

RELATÓRIO DE ATIVIDADES - FINAL

FEHIDRO

FUNDO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS

2014-BS-243

Diagnóstico da variação do nível relativo do mar e seu impacto no Estuário do Rio Itanhaém (SP)

Proponente: Sociedade Visconde de São Leopoldo

Parceiro: Instituto de Criminalística

Duração: 12 meses

Coordenadora técnica 2017-2018:

Profa. Esp. Angela Maria Frigerio

Coordenador técnico 2014-2016:

Prof. Dr. João Eduardo Addad

Estagiários de nível superior:

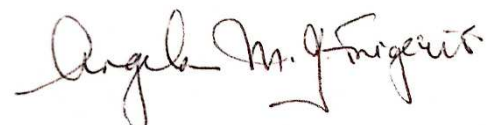
Graduanda Milena Corbo

Graduando Leopoldo Figueiredo

Santos

06 de agosto de 2018

Proposta inicial de maio de 2014



EQUIPE TÉCNICA

Os procedimentos do projeto foram coordenados e executados por uma equipe técnica composta por pesquisadores em Geociências do quadro de professores da **Sociedade Visconde de São Leopoldo**.

Pesquisador coordenador:

Profa. Esp. Angela Maria Gonçalves Frigerio (lattes.cnpq.br/0317735697507897), Geóloga, entre 2017 e 2018.

Prof. Dr. João Eduardo Addad (lattes.cnpq.br/2356106837787562), Engenheiro Geólogo, entre 2014 e 2016.

Pesquisadora:

Profa. Esp. Angela Maria Gonçalves Frigerio (lattes.cnpq.br/0317735697507897), Geóloga, entre 2014 e 2016.

Dois estagiários de nível superior:

Aluna de graduação em Engenharia de Petróleo da UNISANTOS, Milena Corbo.

Aluno de graduação em Engenharia Portuária da UNISANTOS, Leopoldo Figueiredo.

Os estagiários de nível superior foram selecionados de acordo com o histórico acadêmico e afinidade às atividades a serem desenvolvidas, sendo treinados anteriormente ao início efetivo dos trabalhos de coleta e tratamento de dados e de amostras.

Santos, 06 agosto de 2018.

Profa. Esp. Angela Maria Gonçalves Frigerio



APRESENTAÇÃO

O projeto **Diagnóstico da variação do nível relativo do mar e seu impacto no Estuário do Rio Itanhaém** aborda a avaliação de dados maregráficos para verificação de tendências de variação do nível relativo do mar no compartimento litorâneo referente, assim como da possível expressão de tendências erosivas evidenciadas pela distribuição de minerais pesados na areia das praias do compartimento costeiro associado. Uma avaliação da distribuição de geodiversidade e de meio biótico foi utilizada para discutir os possíveis impactos das tendências eventualmente verificadas, nos cenários existentes ao redor do estuário.

O presente **Relatório de Atividades** abrange a consolidação das atividades decorridas desde o aceite por parte do órgão técnico até 06 de agosto de 2018.

1. INTRODUÇÃO

A partir do final da década de 80, muitos estudos têm sido conduzidos para identificar áreas de risco, quantificar os impactos, propor ações de resposta e, principalmente, estimular o monitoramento constante de faixas costeiras (MUEHE, 2006). Em um primeiro momento, ao se abordar uma situação de risco, é criada uma associação entre a retrogradação de linhas de costa e uma subida do nível médio relativo do mar. Na retração com o aumento do nível médio, o perfil de equilíbrio de praias e outras feições são transladados em direção ao continente, como descrito por trabalhos clássicos na área (BRUNN, 1962, DUBOIS, 1976, DUBOIS, 1977). Entretanto, o comportamento da costa é controlado também da variação do suprimento local de sedimento (HANDS, 1983), que responde à sua redistribuição inter e intracompartimentos costeiros por ondas e correntes de deriva litorânea, ao fornecimento fluvial e à ação antrópica, fixando e revestindo trechos da linha de costa.

Modelos bi e tridimensionais para determinação dos impactos do aumento do nível médio relativo do mar, no deslocamento da linha de costa, são baseados na regra de BRUNN (1962), que assume uma translação ascendente e em direção ao continente do perfil de equilíbrio. Esta regra assume, também, que o volume de sedimento erodido da face da praia é igual ao volume de sedimento depositado na rampa, que nenhum sedimento será depositado para fora da área de atuação de ondas e que não ocorre transporte ao longo do litoral. Modificações bidimensionais (*cross shore*) derivam modelos que incluem ajustes para descrever mais acuradamente a zona de transporte sedimentar transversal, enquanto que os tridimensionais, procuram agregar o gradiente de movimentação longitudinal ao cenário. BRUNN (1988) descreve a regra como limitada, caso a costa em questão não esteja colocada em um ambiente neutro relativamente à deriva litorânea. A regra e os modelos derivados são bidimensionalmente fundamentados, não devendo ser aplicada além de sua capacidade, ou seja, em ambientes tridimensionais e irregulares. Nestes, o comportamento do perfil de praia deve ser descrito em termos estatísticos, ao invés de físicos (BRUNN, 1992).



Embora existam variações eustáticas do nível do mar, em diversas escalas temporais, a variação do nível médio relativo corresponde a um fenômeno local. Séries temporais locais do nível relativo do mar são a base para estudos do comportamento de uma determinada linha de costa. A falta de informações históricas sobre o nível do mar constitui uma grande vulnerabilidade do Brasil, considerando as mudanças do nível relativo do mar (NEVES e MUEHE, 2008). O presente empreendimento propôs o estudo da variação do nível relativo do mar e a identificação de possíveis impactos, físicos e bióticos, no Estuário do Rio Itanhaém. Por meio do tratamento de dados disponíveis em marégrafos, foi avaliada a expressão de tendências locais do nível médio relativo do mar. Entretanto, as respostas composicionais dos sedimentos praias e geomorfológicas das feições costeiras apresentam forte condicionamento por controles como ondas e correntes de deriva litorânea. Neste sentido, foi incluída a verificação da presença de trechos com tendência erosiva e de vetores movimentação de sedimentos de praia intracompartimento, por meio do estudo de minerais pesados, além de uma avaliação de morfodinâmica costeira de detalhe. A **Figura 1** apresenta o compartimento costeiro de interesse.

