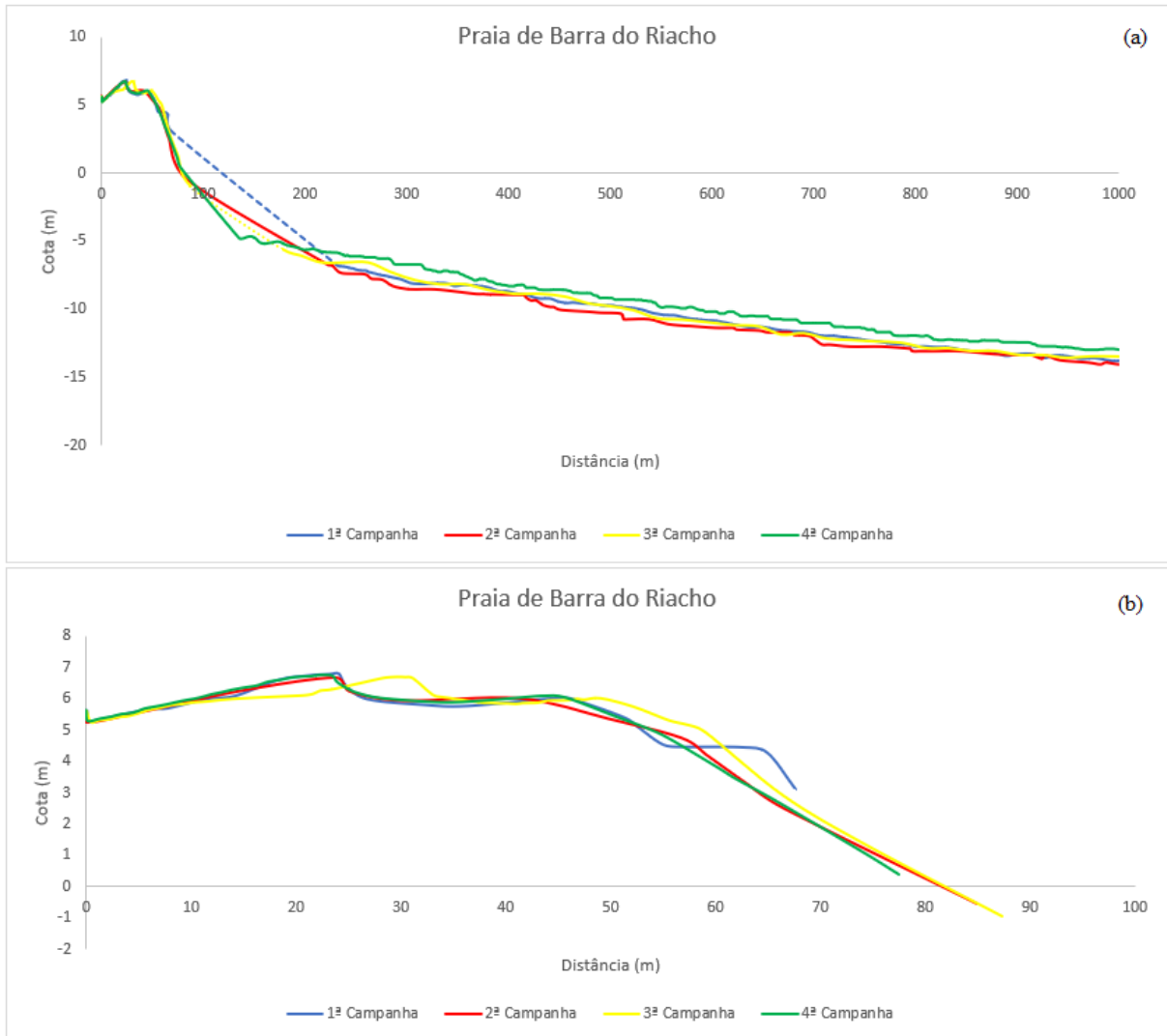


Figura 19 – Perfil topobatimétrico (a) e perfil da praia emersa (b) da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril de 2019. Em tracejada região onde não houve medição batimétrica.

#### 3.1.4.2 Sedimentologia

A praia de Barra do Riacho é composta predominantemente por cascalhos e areias siliciclásticas, contudo observou-se um aumento no teor de carbonatos na profundidade de 5 m (41,76%) na segunda campanha. Em todas as campanhas encontrou-se teores mais elevados de carbonatos na profundidade de 10 m (>15%) (Figura 20).

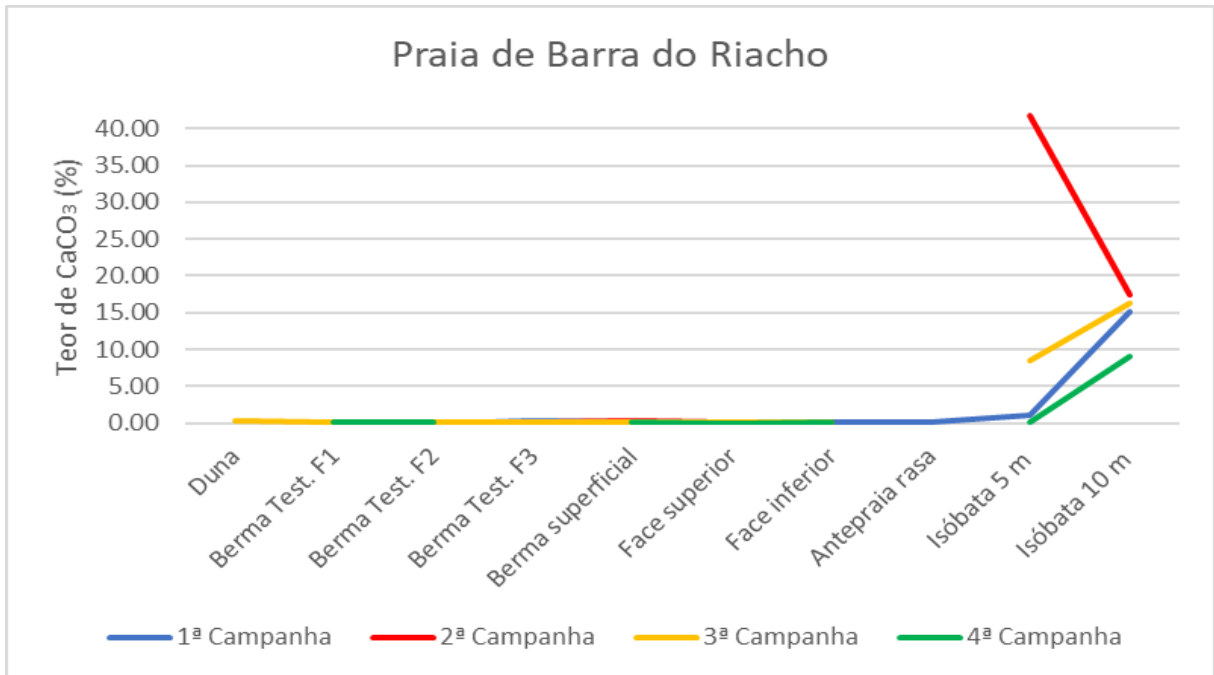


Figura 20 – Teor de CaCO<sub>3</sub> (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

Quanto aos teores de minerais pesados, observou-se um aumento na profundidade de 5 m (1,35%) na segunda campanha. Em todas as campanhas encontrou-se concentrações mais elevadas de minerais pesados na profundidade de 10 m (de 0,91 a 2,09%) (Figura 21).

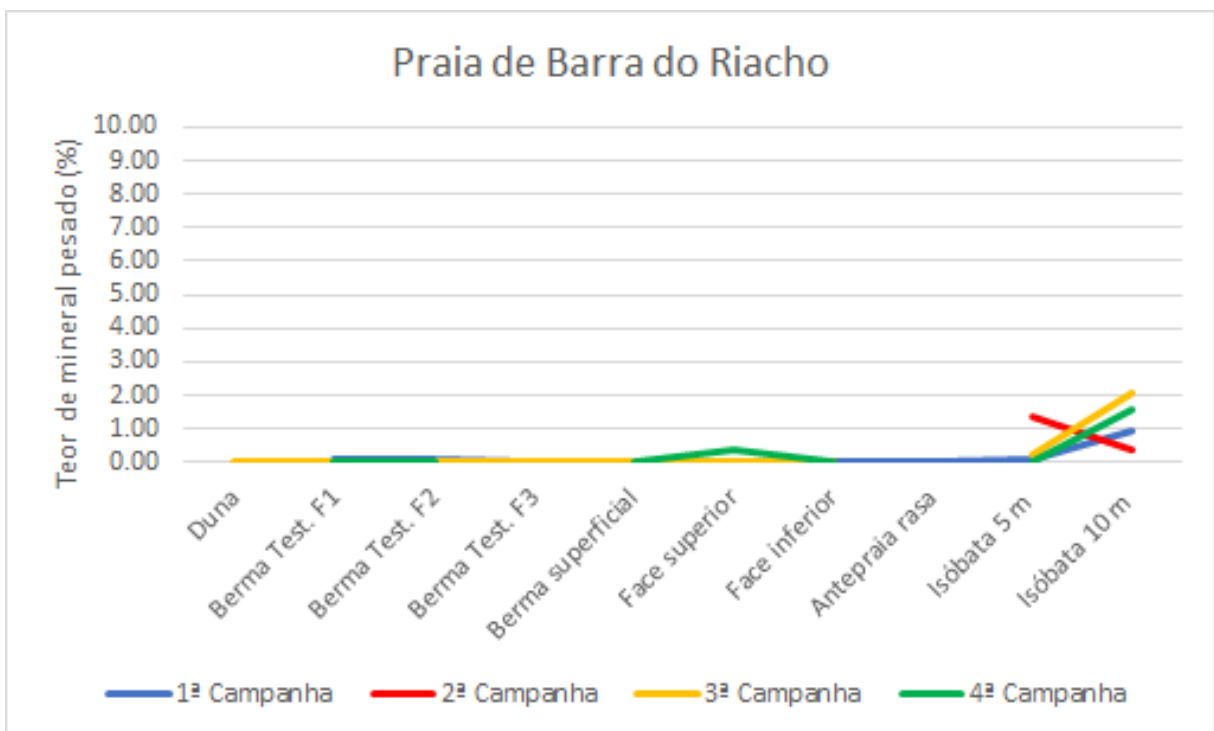


Figura 21 – Teor de minerais pesados (%) encontrado em cada ponto amostral da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

No perfil de Barra do Riacho a praia emersa apresentou cascalhos muito finos a areias muito grossas, (diâmetro médio variando de -1,14 a -0,21 phi), com moderado a muito bom grau de seleção (1,39 a 0,33 phi) e assimetria variando entre -0,34 e 0,08. A porção submersa da praia caracterizou-se por areias grossas a finas (diâmetro médio variando de 2,11 a 0,04 phi), com moderado a muito bom grau de seleção (0,73 a 0,34 phi) e assimetria variando entre -0,28 e 0,12 (Figura 22).

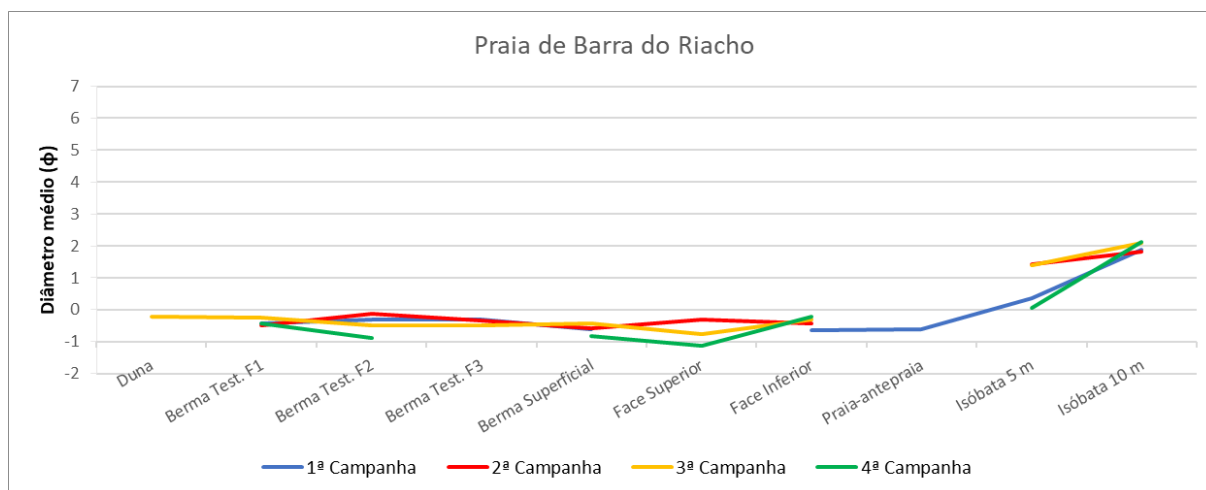


Figura 22 - Diâmetro médio do sedimento (em phi,  $\phi$ ) encontrado em cada ponto amostral da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

### 3.1.5 A Morfodinâmica dos Perfis e o Aporte Fluvial

As morfologias das praias adjacentes a desembocadura do rio Doce são diretamente influenciadas pela evolução da planície costeira - constantemente alimentada pela carga fluvial (ALBINO *et al.*, 2016; ALBINO & SUGUIO, 2010) e por sedimentos transportados pelas correntes longitudinais (DOMINGUEZ *et al.*, 1992; MARTIN & SUGUIO, 1992). A alternância na direção destas correntes, devido a variação sazonal das direções das ondas, gera alta mobilidade nas praias, acarretando em processos erosivos e construtivos que moldaram a evolução da planície costeira do rio Doce (BITTENCOURT *et al.*, 2007). Entretanto, embora ocorram inversões sazonais no sentido do transporte longitudinal de sedimentos, de acordo com Oliveira *et al.*, (2015), elas não têm influência nos valores do transporte líquido predominante para norte, corroborando com a evolução paleogeográfica descrita por Martin *et al.* (1993).

Nas praias abordadas, ao sul da desembocadura, o transporte de sul para norte associado a orientação sudeste da linha de costa favorece a deposição dos sedimentos fluviais mais próximos a desembocadura (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Segundo Dominguez *et al.* (1983) essa deposição é acentuada devido ao efeito do molhe hidráulico produzido pelo fluxo do rio Doce,

fazendo com que os sedimentos trazidos pela deriva sejam trapeados próximos a desembocadura.

Assim sendo, as altas ondas incidentes e o elevado grau de exposição do litoral que abrange estas praias torna o perfil de fechamento interno estendido, alcançando profundidades de 5 a 8 m. Observa-se alta mobilidade dos perfis nas praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho entre as quatro campanhas (Figura 11, Figura 15 e Figura 19), sendo possível identificar um padrão na mobilidade associado as condições de onda. Entre a primeira e a segunda campanha, sob condições de onda de menor energia, verifica-se aumento no volume de sedimentos no perfil emerso e, conseqüente, aumento no gradiente de declividade. Entre a segunda e a quarta campanha, sobretudo na quarta campanha, houve a redução de volume de sedimentos na praia e aplainamento no perfil, associado a condições de ondas mais energéticas.

Longitudinalmente há alteração do padrão de mobilidade relacionado ao distanciamento da desembocadura. Na praia de Regência observa-se um perfil mais extenso onde o rio gera amortecimento das ondas favorecendo a formação de bancos que migram entre antepraia e praia de acordo com as condições energéticas do sistema (Figura 11). Corroborando com o descrito por Albino *et al.* (2016), nas proximidades da desembocadura a contribuição constante de carga fluvial gera a progradação da linha de costa e, por sua vez, a exposição as ondas e as flutuações na carga e descarga fluvial mantém alta mobilidade desse perfil (BITTENCOURT *et al.*, 2007). A praia de Comboios, assim como a de Regência, apresenta bancos arenosos em seu perfil, embora estes sejam menos evidenciados, bem como sua migração (Figura 15). Por sua vez, a praia de Barra do Riacho não apresenta influência fluvial, nota-se um perfil menos extenso com alta declividade e sem presença de bancos (Figura 19).

As praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho se apresentam como praias siliciclásticas de areias médias a muito grossas, com moderado a bom grau de seleção, sendo observada tendência associada a influência do aporte fluvial, onde a praia de maior proximidade a desembocadura, Regência, apresenta indicadores que refletem esse aporte, com menor grau de seleção e menores granulometrias.

A influência do rio sobre a deposição dos sedimentos é evidenciada pela distribuição de lama (Figura 14, Figura 18 e Figura 22). Ao longo do monitoramento, a fração lamosa foi encontrada somente nos pontos de coleta da antepraia inferior (isóbata de 5 m e 10 m) das praias de Regência e Comboios, não sendo verificada nem nas coletas superficiais e nem nas fácies das trincheiras de 1 m, e em Barra do Riacho não houve presença de lama em nenhuma das campanhas. Observa-se que a lama apresentou teores mais altos na estação próxima à

desembocadura do rio Doce, praia de Regência, onde é conhecida a atuação da descarga e carga do rio Doce na morfodinâmica praial (QUARESMA *et al.*, 2015; ALBINO & SUGUIO, 2010).

Nota-se que a deposição da lama é favorecida em maiores profundidades, também devido ao alto grau de exposição às ondas, entretanto, todos os pontos amostrais são considerados área ativa do perfil praial, anteriores a profundidade de fechamento da praia. Nas isóbatas onde foram registrados maiores teores de lama, minerais pesados e carbonatos os sedimentos são passíveis de serem transportados para a praia emersa. A alta mobilidade dos perfis na praia entre as campanhas, com a migração de banco da antepraia para a praia nas estações mais próximas ao rio, valida a troca sedimentar transversal.

Corroborando com as granulometrias encontradas nos perfis, a análise composicional destas praias indica maior influência do rio relacionada a proximidade com a desembocadura, evidenciada pelas maiores concentrações de minerais pesados. Maiores teores também estão associados a maiores profundidades, onde a mobilidade é menor. Ressaltando que variações sazonais nos teores de minerais pesados são, em grande parte, devido às alterações das condições de ondas. Ondas mais energéticas transportam para fora do sistema sedimentos leves e deixam como sedimento residual os de maior densidade.

As condições supracitadas que favorecem a deposição da lama são refletidas no padrão de distribuição da concentração de minerais pesados. Observa-se que maiores concentrações de minerais pesados são verificadas nas proximidades da desembocadura do rio Doce. A variação nas concentrações de minerais pesados também pode ser utilizada como traçador do sentido do transporte, validando a distribuição dos sedimentos provindos do rio Doce no sentido N-S. É possível notar maiores porcentagens de minerais pesados em todo o perfil praial à medida que se aproximam da desembocadura do rio.

Observa-se assim que as praias em questão compõem um extenso litoral ao sul da desembocadura do rio Doce e, portanto, sofrem influência direta dos processos de evolução desta planície costeira, recebendo de maneira contínua o aporte fluvial (ALBINO *et al.*, 2016; ALBINO & SUGUIO, 2010). O que é evidenciado com engrossamento das areias e, conseqüente, aumento no gradiente do perfil, com o distanciamento do rio Doce, onde areias médias a grossas encontradas em Regência são substituídas por areias muito grossas em Barra do Riacho.

Estudos feitos em praias de planícies deltaicas de grandes rios indicam que há forte relação entre a morfodinâmica das praias e o aporte fluvial, como visto nas adjacências das



desembocaduras do rio Mekong no Vietnã (ANTHONY *et al.*, 2017), onde se analisou a topografia, as condições de onda e as correntes e se observou períodos de erosão e acreção associadas as variações do rio; do rio São Francisco nos EUA (HANSEN *et al.*, 2013), onde o estudo se baseou em um modelo de transporte sedimentar que indicou que a erosão nas praias está diretamente associada a diminuição do aporte sedimentar do São Francisco e; do rio Nilo no Egito (NAFAA & FRIHY, 1993), onde análises da topobatimetria, de imageamento aéreo e observações de campo permitiram relacionar o estado morfodinâmico das praias ao grau de influência do rio Nilo.

Vespremeanu-Stroe e Proteasa (2006), através de análises topobatimétricas, de transporte sedimentar e condições meteorológicas, observaram que o desenvolvimento das dunas de praias adjacentes ao delta do Danúbio sofre influência do rio, onde processos de erosão e deposição estão associados aos períodos de seca e cheia do Danúbio. É descrito pelos autores, corroborando com a retórica de que as características morfodinâmicas de praias próximas a planícies deltaicas possuem ligação direta com o alcance da carga fluvial, que com o distanciamento da desembocadura se observam praias de morfologia moderadamente erosiva, enquanto que as praias onde a contribuição do Danúbio é significativa apresentam equilíbrio dinâmico.

Assim sendo, o padrão de afinamento das areias, bem como a maior mobilidade dos perfis de praia, associada a proximidade da desembocadura fluvial do rio Doce está de acordo com o comportamento observado em praias próximas a planícies deltaicas ao redor do mundo.

## 3.2 A SEDIMENTOLOGIA DAS AREIAS E O GRADIENTE DA FACE PRAIAL

### 3.2.1 Sedimentologia e gradiente da Face da Praia de Regência

A praia de Regência é essencialmente siliciclástica e suas areias são classificadas como muito grossas a médias. Apresenta maior presença de grãos menores na face praial, com afinamento mais evidenciado na antepraia. Apesar disso, na quarta campanha verificou-se a inversão deste padrão, com um engrossamento dos grãos no sentido face superior à antepraia (Tabela 10).

De maneira geral as areias desta praia possuem moderado a bom grau de seleção em toda extensão do perfil, entretanto, nas terceira e quarta campanhas os sedimentos da antepraia apresentaram pobre grau de seleção, onde nota-se a presença de maiores teores de cascalho (Tabela 10).

Quanto aos teores de mineral pesado, apresentou maiores valores na região da antepraia, não havendo grandes diferenças de concentração destes minerais entre a face superior e a face inferior (Tabela 10).

Tabela 9 - Diâmetro médio, desvio padrão e grau de seleção dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

	Campanha	D50 ( $\phi$ )	Granulometria Média (Wentworth, 1922)	Desvio Padrão ( $\phi$ )	Grau de seleção (Folk & Ward, 1957)
Face Superior	1 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	2 <sup>a</sup>	0,338	Areia grossa	0,559	Moderado a bom
	3 <sup>a</sup>	0,364	Areia grossa	0,753	Moderado
	4 <sup>a</sup>	0,426	Areia grossa	0,431	Bom
Face Inferior	1 <sup>a</sup>	0,911	Areia grossa	0,491	Bom
	2 <sup>a</sup>	0,161	Areia muito grossa	0,444	Bom
	3 <sup>a</sup>	0,249	Areia grossa	0,545	Moderado a bom
	4 <sup>a</sup>	0,054	Areia grossa	0,413	Bom
Antepraia rasa	1 <sup>a</sup>	1,048	Areia grossa	0,828	Moderado
	2 <sup>a</sup>	1,532	Areia média	0,820	Moderado
	3 <sup>a</sup>	0,552	Areia grossa	1,408	Pobre
	4 <sup>a</sup>	-0,700	Areia muito grossa	1,069	Pobre

Tabela 10 – Composição granulométrica das areias (WENTWORTH, 1922) e teor de minerais pesados dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Regência nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

	Campanha	Areia Muito Grossa (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Areia Muito Fina (%)	Mineral Pesado (%)
Face Superior	1 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-
	2 <sup>a</sup>	39,16	55,95	4,45	0,02	0,00	0,31
	3 <sup>a</sup>	23,29	55,56	17,57	0,00	0,00	0,65
	4 <sup>a</sup>	15,18	79,00	4,88	0,00	0,00	0,38
Face Inferior	1 <sup>a</sup>	2,75	65,49	29,43	0,00	0,00	2,06
	2 <sup>a</sup>	45,15	52,07	1,90	0,30	0,06	0,22
	3 <sup>a</sup>	35,10	57,03	7,70	0,00	0,00	0,68
	4 <sup>a</sup>	46,77	51,78	1,13	0,00	0,00	0,13
Antepraia rasa	1 <sup>a</sup>	7,75	48,36	31,92	0,00	0,00	3,18
	2 <sup>a</sup>	5,32	25,09	44,16	23,07	2,23	3,33
	3 <sup>a</sup>	21,99	23,46	27,17	0,00	0,00	1,73
	4 <sup>a</sup>	40,73	27,50	3,09	0,00	0,00	0,30

O gradiente da face da praia de Regência é representado abaixo (Tabela 11), através do grau de declividade observado em campo.