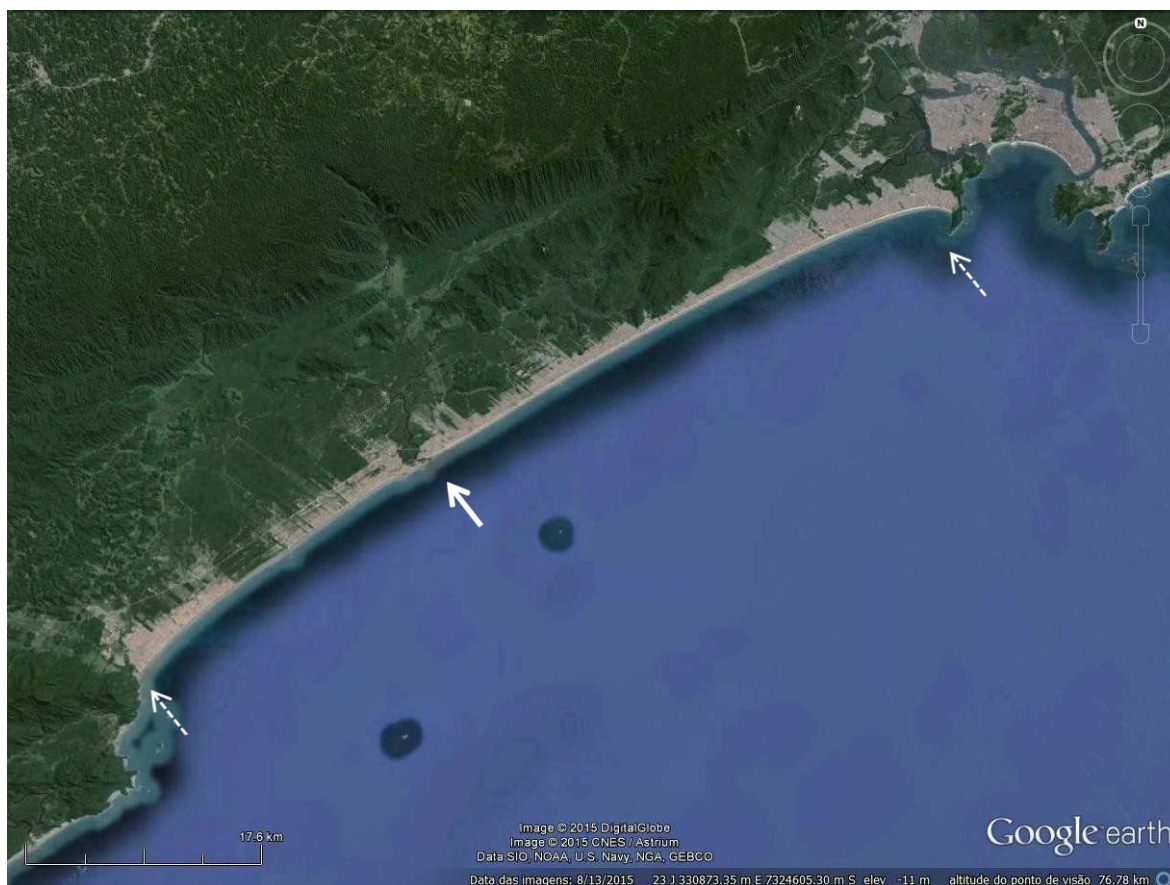


Figura 1 - Compartimento costeiro de interesse, marcado pelas duas setas tracejadas. Nota-se a elevada continuidade do compartimento. O trecho correspondente ao Estuário do Rio Itanhaém está marcado com a seta inteira. Fonte: TerraMetrics, DigitalGlobe, 2015.

2. OBJETIVOS DO EMPREENDIMENTO

O presente projeto apresentou como objetivos principais a sistematização de uma metodologia para elaboração de diagnóstico de variação do nível médio relativo do mar e a sua aplicação, para a identificação dos impactos físicos e bióticos, no Estuário do Rio Itanhaém.

Objetivos específicos deste projeto:

- Descrever a expressão da tendência da série temporal representada por dados disponíveis do marégrafo de Itanhaém e outras fontes correlacionáveis, quanto à variação do nível médio relativo do mar;
- Levantar a morfodinâmica costeira do entorno do Estuário do Rio Itanhaém por meio de dados secundários e imagens disponíveis;
- Estimar os possíveis impactos da tendência de uma variação do nível médio relativo do mar na distribuição biótica do Estuário do Rio Itanhaém;
- Estimar as possíveis respostas à tendência de uma variação do nível médio relativo do mar sobre as feições geomorfológicas costeiras do entorno do Estuário do Rio Itanhaém;
- Verificar a presença de trechos com tendência erosiva e de vetores de transporte litorâneo de sedimento arenoso por meio da distribuição de minerais pesados.

3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

As atividades desenvolvidas ao longo do projeto, em cada item especificado no Plano de Trabalho, estão identificadas a seguir.

Item 1. Análise de minerais pesados

- a. Análise composicional de areias de praia no compartimento costeiro Praia Grande - Peruíbe por minerais pesados;
- b. Verificação da presença de trechos com tendência erosiva e de vetores de transporte litorâneo de sedimento arenoso por meio da distribuição de minerais pesados.

Item 2. Análise de geodiversidade e de meio biótico

- c. Revisão bibliográfica de dados sobre a distribuição biótica do Estuário do Rio Itanhaém;
- d. Consolidação e sistematização dos dados sobre a distribuição biótica;
- e. Levantamento da morfodinâmica no entorno do Estuário do Rio Itanhaém.

Item 3. Análise de dados de maré

- f. Coleta de dados limnigráficos e maregráficos disponíveis no Estuário do Rio Itanhaém;



- g. Coleta de dados maregráficos disponíveis no Porto de Santos e em Peruíbe;
- h. Consolidação dos dados disponíveis em séries temporais comparativas;
- i. Análise da expressão da tendência das últimas três décadas quanto aos níveis relativos do mar a partir do tratamento estatístico dos trechos consolidados.

Item 4. Campanhas de campo

- j. Coleta de amostras de areia de praia no compartimento costeiro Praia Grande - Peruíbe;
- k. Avaliação da morfodinâmica no entorno do Estuário do Rio Itanhaém.

Item 5. Elaboração de relatórios

- l. Diagnóstico quanto à possível evidência de variação do nível médio relativo do mar e seus efeitos;
- m. Identificação de possíveis impactos e estimativa de cenários decorrentes, para 50 e 100 anos;
- n. Consolidação e divulgação dos resultados.

4. EQUIPAMENTOS E MATERIAIS ADQUIRIDOS

A ampliação do escopo do presente projeto, em relação ao Termo de Referência Inicial, com inclusão de procedimentos de análise de minerais pesados e de morfodinâmica costeira, determinou a alteração do perfil dos itens financiados. O recurso antes direcionado para o pagamento de **coordenador operacional externo** foi revertido para a aquisição de materiais e equipamentos, de modo a possibilitar a referida ampliação e permitir a eventual continuidade de pesquisas correlatas na região. Ressalta-se que a coordenação operacional foi realizada pelo responsável técnico, Prof. Dr. João Eduardo Addad entre 2014 e 2016 e pela Profa. Esp. Angela Maria Gonçalves Frigerio, entre 2017 e 2018, dentro do montante de contrapartida (horas de técnico de nível superior).

Os seguintes itens foram adquiridos, especificados e justificados dentro de cada **tipo de atividade**:

Análise composicional de areias (Item 1 do Plano de Trabalho)

- Microscópio petrográfico - permite a identificação e avaliação morfoscópica de minerais pesados de areias de praia;
- Bromofórmio, funil de separação, funil analítico, suporte, anel de ferro com mufa e papel filtro - permitem a separação gravimétrica de minerais pesados;
- Resina de inclusão, lâminas e lâminulas de vidro - permitem a montagem de lâminas de grãos de minerais pesados;
- Lixadeira petrográfica e lixas - permitem o desbaste de lâminas de montagens de minerais pesados para espessura padrão para observação em microscópio petrográfico (30 μm);



- Bobina picotada de sacos plásticos, estufa de secagem de amostras, bandejas de alumínio e bandejas plásticas - permitem o acondicionamento de sedimento coletado, sua lavagem para dessalinização e secagem;
- Rotulador - permite a identificação de amostras de minerais pesados.

Campanhas de campo (Item 4 do Plano de Trabalho)

- Transporte para campanhas - permite a coleta de amostras de areia de praia e a verificação de feições morfológicas em campo.

5. METODOLOGIA DE TRABALHO

5.1. Metodologias para produção de dados primários

Além da coleta e sistematização de dados secundários, por meio de consulta à bibliografia técnica referenciada, foram adotadas as seguintes abordagens metodológicas para a produção de dados primários:

5.1.1. Análise de minerais pesados

Na análise composicional quantitativa de sedimentos, um dos parâmetros a ser estabelecido é o número de clastos contados para a construção dos gráficos de distribuição, com um nível de confiança aceitável. A precisão dos resultados pode ser avaliada pelo cálculo do erro padrão em um nível de confiança de 95%, com contagens acima de 100 a 150 clastos.

No caso de uma amostra de difícil identificação direta, uma alternativa interessante é proceder na observação de seções delgadas de grãos. A montagem dos grãos, incluídos em resina epóxi e levados a uma espessura padrão, permite a determinação precisa de características como pleocroísmo, cores de interferência, extinção, alongamento, clivagens, inclusões e zonamentos, melhor definidos em um campo de microscópio petrográfico.

Características varietais como tamanho, forma, arredondamento e esfericidade, cor, zonamentos, inclusões, sobrecrescimentos, marcas de corrosão e intemperismo, são critérios que podem discriminar populações de um mesmo mineral em um sedimento e indicar origens diferentes.

No presente estudo de minerais pesados, atrelado às areias do compartimento Peruíbe-Praia Grande, a análise composicional, conforme descrito no Relatório I, foi iniciada com a coleta de amostras pela aluna de Engenharia de Petróleo Milena Corbo, acompanhada pela técnica de laboratório do Ipeci, no dia 30/08/2017 (das 8:00 às 18:00 horas), correspondendo ao cenário de inverno. Por sua vez, a segunda coleta foi realizada entre os dias 30/04/2018 e 01/05/2018, correspondendo ao cenário de outono, pela Profa. Esp. Angela Maria Gonçalves Frigerio. Esta segunda campanha foi executada para confirmação de dados.



Foram consideradas **26 estações amostrais** conforme a **Figura 2** e a **Tabela 1**. Porém, em função das condições climáticas desfavoráveis no dia da primeira coleta, pois o mar estava muito agitado obstruindo a passagem de acesso à **estação de coleta 12**, esta foi deslocada, conforme apresentado na **Figura 3**.



Figura 2 - Posição das estações amostrais ao longo do compartimento costeiro considerado.

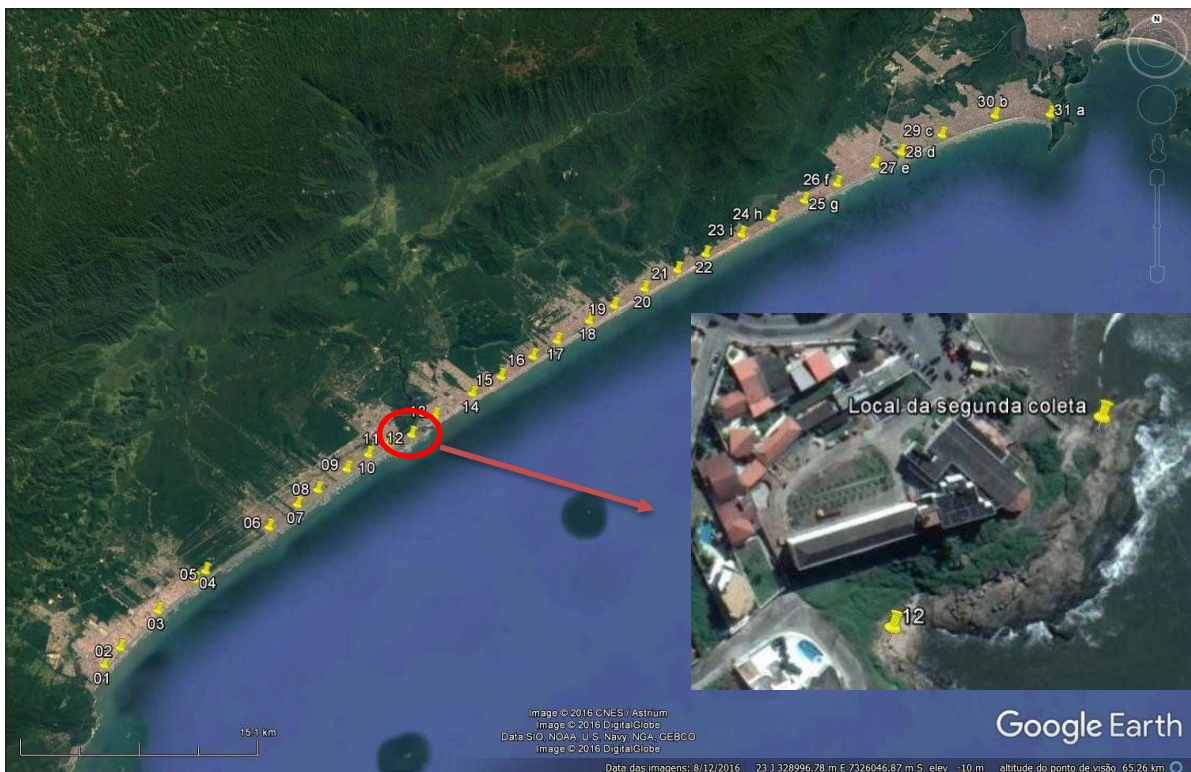


Figura 3 – Estação de coleta 12 no período anterior e local de coleta no período atual.

Amf

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos 26 pontos de amostragem.

PONTO DE AMOSTRAGEM	LATITUDE	LONGITUDE
1	24°19'27.17"S	46°59'57.88"W
2	24°18'48.49"S	46°59'16.59"W
3	24°17'35.97"S	46°57'45.37"W
4	24°16'28.99"S	46°56'24.59"W
5	24°16'16.84"S	46°56'9.36"W
6	24°14'44.29"S	46°53'31.60"W
7	24°13'59.09"S	46°52'26.04"W
8	24°13'28.85"S	46°51'39.68"W
9	24°12'44.10"S	46°50'36.53"W
10	24°12'10.10"S	46°49'32.33"W
11	24°11'51.88"S	46°48'56.21"W
12	24°11'48.34"S	46°48'7.54"W
13	24°10'58.18"S	46°47'11.98"W
14	24°10'15.01"S	46°45'48.99"W
15	24° 9'36.42"S	46°44'40.92"W
16	24° 8'58.19"S	46°43'28.42"W
17	24° 8'28.40"S	46°42'36.88"W
18	24° 7'42.50"S	46°41'13.86"W
19	24° 7'15.16"S	46°40'24.68"W
20	24° 6'45.04"S	46°39'26.65"W
21	24° 6'7.04"S	46°38'3.80"W
22	24° 5'37.86"S	46°37'3.74"W
23	24° 4'53.79"S	46°35'35.50"W
24	24° 4'16.63"S	46°34'20.65"W
25	24° 3'41.44"S	46°33'16.47"W
26	24° 3'4.68"S	46°31'53.55"W



As amostras foram coletadas seguindo o padrão metodológico apresentado no Relatório I, ou seja, por meio de escavações manuais, cilíndricas de 6,00 cm de diâmetro por 8,00 cm de profundidade, aproximadamente, com auxílio de uma pá e uma espátula (**Figuras 4 e 5**). Este método de coleta permite a obtenção de amostras referentes às condições hidrodinâmicas das últimas marés, pois inclui a deposição de laminações múltiplas. O acondicionamento foi feito em sacos plásticos duplos, identificados e levados para o laboratório.



Figura 4 – Coleta de amostra de areia de praia.



Figura 5 – Materiais utilizados para realizar a coleta.



Em laboratório, as amostras foram lavadas com água corrente para dessalinização e eliminação de detritos orgânicos (**Figura 6**). Para a limpeza, foi utilizado o equipamento de ultrassom com adição de detergente, sendo que este processo foi refeito até que a turbidez ou a coloração amarela não fosse mais notada na água de enxágue.

Após lavagem, as amostras foram secas em estufa a 80°C (**Figura 7**) e posteriormente embaladas em sacos plásticos identificados (**Figura 8**).



Figura 6 – Amostras coletadas em processo de lavagem.



Figura 7 – Amostras coletadas em processo de secagem.





Figura 8 – Amostras embaladas e identificadas.

A análise de minerais pesados em areias se baseia na separação destes grãos por meio denso, usualmente bromofórmio, um líquido viscoso com densidade $2,89\text{g/cm}^3$, em um aparato montado com um funil de separação dotado de registro e funil analítico. O conjunto é apoiado em suporte metálico específico.

A separação dos minerais pesados das amostras foi feita por meio do processo de concentração densimétrica, submetendo 100 ml da amostra de areia ao “mergulho” no bromofórmio, conforme treinamento fornecido à aluna já identificada.

Os minerais pesados apresentam densidade maior do que o bromofórmio e passam a se depositar junto ao registro do balão de separação. A abertura do registro do balão leva os minerais pesados a se depositarem sobre o papel de filtro no funil intermediário. Leves agitações no balão auxiliam a descida de grãos pesados e todo o procedimento ocorreu dentro de uma capela com exaustão, em função da volatilidade do bromofórmio (**Figuras 9, 10, 11 e 12**). Posteriormente a cada procedimento, o bromofórmio foi filtrado e armazenado em vidro âmbar para nova utilização.





Figura 9 – Sistema de sedimentação sendo preparado.



Figura 10 – Bromofórmio sendo vertido no balão de separação.





Figura 11 – Amostra de areia sendo inserida no sistema de separação.