Tabela 11 - Declividade da face praial observada nos monitoramentos feitos em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019, em Regência.

	Campanha	Declividade da face (°)
Regência	1 <sup>a</sup>	8,82
	2 <sup>a</sup>	9,52
	3 <sup>a</sup>	9,94
	4 <sup>a</sup>	9,39

### 3.2.2 Sedimentologia e Gradiente da Face da Praia de Comboios

A praia de Comboios é composta essencialmente por areias siliciclásticas, classificadas como muito grossas a médias. Apresenta areias grossas a médias na face praial com afinamento em direção a antepraia, embora não haja grande discrepância entre a granulometria média da face superior, face inferior e antepraia. (Tabela 12 e Tabela 13).

De maneira geral as areias desta praia possuem moderado a bom grau de seleção em toda extensão do perfil (Tabela 12).

Notam-se baixos teores de mineral pesado em todos os pontos amostrais em todas as campanhas (Tabela 13). Na antepraia, durante a terceira campanha, se observa o teor de mineral pesados mais elevado amostrado.

Tabela 12 - Diâmetro médio, desvio padrão e grau de seleção dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

	Campanha	D50 (φ)	Granulometria Média (Wentworth, 1922)	Desvio Padrão (φ)	Grau de seleção (Folk & Ward, 1957)
Face Superior	1 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	2 <sup>a</sup>	0,678	Areia grossa	0,552	Moderado a bom
	3 <sup>a</sup>	1,332	Areia média	0,777	Moderado
	4 <sup>a</sup>	0,544	Areia grossa	0,862	Moderado
Face Inferior	1 <sup>a</sup>	-0,053	Areia muito grossa	0,499	Bom
	2 <sup>a</sup>	1,061	Areia grossa	0,665	Moderado a bom
	3 <sup>a</sup>	1,575	Areia média	0,695	Moderado a bom
	4 <sup>a</sup>	0,152	Areia grossa	0,415	Bom
Antepraia rasa	1 <sup>a</sup>	1,007	Areia grossa	0,806	Moderado
	2 <sup>a</sup>	0,933	Areia grossa	0,890	Moderado
	3 <sup>a</sup>	2,125	Areia fina	0,740	Moderado
	4 <sup>a</sup>	0,851	Areia grossa	0,808	Moderado

Tabela 13 - Composição granulométrica das areias (WENTWORTH, 1922) e teor de minerais pesados dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Comboios nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

	Campanha	Areia Muito Grossa (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Areia Muito Fina (%)	Mineral Pesado (%)
Face Superior	1 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-
	2 <sup>a</sup>	16,65	65,14	17,73	0,25	0,00	0,38
	3 <sup>a</sup>	4,50	29,50	46,75	0,00	0,00	0,5
	4 <sup>a</sup>	26,68	42,46	25,55	0,00	0,00	0,36
Face Inferior	1 <sup>a</sup>	54,99	42,89	1,68	0,00	0,00	0,17
	2 <sup>a</sup>	3,26	48,98	41,45	6,08	0,20	0,52
	3 <sup>a</sup>	3,38	14,52	53,97	0,00	0,00	0,45
	4 <sup>a</sup>	34,56	63,15	2,15	0,00	0,00	0,07
Antepraia rasa	1 <sup>a</sup>	12,44	44,18	34,82	0,00	0,00	0,84
	2 <sup>a</sup>	17,55	37,88	33,21	9,91	1,03	0,93
	3 <sup>a</sup>	0,86	6,87	29,57	0,00	0,00	3,4
	4 <sup>a</sup>	10,38	50,97	28,37	0,00	0,00	0,67

O gradiente da face da praia de Comboios é representado abaixo (Tabela 14), através do grau de declividade observado em campo.

Tabela 14 - Declividade da face praial observada nos monitoramentos feitos em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019, em Comboios.

	Campanha	Declividade da face (°)
Comboios	1 <sup>a</sup>	9,50
	2 <sup>a</sup>	8,65
	3 <sup>a</sup>	6,48
	4 <sup>a</sup>	11,63

### 3.2.3 Sedimentologia e Gradiente da Face da Praia de Barra do Riacho

A praia de Barra do Riacho é essencialmente siliciclásticas e é composta por sedimentos classificados como cascalho muito finos a areias muito grossas. A face praial apresenta também cascalhos muito finos a areias muito grossas, com afinamento em direção a antepraia (Tabela 16).

De maneira geral os sedimentos desta praia possuem moderado a bom grau de seleção em toda extensão do perfil (Tabela 15).

Notam-se baixos teores de mineral pesado em todos os pontos amostrais em todas as campanhas (

Tabela 16).

Tabela 15 - Diâmetro médio, desvio padrão e grau de seleção dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

	Campanha	D50 ( $\phi$ )	Granulometria Média (Wentworth, 1922)	Mineral pesado (%)	Grau de seleção (Folk & Ward, 1957)
Face Superior	1 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	2 <sup>a</sup>	-0,321	Areia muito grossa	0,02	Bom
	3 <sup>a</sup>	-0,76	Areia muito grossa	0,04	Moderado a bom
	4 <sup>a</sup>	-1,134	Cascalho muito fino	0,37	Bom
Face Inferior	1 <sup>a</sup>	-0,634	Areia muito grossa	0,05	Bom
	2 <sup>a</sup>	-0,434	Areia muito grossa	0,02	Moderado a bom
	3 <sup>a</sup>	-0,309	Areia muito grossa	0,02	Bom
	4 <sup>a</sup>	-0,214	Areia muito grossa	0,02	Bom
Antepraia rasa	1 <sup>a</sup>	-0,623	Areia muito grossa	0	Bom
	2 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	3 <sup>a</sup>	-	-	-	-
	4 <sup>a</sup>	-	-	-	-

Tabela 16 - Composição granulométrica das areias (WENTWORTH, 1922) e teor de minerais pesados dos sedimentos da face praial e antepraia rasa da praia de Barra do Riacho nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019.

	Campanha	Areia Muito Grossa (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Areia Muito Fina (%)	Mineral Pesado (%)
Face Superior	1 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-
	2 <sup>a</sup>	89,24	3,92	0,04	0,00	0,00	0,02
	3 <sup>a</sup>	79,21	1,11	0,00	0,00	0,00	0,04
	4 <sup>a</sup>	55,12	0,39	0,04	0,00	0,00	0,37
Face Inferior	1 <sup>a</sup>	86,67	3,21	0,04	0,00	0,00	0,05
	2 <sup>a</sup>	96,75	1,23	0,00	0,00	0,00	0,02
	3 <sup>a</sup>	83,15	16,85	0,00	0,00	0,00	0,02
	4 <sup>a</sup>	69,07	29,24	0,04	0,00	0,00	0,02
Antepraia rasa	1 <sup>a</sup>	92,65	0,36	0,04	0,00	0,00	0,00
	2 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-
	3 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-
	4 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-

O gradiente da face da praia de Barra do Riacho é representado abaixo (

Tabela 17), através do grau de declividade observado em campo.

Tabela 17 - Declividade da face praial observada nos monitoramentos feitos em setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019, em Barra do Riacho.