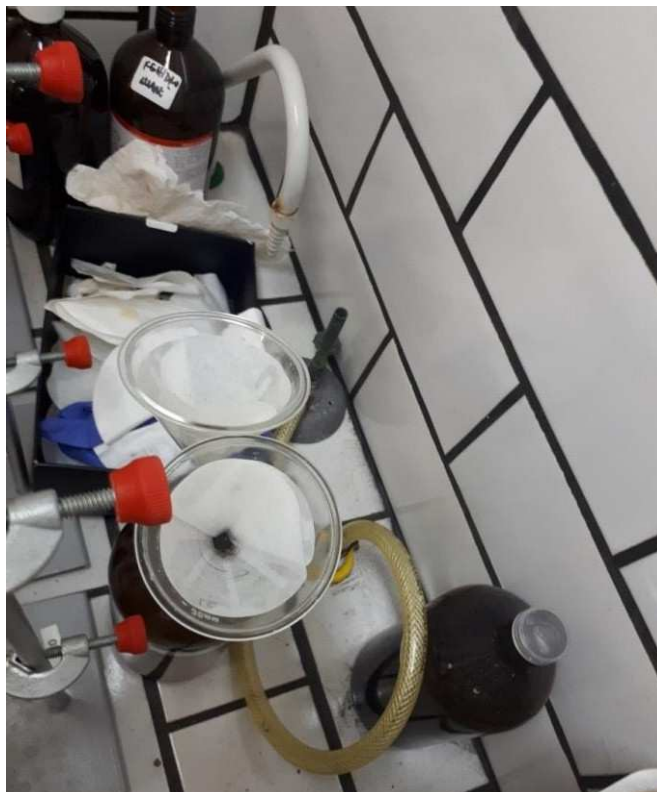


Figura 12 – Minerais pesados da amostra 22, depositados no filtro de papel.



O filtro de papel, quando retirado do funil de vidro, foi colocado sobre a chapa de aquecimento para secagem. Os grãos obtidos foram acondicionados em potes de plástico, devidamente identificados (Figuras 13 e 14).

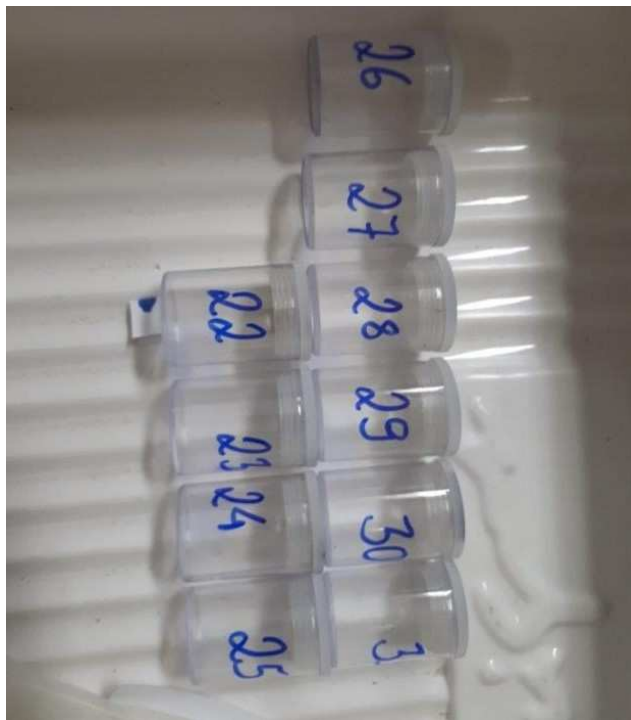


Figura 13 – Potes de plástico para acondicionamento dos grãos provenientes da sedimentação das amostras.



Figura 14 – Minerais pesados das amostras 20, 18 e 19 acondicionados.



A partir do conjunto de amostras de minerais pesados, foram feitas observações diretas ao microscópio petrográfico. Uma porção condizente de amostra é posicionada sobre lâmina de vidro. A amostra é ajustada à lâmina por leves batidas laterais, de modo a permitir que uma monocamada de grãos permaneça sobre a sua superfície. Em seguida, a lâmina é levada ao microscópio para uma avaliação preliminar. A presença de grãos não caracterizáveis diretamente determina que se deva proceder à montagem de seções delgadas de grãos para a amostra em análise.

Para a montagem de seções delgadas de grãos, uma porção de amostra é vertida em um volume compatível de resina epóxi adicionada de catalizador. A mistura resultante é posicionada sobre uma lâmina de vidro. Após a cura da resina, a superfície livre é desbastada sequencialmente com auxílio de lixas de gramatura progressivamente mais fina. Esta operação prossegue até que se tenha uma população significativa de grãos parciais, com uma face livre de resina (**Figuras 15 e 16**). A superfície final é colada sobre uma segunda lâmina de vidro. A primeira lâmina de vidro é desbastada completamente, com prosseguimento do desbaste da resina com grãos inclusos, até uma espessura padrão para petrografia. Esta espessura é verificada por meio da cor máxima de polarização de grãos de quartzo (branco de primeira ordem) adicionados em pequenos grupos nos vértices da montagem, já que entre os grãos não haveria este mineral, por ser mais leve que o bromofórmio.



Figura 15 – Exemplo de lâmina de grãos de pesados em montagem. Notar a espessura da resina e os grãos imersos, comparativamente à próxima figura.

Amat



Figura 16 – Exemplo de lâmina de grãos de pesados em montagem. Notar o lixamento da resina e a presença de grãos com face livre (tangenciais à superfície desbastada).

As seções delgadas de grãos foram então observadas ao microscópio petrográfico para determinação mineralógica padrão de componentes transparentes não micáceos, com contagem de 200 grãos (**Figuras 17, 18 e 19**). Os resultados quantitativos foram planilhados para análise.



Figura 17 – Microscópio petrográfico Leika em utilização pela aluna em treinamento.



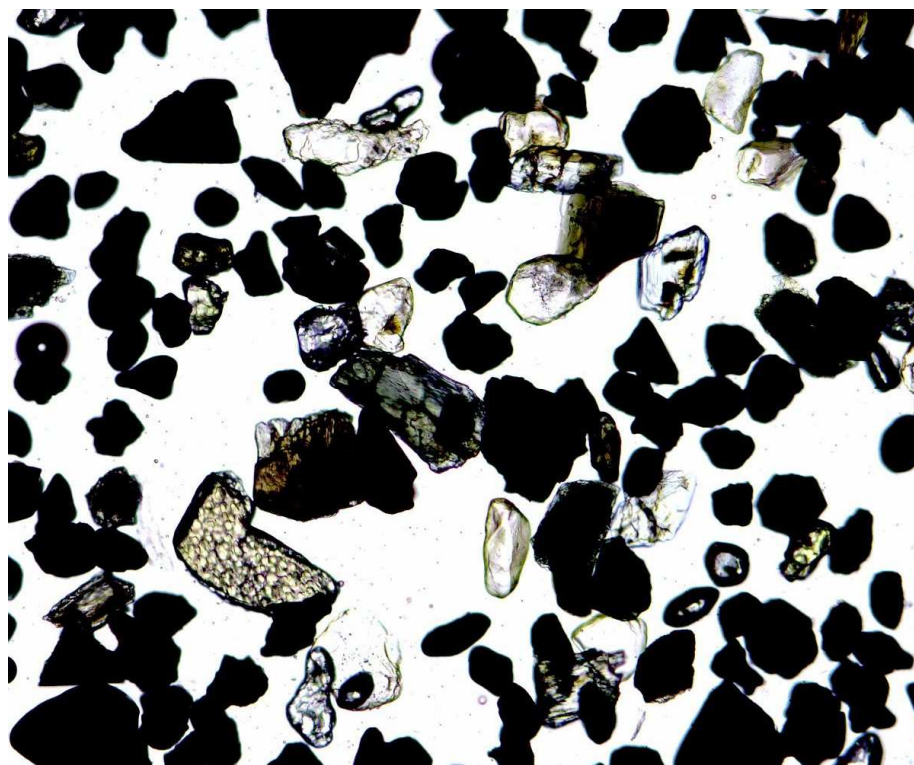


Figura 18 – Lâmina de grãos de minerais pesados do ponto 02. Notar a predominância de opacos e a presença característica de zircão, epidoto, anfibólio e andalusita (luz plana).