	<b>Campanha</b>	<b>Declividade da face (°)</b>
	1 <sup>a</sup>	7,30
Barra do Riacho	2 <sup>a</sup>	9,42
	3 <sup>a</sup>	10,28
	4 <sup>a</sup>	10,31

### 3.2.4 Atuação dos Parâmetros Sedimentológicos no Gradiente da Face da Praia

O gradiente das praias está diretamente relacionado ao diâmetro médio dos grãos da face praial, sendo possível modelar através destes toda a extensão do perfil (BASCON, 1951; DEAN, 1977). Segundo Butt *et al.* (2000), a granulometria dos sedimentos é determinante nos processos de infiltração/exfiltração e nos efeitos da camada limite na mobilização dos sedimentos da face, que por sua vez, são responsáveis pela construção do perfil praial (NIELSEN, 1998; BUJAN *et al.* 2019). Praias que apresentam granulometria fina são estabilizadas pelos processos de infiltração, isto é, apresentam menor transporte no fluxo de subida do espraçamento. Entretanto, em praias como Regência, Comboios e Barra do Riacho, com sedimentos de maiores granulometrias, os efeitos da camada limite podem se tornar dominantes, o que aumenta significativamente o transporte no fluxo de subida do espraçamento (BUTT *et al.*, 2000; NIELSEN, 1998). Desta forma, nestas praias o transporte de sedimentos em direção à berma favorece o desenvolvimento da face com declividade mais acentuada, enquanto que em praias com sedimentos menores o transporte na face favorece um perfil de menor declividade (Figura 5).

Investigações feitas por Bujan *et al.* (2019) demonstram a relação entre a morfologia da praia e o tamanho dos grãos. Neste estudo os autores analisaram 2144 amostras de praias com granulometria que variou de areia muito fina a cascalho. Foi observado que o gradiente tende a se acentuar com o aumento da granulometria do sedimento, embora essa relação não seja tão simples, apresentando variação na curva de relação em sedimentos cascalhosos, onde se observa

uma suave atenuação do perfil indicando que praias formadas por cascalhos e seixos possam estabelecer relação diferenciada entre o gradiente e o tamanho do grão (BUJAN *et al.*, 2019).

Em praias com areias finas e médias, como Regência e Comboios, os resultados mostram que o peso específico dos sedimentos que compõem a praia exerce grande influência no comportamento morfodinâmico, apresentando praias com perfis variados, que podem ser dominadas por processos de infiltração/exfiltração ou pelos efeitos da camada limite (BUJAN *et al.*, 2019; BUTT *et al.*, 2000).

Analisando-se os sedimentos da face das praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho identifica-se que os resultados encontrados corroboram com o que foi apresentado na discussão anterior, que as praias com menores granulometrias apresentam menores gradientes. Ou seja, que nas praias de Regência e Comboios observam-se declividades menos acentuadas do que na praia de Barra do Riacho.

As granulometrias dos sedimentos encontrados nas praias estão também relacionadas ao ambiente onde estas se inserem e, em praias como a de Regência, localizada próxima a desembocadura fluvial e com maior aporte de minerais pesados, é esperado um afinamento dos grãos devido a equivalência hidráulica, que estabelece que minerais com maior peso específico e menor granulometria possam apresentar a mesma velocidade de decantação que minerais de menor peso específico e maior tamanho (RUBEY, 1933). Desta forma, os minerais pesados mais densos e menores se depositam com grãos maiores e menos densos de quartzo, sendo dificilmente removidos do sistema devido a essa maior densidade.

Como consequência deste processo observa-se o afinamento dos grãos em praias com maiores proporções de minerais pesados, bem como granulometria com menor grau de seleção, associado a maior diversidade composicional destes sedimentos (RUBEY, 1933; ADDAD, 2001). A menor seleção das areias da face das praias reflete diretamente na permeabilidade desses sedimentos e consequentemente nos processos de infiltração e exfiltração ocorridos na face. Por via de regra, sedimentos com menor grau de seleção como os da praia de Regência apresentam menor permeabilidade do que sedimentos mais bem selecionados, como os encontrados na praia de Barra do Riacho (SUGUIO, 2003; ROGERS & HEAD, 1961).

Assim sendo é esperado que pela proximidade com a desembocadura fluvial a praia de Regência apresente altos teores de minerais pesados, menor granulometria média, baixo grau de seleção e, consequentemente, um perfil aplainado. O que não é verificado nos resultados e observações

de campo, onde esta praia apresenta maiores teores de minerais pesados apenas quando comparada a Comboios e Barra do Riacho.

As praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho são praias expostas e esta característica também exerce influência sobre o perfil praial. Segundo McFall (2019), ao analisar dados de 181 praias arenosas ao redor do mundo, a relação entre o tamanho de grão da praia e o gradiente da face praial tem de ser estabelecida levando-se em consideração o grau de exposição das praias. Suas análises confirmam tendências previamente identificadas de que há aumento do gradiente na face da praia com o aumento do tamanho dos grãos e diminuição da exposição da praia à energia das ondas (MCFALL, 2019; WIEGEL, 1964).

A relação entre o grau de exposição das praias e o gradiente da face praial se estabelece devido a tendência de aumento do tamanho dos grãos com o aumento da exposição as ondas incidentes (PRODGER *et al.*, 2017, WIEGEL, 1964). De acordo com estudos feitos por Prodger *et al.* (2017) em 53 pontos amostrais na península sudoeste do Reino Unido, o grau de exposição das praias à energia das ondas age diretamente no transporte dos sedimentos e, conseqüentemente, na morfodinâmica destas praias. O aumento no tamanho dos grãos de praias arenosas expostas foi de até 51,7%, quando comparadas a regiões menos expostas ou abrigadas, e a correlação encontrada para a energia das ondas e a granulometria de 0,998.

Entretanto, em contraponto ao que pode se esperar de praias próximas a um rio de carga fluvial repleta de minerais pesados, Regência e Comboios apresentam praias essencialmente siliciclásticas. Por serem praias expostas, apresentam areias médias a grossas que, devido a equivalência hidráulica, não retém os minerais pesados. O que torna possível afirmar que embora as praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho apresentem diferentes comportamentos morfodinâmicos associados a influência fluvial (visto no item 3.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E SEDIMENTOLÓGICA DOS PERFIS DE PRAIA), a exposição destas praias a energia das ondas incidentes se torna um fator determinante na sedimentologia, apresentando, conseqüentemente, grande influência sobre o perfil praial.

Assim sendo, as tendências na granulometria, composição e seleção observadas para os sedimentos da face são refletidas no perfil praial, aqui representado pelo gradiente da face. As praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho apresentam sedimentos grossos e perfil com gradiente médio na face (entre as campanhas) em torno de 10° de declividade, corroborando com tendências descritas por estudos pretéritos (MCFALL, 2019; BUJAN *et al.* 2019; BUTT *et al.*, 2000; TURNER & NIELSEN, 1997; DEAN, 1977; BASCON, 1951).



### 3.3 O ESTADO MORFODINÂMICO DAS PRAIAS E O POTENCIAL DE INUNDAÇÃO

#### 3.3.1 Estado Morfodinâmico, Espraçamento Máximo Modelado e Altura da Berma da Praia de Regência

##### 3.3.1.1 Estado Morfodinâmico

A praia de Regência apresenta classificação majoritariamente refletiva, embora observe-se também características intermediárias (Tabela 18), apresentando, a partir da análise do perfil submerso da antepraia superior, bancos e calhas longitudinais, o que permite esta variação nos estágios da praia conforme a mudança na hidrodinâmica.

Tabela 18 - Classificação da praia de Regência quanto ao seu estado morfodinâmico, segundo Wright *et al.*, 1985.

	<b>Campanha</b>	<b><math>\Omega</math></b>	<b>Estado morfodinâmico</b>
Regência	1 <sup>a</sup>	2,42	Bancos transversais
	2 <sup>a</sup>	1,03	Refletivo
	3 <sup>a</sup>	1,04	Refletivo
	4 <sup>a</sup>	1,19	Refletivo

##### 3.3.1.2 Altura da Berma e Espraçamento Máximo

Quanto ao espraçamento máximo se observam diferentes respostas da praia de Regência em relação a transposição da berma. Na Tabela 19 é apresentada a relação entre o máximo alcance vertical do espraçamento (*run-up*) e a altura da berma. Observa-se que a berma foi transposta pelo espraçamento na 1<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> campanha, apresentando, na 4<sup>a</sup> campanha, inundação do pós-praia e alcance da berma de tempestade.

Tabela 19 - Relação entre espraçamento máximo (eixo y do perfil) e altura da berma na praia de Regência.

	<b>Campanha</b>	<b><i>Run-up</i> (m)</b>	<b>Altura da berma (m)</b>	<b>Status (transposição da berma)</b>
Regência	1 <sup>a</sup>	3,57	3,54	Sim
	2 <sup>a</sup>	3,12	3,58	Não
	3 <sup>a</sup>	3,24	2,29	Não
	4 <sup>a</sup>	3,38	3,37	Sim

### 3.3.2 Estado Morfodinâmico, Espreadimento Máximo Modelado e Altura da Berma da Praia de Comboios

#### 3.3.2.1 Estado Morfodinâmico

A praia de Comboios apresenta características refletivas e intermediárias (Tabela 20), com alta mobilidade sazonal dos perfis e variações em suas características sedimentares ao longo do ano.

Tabela 20 - Classificação da praia de Comboios quanto ao seu estado morfodinâmico, segundo Wright *et al.*, 1985.

	Campanha	$\Omega$	Estado morfodinâmico
Comboios	1 <sup>a</sup>	1,16	Refletivo
	2 <sup>a</sup>	4,85	Banco de praia longitudinal
	3 <sup>a</sup>	2,85	Bancos transversais
	4 <sup>a</sup>	1,18	Refletivo

#### 3.3.2.2 Altura da Berma e Espreadimento Máximo

Na praia de Comboios mesmo em momentos de maior energia do sistema e, conseqüente, maior alcance do espraçamento máximo, não houve transposição berma (Tabela 21). Embora, na segunda campanha o espraçamento máximo tenha alcançado valor próximo ao pico da berma.

Tabela 21 - Relação entre espraçamento máximo (eixo y do perfil) e altura da berma na praia de Comboios.

	Campanha	Run-up (m)	Altura da berma (m)	Status (transposição da berma)
Comboios	1 <sup>a</sup>	2,66	3,22	Não
	2 <sup>a</sup>	3,32	3,98	Não
	3 <sup>a</sup>	2,46	4,05	Não
	4 <sup>a</sup>	3,90	4,26	Não

### 3.3.3 Estado Morfodinâmico, Espreadimento Máximo Modelado e Altura da Berma da Praia de Barra do Riacho

#### 3.3.3.1 Estado Morfodinâmico

Na praia de Barra do Riacho foi classificada predominantemente refletiva (

Tabela 22) e não se observou a presença de bancos da zona de surfe a antepraia superior.

Tabela 22 - Classificação da praia de Barra do Riacho quanto ao seu estado morfodinâmico, segundo Wright *et al.*, 1985.

	<b>Campanha</b>	<b><math>\Omega</math></b>	<b>Estado morfodinâmico</b>
	1 <sup>a</sup>	1,01	Refletivo
Barra do Riacho	2 <sup>a</sup>	1,14	Refletivo
	3 <sup>a</sup>	0,84	Refletivo
	4 <sup>a</sup>	1,10	Refletivo

### 3.3.3.2 *Altura da berma e Espraimento Máximo*

Em Barra do Riacho não houve transposição da berma mesmo em momentos de maior energia do sistema (Tabela 23). O espraimento máximo apresentou em todas as campanhas valores muito abaixo do topo da berma.

Tabela 23 - Relação entre espraimento máximo (eixo y do perfil) e altura da berma na praia de Barra do Riacho.

	<b>Campanha</b>	<b><i>Run-up</i> (m)</b>	<b>Altura da berma (m)</b>	<b>Status (transposição da berma)</b>
	1 <sup>a</sup>	2.56	4,46	Não
Barra do Riacho	2 <sup>a</sup>	3.30	4,75	Não
	3 <sup>a</sup>	3.19	5.19	Não
	4 <sup>a</sup>	3.88	6.09	Não

### 3.3.4 **Potencial de Inundação Associado a Morfologia e Condições Oceanográficas**

As praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho, apesar de diretamente influenciadas pela carga fluvial do rio Doce, possuem a energia das ondas incidentes como fator determinante de sua morfologia, devido ao seu alto grau de exposição.

As praias de Regência e Comboios, mais próximas a desembocadura fluvial e, conseqüentemente, influenciadas pela carga e dinâmica do rio Doce apresentam maior mobilidade em seu perfil e maiores variações na determinação de seus estados morfodinâmicos, de acordo com as mudanças na energia das ondas incidentes. A praia de Barra do Riacho, por sua vez, não apresentou tais alterações, sendo uma praia tipicamente refletiva.

O potencial de inundação destas praias foi avaliado através da comparação entre a altura da berma e o espraçamento máximo para cada campanha, levando-se em consideração os parâmetros de onda observados nos três dias que se antecederam as campanhas. Para a obtenção do espraçamento máximo modelou-se a entrada das ondas considerando-se o perfil medido durante a campanha, sendo possível observar quando o espraçamento máximo das ondas (*run-up*) transpunha o limite da berma, caracterizando o que definimos inundação da faixa arenosa.

O estado morfodinâmico da praia de Regência, de acordo com Wright *et al.* (1985), é majoritariamente refletivo, sendo classificado como intermediário apenas na primeira campanha, onde observa-se aumento significativo na altura das ondas (Tabela 18), o que estaria de acordo com o transporte de sedimentos da praia para a antepraia. Entretanto, em campo foram observadas nas quatro campanhas características classificadas como de praias intermediárias, tais quais perfil com gradiente considerável, bancos e calhas longitudinais com alta mobilidade, zona de surfe pouco extensa e ondas tipo mergulhante. A diferença entre o estado morfodinâmico calculado e o observado se dá, principalmente, devido às limitações na construção da equação proposta por Wright e colaboradores (1985), baseada na determinação de  $\omega$  (DEAN, 1973), que estabelece a relação dos parâmetros de onda em águas rasas ( $H_b$  e  $T$ ) e a velocidade de decantação dos sedimentos médios ( $\omega_s$ ). Os parâmetros de onda utilizados na formulação não levam em consideração especificidades da hidrodinâmica local, como a relação das ondas com as descargas fluviais, que, dentre outras consequências, pode gerar o aumento do nível relativo do mar nas adjacências da desembocadura.

Embora não haja discrepâncias acentuadas entre as características tipicamente refletivas descritas por Wright e Short (1984) e as observadas em campo, a consequência desta variação quanto a análise do potencial de inundação é significativa. A praia de Regência apresenta-se mais vulnerável às mudanças na energia das ondas incidentes, onde se observa que ondas mais altas e de maior período, como na 1ª e na 4ª campanha, transpõem a berma.

A praia de Comboios apresenta estados morfodinâmicos (WRIGHT *et al.*, 1985) que variam entre intermediário e refletivo, em momentos de maior energia das ondas incidentes, corroborando com o observado em campo. Gradientes elevados associados a bermas altas fazem com que esta praia apresente baixo potencial de inundação, não havendo, portanto, a transposição da berma mesmo nas campanhas com ondas mais altas.

Em Barra do Riacho observa-se uma praia tipicamente refletiva, com gradiente acentuado, berma alto, sedimentos grossos, zona de surfe estreita e ondas ascendentes. Este tipo de praia apresenta vulnerabilidade baixíssima a inundação. O espraçamento máximo calculado não foi

suficiente para alcançar a berma em nenhuma das campanhas, não havendo assim sua transposição. Modificações na energia das ondas incidentes causam variações no transporte sedimentar na face e, conseqüentemente, no perfil da praia, entretanto, dentre o período do monitoramento essas variações não foram suficientemente relevantes quanto ao potencial de inundação.

Nota-se que a determinação do estado morfodinâmico (WRIGHT & SHORT, 1984; WRIGHT *et al.*, 1985) baseado no cálculo de  $\omega$  (DEAN, 1973) adequou-se bem ao observado na praia de Barra do Riacho, que não possui influência da carga e descarga fluvial, e na praia de Comboios, onde a hidrodinâmica do rio Doce é menos presente. Na praia de Regência, onde se observa a influência fluvial, a classificação e determinação do estado morfodinâmico através de  $\omega$  (DEAN, 1973) não teve a mesma assertividade, sendo necessário realizar análise visual baseando-se nas características descritas por Wright e colaboradores (1985).