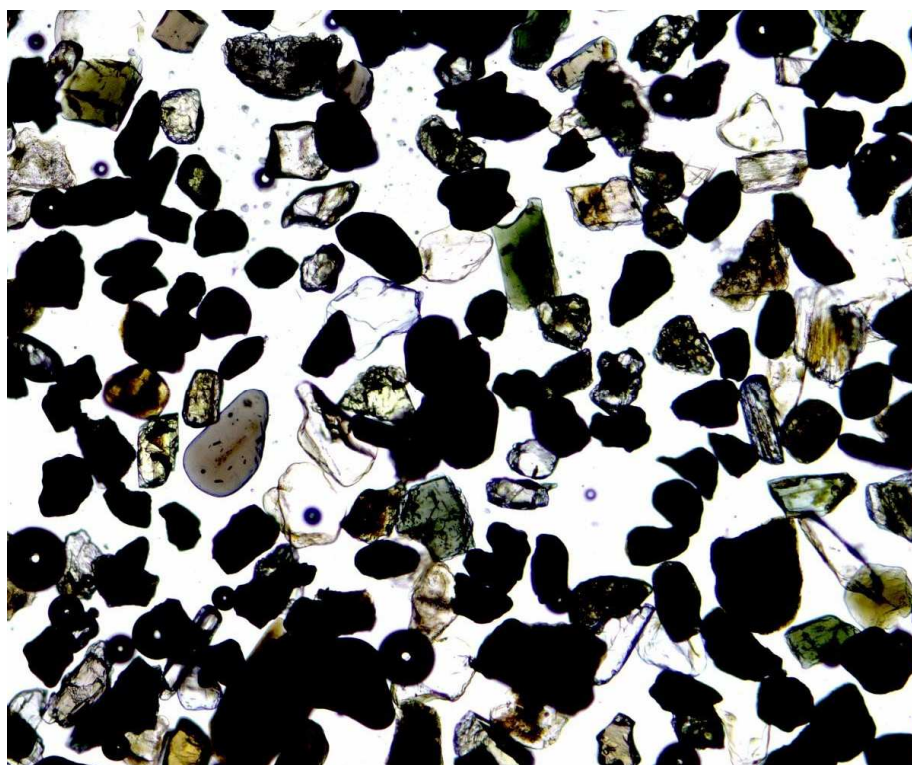


Figura 19 – Lâmina de grãos de minerais pesados do ponto 08. Notar a predominância de opacos e a presença característica de turmalina, anfibólio, zircão, silimanita e monazita (luz plana).



5.1.2. Análise de geodiversidade e de meio biótico

Os resultados da progressão dos dados de preamares para os anos de 2050 e 2100 foram utilizados na geração de modelos de informações geográficas. Para isto, foi utilizado o programa QGIS, versão 3.2.1, software livre com código-fonte aberto (multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados). Inicialmente, as cartas da Agência Metropolitana – AGEM na escala 1:25.000 foram articuladas em dwg para montagem da base. Foi estabelecido um modelo digital de elevação com equidistância de meio em meio metro até a cota de cinco metros. A seguir, foi trabalhada a elevação do nível do mar para os cenários de 50 e 100 anos.

5.1.3. Variação do nível relativo do mar

Para a realização deste estudo, aproveitaram-se registros maregráficos realizados desde a década de 1980 até os dias atuais no Estuário de Itanhaém, relacionando-os com estudos já realizados para a área de Santos. Desse modo, buscou-se complementar os dados relativos a Itanhaém, de modo a ampliar a base de dados para a análise da variação do nível relativo do mar.

As informações maregráficas avaliadas foram obtidas a partir da digitalização dos limnigramas em papel registrados entre outubro de 1981 e outubro de 1993 no Limnógrafo 3F-1 da Rede Hidrológica Básica do DAEE, que foi instalado no Cais do Porto Guaraú, no Estuário do Rio Itanhaém. A partir da unificação dos dados, foi feita a consistência dos mesmos por comparação sinótica com as informações maregráficas do Porto de Santos de 1980 a 1993, visando identificar as influências hidrológicas.

A partir da consistência das informações, foram produzidas linhas de tendência maregráficas de longo período referentes à elevação do nível da maré, por meio de correlações lineares e de média móvel, visando obter resultados estatísticos consistentes quanto às tendências maregráficas. Com base nas tendências avaliadas de elevação da maré, foram desenhados os cenários de níveis d'água de baixamar, meia-maré e preamar e preamar com evento extremo de *storm surge* para os anos de 2064 e 2100.

Com a tendência da variação definida, foi possível sistematizar seus impactos bióticos e físicos no Estuário do Rio Itanhaém.

5.1.3.1. Desenvolvimento

A primeira etapa do trabalho envolveu o registro e a digitalização dos dados dos limnigramas em papel registrados entre outubro de 1981 e outubro de 1993 no Limnógrafo 3F-1 da Rede Hidrológica Básica do DAEE, instalado no Cais do Porto Guaraú, no Estuário do Rio Itanhaém. A partir da análise desses dados, foram dados destaques para a maior preamar e a menor baixamar de cada mês.

Em seguida, a fim de ampliar a base de dados, buscou-se identificar uma relação entre os dados da maré registrados em Itanhaém e os dados do Estuário de Santos. Para isso, foram comparados os



dados obtidos em um mesmo período nos dois locais e, como cada equipamento utilizava um zero hidrográfico distinto, os números registrados tiveram de ser adaptados a um nível referencial comum. O escolhido foi o zero hidrográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que está 1,863 metros acima do zero hidrográfico do marégrafo utilizado no Estuário do Rio Itanhaém. Isso levou os números obtidos em Itanhaém a serem reduzidos em 1,863 metros.

O mesmo procedimento foi adotado nos dados utilizados dos marégrafos instalados no Porto de Santos. Mas, nesse caso, o zero hidrográfico do IBGE encontra-se a 1,526 metros acima do zero hidrográfico da Companhia Docas do Estado de São Paulo (Codesp). Dessa forma, os dados referentes a Santos foram reduzidos em 1,526 metros.

Outros cuidados também foram adotados na análise dessas informações. Inicialmente, apesar do período de informações do marégrafo do Rio Itanhaém ser de outubro de 1981 a outubro de 1993, alguns meses foram descartados. Os motivos estão relacionados a seguir:

- *fevereiro a abril de 1983: marégrafo de Itanhaém não registrou os dados desses meses;*
- *janeiro a fevereiro de 1990: marégrafo da Ilha Barnabé ficou quebrado de 10 de setembro de 1989 a 21 de março de 1990;*
- *abril de 1990: não foram obtidos os dados do marégrafo da Codesp de abril de 1990 no dia da menor baixamar de Itanhaém;*
- *novembro de 1991 a abril de 1992: não foram obtidos os dados do marégrafo da Codesp de novembro de 1991 a fevereiro de 1992 e, em Itanhaém, o marégrafo foi retirado de 14 de fevereiro a 28 de abril de 1992;*
- *junho de 1992: o marégrafo de Santos não informa os dados nos dias registrados em Itanhaém;*
- *outubro de 1992: não foram obtidos os dados do marégrafo da Codesp de outubro de 1992;*
- *dezembro de 1992: não foram obtidos os dados do marégrafo da Codesp de dezembro de 1992 no dia do maior preamar de Itanhaém;*
- *janeiro de 1993: não foram obtidos os dados do marégrafo da Codesp de janeiro de 1993 no dia da menor baixamar de Itanhaém;*
- *julho de 1993: não foram obtidos os dados do marégrafo da Codesp de julho de 1993 no dia do maior preamar de Itanhaém.*

Assim, no período global de 145 meses, os dados relativos a 17 meses (11,72%) não foram analisados. Analisando o volume de dados (dois por mês – um da maior preamar e outro da menor baixamar), do total de 290, uma parcela de 31 (10,68%) não foram utilizados. Portanto, foram analisadas 259 (89,32%) relações de dados.