Portanto, no período em que se realizou o monitoramento, constatou-se que as praias de Barra do Riacho e Comboios não apresentaram potencial de inundação, observando-se que mesmo sob condições de ondas mais energéticas, o espraiamento máximo não alcançou alturas suficientes para transpor a berma. A praia de Regência, por sua vez, apresentou maior vulnerabilidade e alto potencial de inundação quando submetida a maiores energias de ondas incidentes. Assim sendo, o alto grau de exposição destas praias torna seus perfis mais altos, com gradientes mais acentuados, entretanto, quando se trata de Regência, mais próxima a desembocadura, a carga do rio Doce alimenta a praia com sedimentos mais finos e a influência da descarga fluvial age de maneira a acentuar o alcance das ondas, tornando-a mais vulnerável a inundação e, conseqüentemente, a processos erosivos.

#### 4. CONCLUSÕES

As praias em questão compõem um extenso litoral ao sul da desembocadura do rio Doce e recebem de maneira contínua o aporte fluvial. O que é evidenciado com afinamento das areias, maiores concentrações de minerais pesados e diminuição no gradiente do perfil com a proximidade do rio Doce. Observa-se que os cascalhos e areias muito grossas encontradas em Barra do Riacho, onde não há influência fluvial, são substituídas por areias médias a grossas na praia de Regência. O padrão de afinamento das areias, bem como a maior mobilidade dos perfis de praia com a proximidade da desembocadura fluvial do rio Doce evidencia a influência da carga e dinâmica fluvial nas praias estudadas.

As praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho apresentam sedimentos grossos e perfil com gradiente médio na face (entre as campanhas) em torno de 10° de declividade. Evidenciando que apesar dessas praias apresentarem diferentes comportamentos morfodinâmicos associados a influência fluvial, a exposição destas praias à energia das ondas incidentes se torna um fator determinante na sedimentologia, apresentando grande influência sobre o perfil praiial. As areias grossas e médias dessas praias não retêm os sedimentos finos e, mesmo com o aporte contínuo de minerais pesados, a composição destas praias não atua de maneira significativa no gradiente, sendo as tendências granulométricas e o grau de seleção dos sedimentos os principais atores na definição do perfil praiial.

Assim sendo, o alto grau de exposição destas praias torna seus perfis mais altos, com gradientes mais acentuados e mesmo sobre condições de ondas mais energéticas constatou-se que as praias de Barra do Riacho e Comboios não se apresentaram vulneráveis a inundação, observando-se que durante todo o monitoramento o espreadimento máximo nunca alcançou alturas suficientes para transpor a berma. A praia de Regência, por sua vez, apresentou maior vulnerabilidade e alto potencial de inundação quando submetida a maiores energias de ondas incidentes. Por estar mais próxima a desembocadura do rio a praia de Regência sofre maior influência das cargas e descargas fluviais, que agem de maneira a aplainar seu perfil e acentuar o alcance das ondas, tornando-a mais vulnerável à inundação e aos processos erosivos.

Desta forma, entende-se que a composição dos sedimentos, isto é o teor de minerais pesados que foi baixo, não atuou significativamente na definição do diâmetro médio, de modo a interferir na declividade.

Mesmo com o potencial aporte fluvial do rio doce, o alto grau de exposição as onda confere a estas praias alta energia e associação com areias muito grossas. Areias medias e finas, juntamente com os minerais pesados, de granulometria fina são transportados por deriva litorânea para as praias ao norte, onde as concentrações de minerais pesados são mais expressivas e associadas às areias finas.

Desta forma afirma-se que a granulometria, e não a composição, dos sedimentos das praias de Regência, Comboios e Barra do Riacho atua de maneira determinante na construção do perfil praiar, em função da morfodinâmica associada ao alto grau de exposição destas praias. Portanto, as praias de Comboios e Barra do Riacho, altas e de gradiente acentuado não são potencialmente inundáveis. Já a praia de Regência, mesmo apresentando características de uma praia exposta, está sob influência do regime fluvial, com presença de bancos e frequentes processos de aplainamento em função da alta mobilidade referente a proximidade fluvial e alta exposição às ondas, sendo vulnerável à inundações quando exposta a ondas mais energéticas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDAD J. E. 2001. *Minerais Pesados: Uma Ferramenta para Prospecção, Proveniência, Paleogeografia e Análise Ambiental*. Imprensa Universitária, UFMG, 68p.

ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES**. 1999. 175 f. tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar) - USP, São Paulo, 1999.

ALBINO, J.; NETO, N. C.; OLIVEIRA, T. C. A. The Beaches of Espírito Santo. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. **Brazilian Beach Systems**. USA: Springer, 2016. cap. 13, p. 333-361. v. 17.

ALBINO, J.; SUGUIO, K. **Sedimentation processes and beach morphodynamics active at the Doce River mouth, Espírito Santo State**. Brazil An. Acad. Bras. Ciênc., 82(4), 1031-1044. 2010.

ANTHONY, E. J.; DUSSOUILLEZ, P.; DOLIQUE, F.; BESSET, M.; BRUNIER, G.; NGUYEN, V. L.; GOICHOT, M. Morphodynamics of an eroding beach and foredune in the Mekong River delta: Implications for deltaic shoreline change. *Continental Shelf Research* 147, p 155-164.

BARNARD, P. L.; VAN ORMONDT, M.; ERIKSON, L. H.; ESHLEMAN, J.; HAPKE, C.; RUGGIERRO, P.; ADAMS, P. N.; FOXGROVER, A. C. Development of the Coastal Storm Modeling System (CoSMoS) for predicting the impact of storms on high-energy active-margin coasts. **Natural Hazards**, v. 74, n. 2, p. 1095-1125, 2014.

BASCOM, W. N. The relationship between sand size and beach-face slope. **Transactions, American Geophysical Union**, Washington, USA, p. 866-874. 1951.

BASCOM, W. N. Characteristics of natural beaches. **Proceedings of the 4th Conference on Coastal Engineering**, California, USA, v. 4, n. 10, p. 163-180. 1980.

BIRD, E. *Beach Management*. Wiley, 1996.

BIRD, E. **Coastal geomorphology: An introduction**. 2. ed. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 411 p.

BLOTT, S. L. e PYE K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surf. Processo Landforms**, 26:1237-1248. 2001.

BRUNN, P. Coast erosion and the development of beach profiles. **Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers**, USA, n. 44. 1954.

BRUNO, S. C. **Relação entre a tipologia praias e a desova da tartaruga *Caretta caretta* ao longo da praia de Comboios-ES**. 2004. 93 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - UFES, Vitória, 2004.



BUJAN, N.; COX, R.; MASSELINK, G. From fine sand to boulders: Examining the relationship between beach-face slope and sediment size. **Marine Geology** 417, 2019.

BUTT, T.; RUSSELL, P.; TURNER, I. The influence of swash infiltration-exfiltration on beach face sediment transport: onshore or offshore. **Coastal Engineering** 42, p 35-42, 2000.

CALLIARI, L.J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F.G.; TOLDO JR, E. Morfodinâmica Praial: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, São Paulo, v. 51, p. 63 – 78, 2003.

DAVIS, R. A. **Coastal Sedimentary Environments**. USA: Halliday Lithograph, 1985.

DEAN, R. G. Heuristic models of sand transport in the surf zone. **Proc. Conf. on Engineering Dynamics in the Surf Zone**, Sydney, N.S.W., pp. 208-214. 1973.

DEAN, R. G. Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf coasts. **Ocean Engineering Report**, Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, DE, n. 12. 1977.

DEAN, R. G. Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications. **Journal of Coastal Research**. USA, v. 7, p. 53-84, 1991.

DOMINGUEZ, J. M. L; BITTENCOURT, A. C. S. P; MARTIN, L. (1983). O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas a desembocaduras dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Rev Bras Geoc* 13(4):93–105.