Na comparação entre os dados obtidos nos dois locais (Rio Itanhaém e Estuário de Santos), os seguintes critérios foram estabelecidos para sua captação:



- os relativos à variação da maré em Itanhaém foram obtidos a partir do marégrafo instalado na cidade pelo Governo do Estado;
- os relativos a Santos foram coletados a partir dos marégrafos da Codesp, a Autoridade Portuária de Santos, instalados na Ilha Barnabé e no antigo Terminal de Fertilizantes (Tefer);
- no período de outubro de 1981 a dezembro de 1989, os dados de Itanhaém foram comparados com as maiores preamares e as menores baixamares de Santos (uma vez que não se obteve a variação horária da maré, apenas seus resultados limites). Foram incluídos na análise apenas os meses em que os dados de Santos foram registrados com uma diferença de até dois dias dos de Itanhaém – ou seja, em determinado mês, a maior preamar (ou a menor baixamar) de Santos ocorreu com até 48 horas de diferença da de Itanhaém. Como consequência, nesse período, foram coletados 192 conjuntos de dados, mas 62 (32,29% dos 192) não puderam ser usados uma vez que os dados de uma cidade foram registrados com mais de dois dias de diferença da outra cidade. Foram utilizados, portanto 130 dados (67,7%). Destaca-se que, desses 62 dados que foram descartados, 13 (6,77% dos 192) são de dados registrados com três a quatro dias de diferença e 49 (25,52%), com cinco ou mais dias de diferença;
- no período de março de 1990 a outubro de 1993, os dados do marégrafo de Itanhaém foram comparados com os dados da variação horária da maré de Santos, identificando-se registros nos mesmos horários de Itanhaém.

Em síntese:

- 145 meses originariam 290 conjuntos de dados;
- 31 conjuntos de dados Itanhaém-Santos não foram utilizados devido à falta de registros (quebra de marégrafo nos meses em questão)- 10,68%
- 62 conjuntos de dados Itanhaém-Santos não foram utilizados pois as datas dos registros tinham uma diferença de mais de dois dias - 21,38%;
- 197 conjuntos de dados Itanhaém-Santos foram analisados - 67,94%.

Para identificar uma relação entre os dados de Santos e os de Itanhaém, estes foram comparados sob diversos prismas: as maiores preamares mensais de 1983 a 1993; as maiores preamares mensais de 1981 a 1989; as maiores preamares mensais de 1990 a 1993; as maiores preamares mensais de janeiro de 1983 a 1993 (e o mesmo para os demais 11 meses do ano); as menores baixamares mensais de 1983 a 1993; as menores baixamares mensais de 1981 a 1989; as menores baixamares mensais de 1990 a 1993; e as menores baixamares mensais de janeiro de 1983 a 1993 (e o mesmo para os demais 11 meses do ano).

Esses dados, com as funções de transferência e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), constam da **Tabela 2**, apresentada a seguir.



Tabela 2 – Taxa de transferência de dados de Santos para Itanhaém.

Taxa de transferência de Santos para Itanhaém		
Obs.: as funções não fazem intersecção com 0,0		
	Função	R ²
Máximas 83-93	$y = 0,6344x + 0,0133$	0,4551
Máximas 83-89	$y = 0,8028x - 0,1783$	0,6407
Máximas 90-93	$y = 0,4523x + 0,236$	0,2974
Máximas Jan	$y = 1,4465x - 0,8078$	0,5151
Máximas Fev	$y = 0,7741x - 0,1468$	0,4039
Máximas Mar	$y = 0,2942x + 0,4218$	0,2295
Máximas Abr	$y = 0,7591x - 0,0753$	0,7278
Máximas Maio	$y = 0,7945x - 0,1245$	0,6637
Máximas Jun	$y = 0,5041x + 0,1739$	0,5972
Máximas Jul	$y = 0,3965x + 0,2565$	0,5059
Máximas Ago	$y = 0,7216x - 0,0756$	0,6642
Máximas Set	$y = 0,6554x - 0,0184$	0,3009
Máximas Out	$y = 0,6769x - 0,0498$	0,4362
Máximas Nov	$y = 0,5278x + 0,1071$	0,2541
Máximas Dez	$y = 1,0604x - 0,4045$	0,7033
Mínimas 83-93	$y = 0,4533x - 0,6539$	0,2917
Mínimas 83-89	$y = 0,508x - 0,6296$	0,3423
Mínimas 90-93	$y = 0,0759x - 0,9257$	0,0112
Mínimas Jan	$y = -0,0585x - 1,2544$	0,0011
Mínimas Fev	$y = -0,285x - 1,4401$	0,0259
Mínimas Mar	$y = 0,8502x - 0,1159$	0,132
Mínimas Abr	$y = 1,3304x + 0,2013$	0,7575
Mínimas Maio	$y = 0,6613x - 0,5078$	0,7824
Mínimas Jun	$y = 0,7994x - 0,2997$	0,8555
Mínimas Jul	$y = 0,2905x - 0,8144$	0,0668
Mínimas Ago	$y = 0,2387x - 0,9345$	0,1701
Mínimas Set	$Y = 0,3815x - 0,7357$	0,1501
Mínimas Out	$y = 0,4931x - 0,6143$	0,5288
Mínimas Nov	$y = 0,8904x - 0,1669$	0,7584
Mínimas Dez	$y = 0,1437x - 1,0069$	0,0947

As funções adotadas para a transferência de dados (correlação) entre Santos e Itanhaém foram selecionadas considerando, inicialmente, as três com o maior coeficiente de determinação. E entre elas, a de maior número de dados relacionados (quantos exemplos foram relacionados na elaboração da função). Assim, resolveu-se adotar como função de transferência de Santos para Itanhaém, em relação às menores baixa-mares, a função obtida comparando os resultados das menores baixa-mares em novembro ($y = 0,8904x - 0,1669$, em que y é o dado de Itanhaém e x , o de Santos). Em



relação às maiores preamares, adotando os mesmos critérios, foi selecionada a função relativa a maior ($y = 0,7945x - 0,1245$).

6. DADOS COLETADOS

Os seguintes conjuntos de dados e informações foram coletados ao longo do projeto:

- Informações maregráficas disponíveis regionalmente;
- Distribuição biótica ao redor do estuário do Rio Itanhaém;
- Morfodinâmica costeira ao redor do estuário do Rio Itanhaém;
- Distribuição de minerais pesados no compartimento costeiro.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Análise composicional de minerais pesados nas areias

As amostras analisadas apresentaram a distribuição quantitativa de minerais pesados, em porcentagem, conforme a **Tabela 3**. A soma de zircão, turmalina e rutilo, ZTR, é apresentada na penúltima coluna, sendo um parâmetro associado a trechos comparativamente mais erosivos em um dado compartimento costeiro. Notar os valores mais elevados das células sombreadas. A soma total dos grãos é apresentada na última coluna, podendo não atingir 100% devido a grãos de difícil identificação.



Tabela 3 - Distribuição quantitativa de minerais pesados (%) entre Peruíbe e Praia Grande.

PONTO	zircão	turmalina	rutilo	cianita	estauroлита	silimanita	andalusita	granada	monazita	hornblenda	hiperstênio	ZTR	total
1	3.5	14	0.5	0.5	2	1	2	3	0.5	43	28.5	18	98.5
2	3	13.5	1	0.5	1.5	2.5	3	3.5	1	41.5	26.5	17.5	97.5
3	2.5	14	0.5	0	2	4	1.5	5	0.5	39.5	28.5	17	98
4	5	10.5	0.5	1.5	0.5	4.5	2	3.5	0.5	41	28	16	97.5
5	2	16.5	0.5	2	4.5	2.5	4.5	2.5	0	44.5	19	19	98.5
6	1.5	18	2.5	2.5	3	1.5	2	2.5	1	39.5	23	22	97
7	2.5	18.5	1	1.5	2.5	4	1.5	2	2	47	15.5	22	98
8	4	14.5	1.5	1	2	2.5	3	2.5	1	49.5	16	20	97.5
9	3.5	17	0.5	1	2	2	4.5	3	1	42.5	20.5	21	97.5
10	6	14	2	0.5	2	4	2.5	5.5	1.5	41	18	22	97



Tabela 3 Continuação - Distribuição quantitativa de minerais pesados (%) entre Peruíbe e Praia Grande.

PONTO	zircão	turmalina	rutilo	cianita	estauroлита	silimanita	andalusita	granada	monazita	hornblenda	hiperstênio	ZTR	total
11	4.5	12.5	3.5	0.5	3	3.5	1.5	2	0	50.5	16.5	20.5	98
12	2.5	22	3	0	3	5	3	2	0.5	32.5	25	27.5	98.5
13	3.5	18	3.5	0.5	2.5	2.5	1.5	2.5	1	40.5	22.5	25	98.5
14	3.5	20.5	2	1	0.5	2.5	2	4	1.5	38	22.5	26	98
15	4	21	1.5	1	1.5	3	1.5	1.5	0	42.5	21	26.5	98.5
16	4	19.5	2	0.5	1	4	1.5	2	0	45	18.5	25.5	98
17	3	23	1.5	2	0.5	3	1	1	1	37	24	27.5	97
18	3.5	19.5	2	0.5	3	3.5	1.5	1	1.5	42.5	19.5	25	98
19	5	21	2.5	1.5	0.5	3	0.5	0.5	1	47.5	14	28.5	97
20	4.5	18	1	1	0.5	3.5	0.5	3	1	48	17.5	23.5	98.5
21	1.5	22.5	1	0	2	3.5	1	2.5	2	37	26	25	99
22	1.5	14	1.5	0.5	2.5	2.5	2.5	2	1	50.5	20	17	98.5
23	3	17	1	0	3	4	2	0.5	0	51	17.5	21	99
24	3.5	15.5	1	1	5	4	1.5	2	0.5	52.5	12	20	98.5
25	2	18	1.5	1.5	4.5	3.5	1	1.5	1	49	15.5	21.5	99
26	2.5	16	2	0	4	5	2.5	1	0	47	18	20.5	98

Características do transporte podem determinar variações quantitativas na presença de minerais pesados derivados de uma mesma fonte. Este comportamento decorre resultante de efeitos hidrodinâmicos sobre a densidade, granulometria ou formato dos grãos. Ao longo de praias, são esperados padrões de concentração diferencial entre assembleias de minerais pesados. Zircão, rutilo, monazita, ilmenita e outros pesados de densidade mais elevada, tendem a ser concentrados em áreas erosivas. Por outro lado, anfibólios, piroxênios, epidotos e outros pesados de relativa menor densidade, são propensos a serem transportados seletivamente e dispersos nas proximidades de desembocaduras de rios e zonas de sedimentação mais intensa.

A partir dos dados de distribuição de minerais pesados, foi possível verificar a presença de trechos com tendência erosiva. Ressalta-se que a tendência se restringe ao cenário hidrodinâmico da época de coleta de amostras. Entretanto, os resultados não permitiram precisar vetores de transporte litorâneo de sedimento arenoso. Possivelmente, as inversões de deriva sazonais tendem a espalhar as assembleias a partir de pontos de entrega (*i.e.* desembocaduras fluviais), tornando difícil a determinação de vetores apenas por evidências mineralógicas.

O trecho que apresentou maiores concentrações de ZTR (zircão + turmalina + rutilo), que podem indicar condições erosivas correspondem aos **Pontos 12 a 21**.



7.2. Análise da geodiversidade e do meio biótico

As principais feições do litoral paulista estão associadas aos eventos geológicos do Mesozóico, com a abertura do Atlântico, soerguimento da borda continental e formação da bacia de Santos com intensa sedimentação atrelada às variações do nível marinho. Por sua vez, foi durante o Quaternário, quando ocorreram quatro estádios glaciais e interglaciais intercalados, as planícies costeiras paulistas ganharam as características morfológicas e geométricas atuais.

A **Figura 20** apresenta uma síntese da hipótese elaborada por AMARAL (2003) para interpretar a evolução do manguezal do Rio Itanhaém. Na primeira etapa, houve a formação do estuário durante a fase transgressiva (por volta de 18.000 anos AP). Na segunda etapa, a autora indica o início do preenchimento do estuário pela progradação de deltas de cabeceira de baía, com o fechamento parcial da desembocadura favorecendo a deposição de sedimentos pelíticos, durante a terceira etapa. A quarta etapa corresponde à situação atual do estuário, ocupado por vegetação de manguezal.

Fonte: AMARAL, 2003.

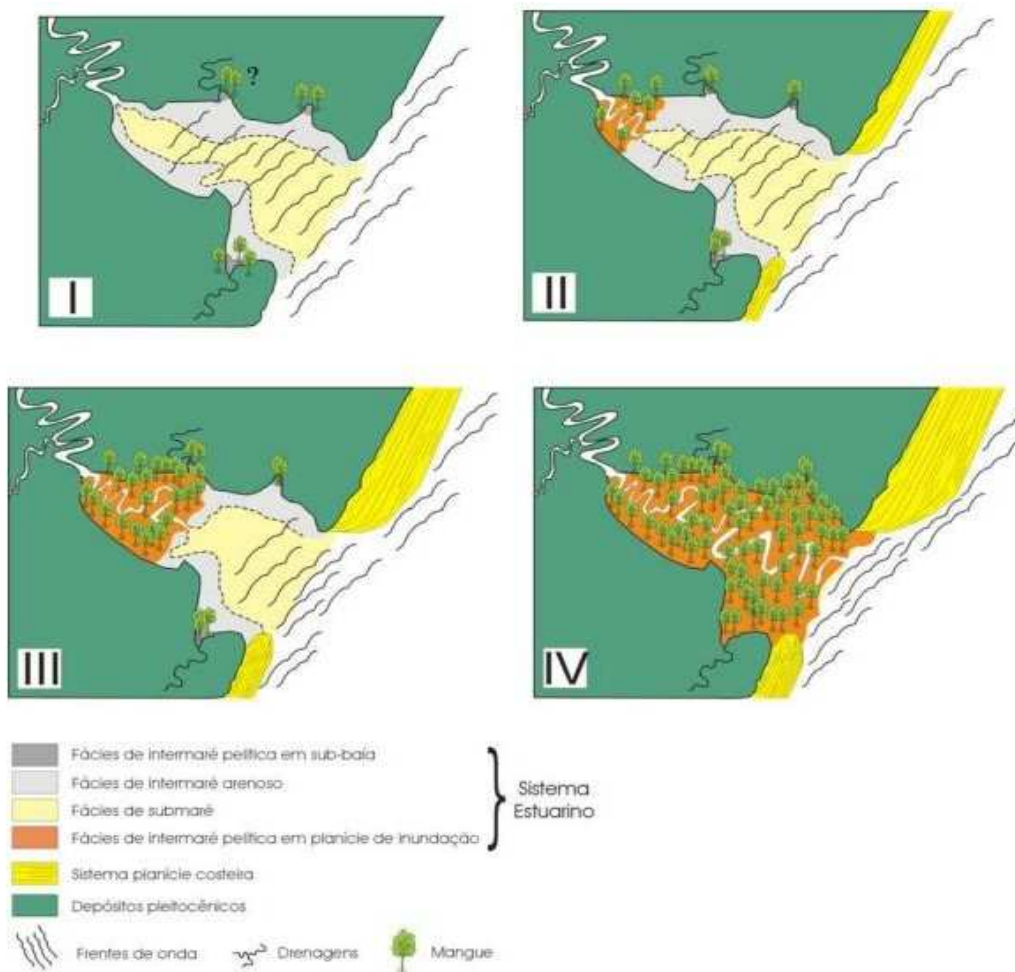
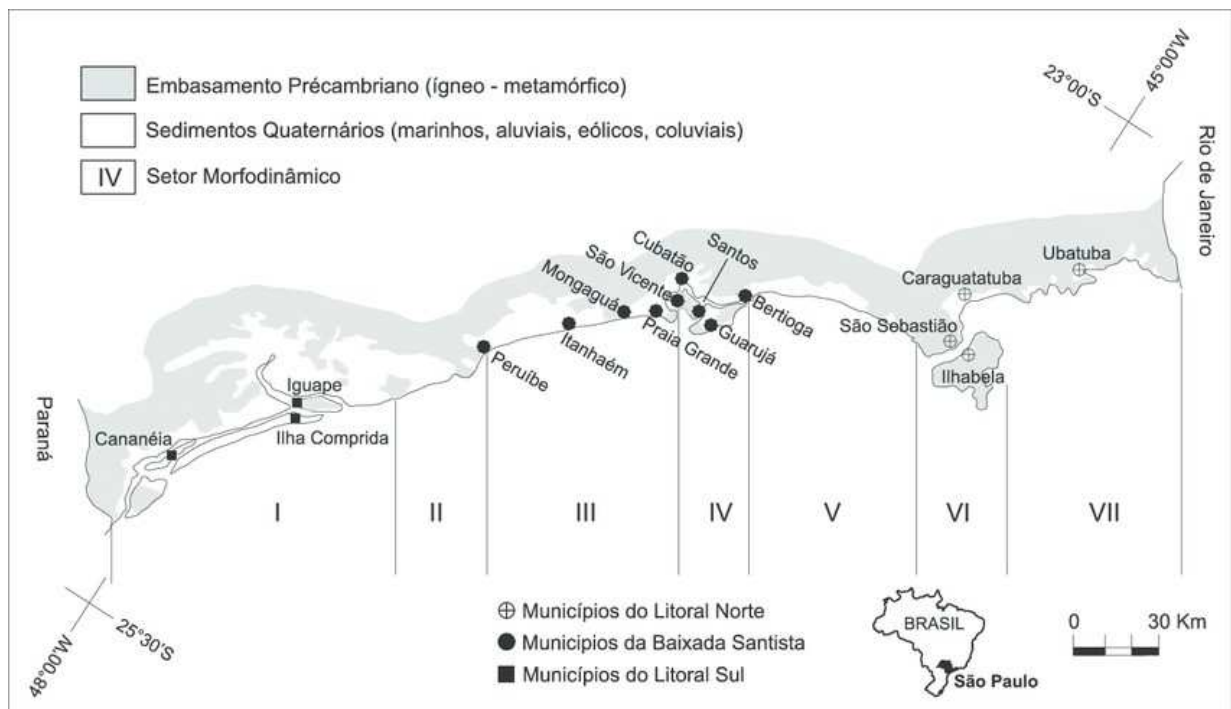