DOMINGUEZ, J. M. L; BITTENCOURT, A. C. S. P; MARTIN, L. (1992) **Controls on quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil**: roles of sea-level history, trade winds and climate. *Sediment Geol.* 80:213–232.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazas River bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. **Jornal of Sedimentary Petrology**. USA, v. 27, p. 3-26, 1957.

GALEHOUSE, J. S. Point counting. In CARVER, R. E. *Procedures in sedimentary petrology*: New York, Wiley-Interscience, Cap. 16, p. 385-407, 1971.

GUZA, R. T.; THORNTON, E. B. Swash oscillations on a natural beach. **Journal of Geophysical Research**, vol. 87, p 483-491, 1982.

HANSEN, J. E.; ELIAS, E.; BARNARD, P. L. Changes in surfzone morphodynamics driven by multi-decadal contraction of a large ebb-tidal delta. **Marine Geology** 345, p. 221-234, 2013.

HOLMAN, R. A. Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. **Coastal Engineering**, vol. 9, p. 527-544, 1986.

HUNT, I. A. Design of seawalls and breakwaters. **Journal of Waterways and Harbours Division**, 85, p. 123-152, 1959.

KOMAR, P. D., Selective longshore transport rates of different grain-size fractions within a beach. **Journal of Sedimentary Petrology**. USA, v. 47, n. 4. p. 1444-1453, 1977.

KOMAR, P. D., **Beaches Processes and Sedimentation**. 2nd ed. USA:Prentice Hall Inc., 1998.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: Conunestudio de Los Climas de la Tierra. México, D. F: Fondo de Cultura Econômica. 479p. 1948.

LIMA, J. E. F. W. *et al.* Suspended sediment fluxes in the larger river basins of Brazil. IAHS ICCE Symposium: Sediments Budgets 1, v. 1, n. April 2016.

MARTIN, L.; SUGUIO, K. (1992). Variation of coastal dynamics during the last 7,000 years recorded in beach-ridge plains associated with the central Brazilian coast. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 99:119–140.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M. (1993). As flutuações de nível do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros. *Boletim IG-USP. Publ. Especial* 15:186.

MASSELINK, G. e LI, L. The role of swash infiltration in determining the beachface gradient: a numerical study. **Marine Geology** 176, 139–156. 2001.

MASSELINK, G., TUCK, M., MCCALL, R., VAN DONGEREN, A., FORD, M., AND KENCH, P. (2019). Physical and numerical modeling of infragravity wave generation and transformation on coral reef platforms. *J. Geophys. Res. Oceans* 124, 1410–1433.

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

McFALL, B. C. The relationship between Beach Grain Size and Intertidal Beach Face Slope. **Journal of Coastal Research**, 35 (5), p. 1080-1086, 2019.

MUEHE, D. Pós-praia não deve ser traduzido como backshore – uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia – antepraia. **Quaternary and Environmental Geosciences** (2019) 10(1):40-43. 2019.

NAFAA, M. G.; FRIHY. Beach and nearshore features along the dissipative coastline of the Nile Delta, Egypt. **Journal of Coastal Research**. Vol. 9, No. 2, pp. 423-433. 1933.

NEVES, P.; POSEIRO, P.; FORTES, C. J. E. M.; REIS, M. T.; CAPITÃO, R.; ANTUNES DO CARMO, J. S.; RAPOSEIRO, P.; FERREIRA, J. C. Aplicação da Metodologia de Avaliação do Risco de Inundação/Galgamento na Praia de São João da Caparica. 8<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. LNEC, 10 e 11 de Outubro de 2013.

NIELSEN, P.; HANSLOW, D. J. Wave runup distributions on natural beaches. **Journal of Coastal Research**, vol. 7, n. 4, p. 1139-1152, 1991.

NIELSEN, P. Coastal groundwater dynamics. *Proc. Coastal Dynamics*, p. 546-555, 1998.

OLIVEIRA, T. C. A.; ALBINO, J.; VENANCIO, I. Transporte longitudinal de sedimentos no litoral da planície deltaica do Rio Doce. **Quaternary and Environmental Geosciences** 06 (1) 20-25p. 2015.

PASOLINI, A. Utilização do método de perfil de equilíbrio para determinar a estabilidade e a evolução de perfis de praias arenosas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Vitória, 2008.

PRODGER, S.; RUSSEL, P.; DAVIDSON, M. Grain-size distributions on high-energy sandy beaches and their relation to wave dissipation. **School of Marine Science & Engineering**, Plymouth University, Plymouth PL4 8AA, UK. 2017.

QUARESMA, V. S.; CATABRIGA, G.; BOURGUIGNON, S. N.; GODINHO, S.; BASTOS, A. C. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. **Braz. J. Geol.**, São Paulo, v. 45, n. 4, p. 635-644, Dec. 2015.

RAPOSEIRO, P. D.; FERREIRA, J. C. R. 2010. **A análise da vulnerabilidade e do risco de inundação como ferramenta de apoio à gestão dos territórios litorais sob pressão urbana**. PLURIS 2010, 4º Congresso para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Universidade do Algarve, Faro, Portugal.

REIS, A. H. e GAMA, C. Sand size versus beachface slope - An explanation based on the Constructal Law. **Geomorphology**. V. 144, p. 276-283. 2010.

RUBEY, W. W. The size distribution of heavy minerals within a weather-laid sandstone. *Journal of Sedimentary Research* 3(1): 3-29. 1933.

RUGGIERO, P.; KOMAR, P.D.; McDOUGAL, W.G.; MARRA, J.J.; BEACH, R.A. Wave runup, extreme water levels and erosion of properties backing beaches. **Journal of Coastal Research**, Vol, 17, No2. 2001.

SANCHO, F.; OLIVIRA, F. S. B. F.; FREIRE, P. Níveis máximos do espraiamento no litoral da Ria Formosa. 7ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Porto, 6 e 7 de outubro de 2011.

SILVA, A. E. Evolução Sedimentar recente ao longo de uma plataforma continental com estilo contrastante de sedimentação. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Espírito Santo. Programa de pós-graduação em Oceanografia Ambiental. Aracruz, 2017. 171 p.

SILVA, P. M. M. 2019. **Cálculo de galgamento em estruturas marginais. O caso de Cova Gala**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal.

STOCKDON, H. F.; HOMAN, R. A.; HOWD, P. A.; SALLENGER, A. H. Empirical parameterization of setup, swash and runup. **Coast. Eng.** 53, 573-588. 2006.

STOCKDON, H. F.; THOMPSON, D. M.; PLANT, N. G.; LONG, J. W. Evaluation of wave runup predictions from numerical and parametric models. **Coastal Engineering**, v. 92, p. 1-11, 2014.

SUGUIO, K; MARTIN, L; DOMINGUEZ, J. M. L. Evolução do "delta" do Rio Doce (ES) durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. In: **Simpósio do Quaternário no Brasil, 4.**, Rio de Janeiro, 1982. Atas. Rio de Janeiro, CTCQ, SBG. p.93-116. 1982.

SUNAMURA, T. Quantitative predictions of beachface slopes. **Geological Society of America Bulletin** 95, 242–245. 1984.

TEIXEIRA, S. B. Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve. Administração da Região Hidrográfica do Algarve, Faro, p. 207, 2009.

TOLMAN, H. L. **User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14.** NOAA, NWS, NCEP, MMAB Technical Note 276. 2009.

TOMAZELLI, L.J. Minerais pesados da plataforma continental do Rio Grande do Sul-Brasil. *Acta Geológica Leopoldense*, 2(5):103-159. 1978.

TUNER, I. L.; NIELSEN, P. Rapid water table fluctuations within the beach face: implications for swash-zone sediment mobility? **Coastal Engineering**, 32, p. 45-59, 1997.

VESPREMEANU-STROE, A.; PROETASA, L. Beach-dune interactions on the dry-temperate Danube delta coast. **Geomorphology** 86, p. 267-282, 2007.

WRIGHT, L. D.; CHAPPELL, J.; THORN, B. G.; BRADSHAW, M. P.; COWELL, P. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia. **Mar. Geol.**, 32: 105-140. 1979.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D.; GREEN, M. O. Short term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model. **Mar. Geol.**, 62 (3-4): 339-364. 1985.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118, 1984.