Figura 20 – Evolução do manguezal do Rio Itanhaém de acordo com AMARAL, 2003.

Amf

SOUZA e SUGUIO (1996), a partir da morfodinâmica das principais praias paulistas e sua relação com a evolução das respectivas planícies costeiras estabeleceram uma compartimentação do litoral paulista em sete setores morfodinâmicos: I – Ilha Comprida à Juréia; II – Rio Verde ao Graraú; III – Peruíbe a Praia Grande; IV – São Vicente a Iporanga; V – Bertioga a Barequeçaba; VI – Canal de São Sebastião; VII – Caraguatatuba até a divisa com o estado do Rio de Janeiro. Os setores acima mencionados estão representados na **Figura 21**, onde se destaca o setor III (Peruíbe-Praia Grande), objeto do presente estudo.



Fonte: SOUZA e SUGUIO, 1996.

Figura 21 – Compartimentação dos setores morfodinâmicos do litoral paulista de acordo com SOUZA e SUGUIO, 1996.

O setor III compreende as interfaces litorâneas dos municípios de Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá e Praia Grande, perfazendo cerca de 70 km de praias, geralmente homogêneas, contínuas, largas e com baixa declividade. Este setor se apresenta com planície costeira larga de cristas praias, onde predominam sedimentos pleistocênicos e dunas. Por sua vez, a faixa de sedimentos holocênicos é restrita e frontal às praias (SOUZA, 1997).

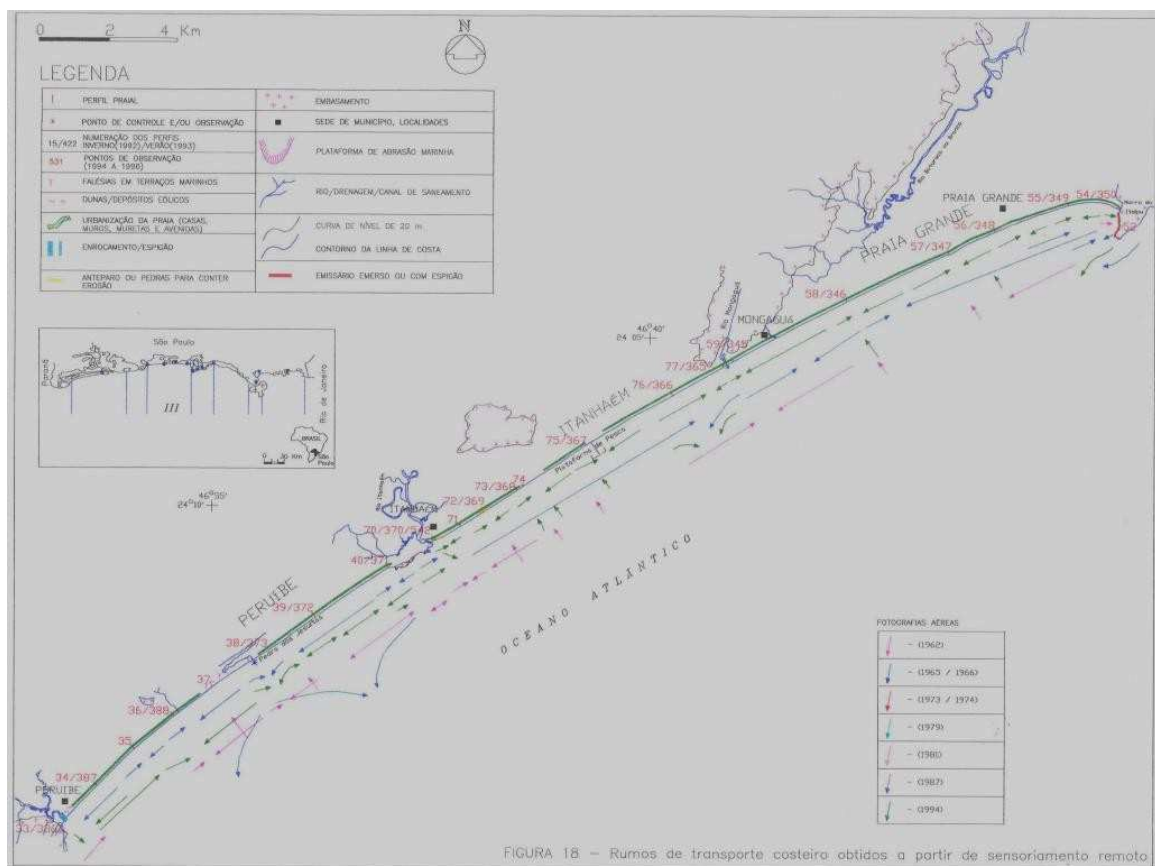
Releva destacar que a evolução desta planície no Quaternário está relacionada a dois eventos transgressivos. O primeiro é datado do Pleistoceno, cerca de 120.000 anos AP, denominado transgressão Cananéia (SUGUIO & MARTIN, 1978), representada por depósitos arenosos, marinhos costeiros. O segundo evento, datado do Holoceno, cerca de 5.100 anos AP, denominado transgressão Santos (SUGUIO & MARTIN, 1978), é constituído por sedimentos arenosos em faixa que se estende do oceano até os depósitos pleistocênicos.

Assinatura

Com base em estudos de granulometria e de minerais pesados, realizados por GIANNINI (1987, 1989), a planície costeira de Itanhaém foi subdividida em três faixas paralelas à costa: “faixa de sedimentos de praia atual com 50m a 100m de largura, faixa de sedimentos holocênicos interiores com até 1,5km de largura e faixa de sedimentos pleistocênicos”. Assim, o presente estudo, limita-se à primeira faixa identificada pelo autor já citado.

Segundo SOUZA (1997), essas praias são constituídas por areias finas, bem selecionadas, predominantemente simétricas e mesocúrticas, com inclinações médias na antepraia e face litorânea em torno de 2°, podendo atingir 4°. A mesma autora conclui que as praias do setor III “têm estado modal dissipativo de alta energia mas, localmente, podem ocorrer estados intermediários”.

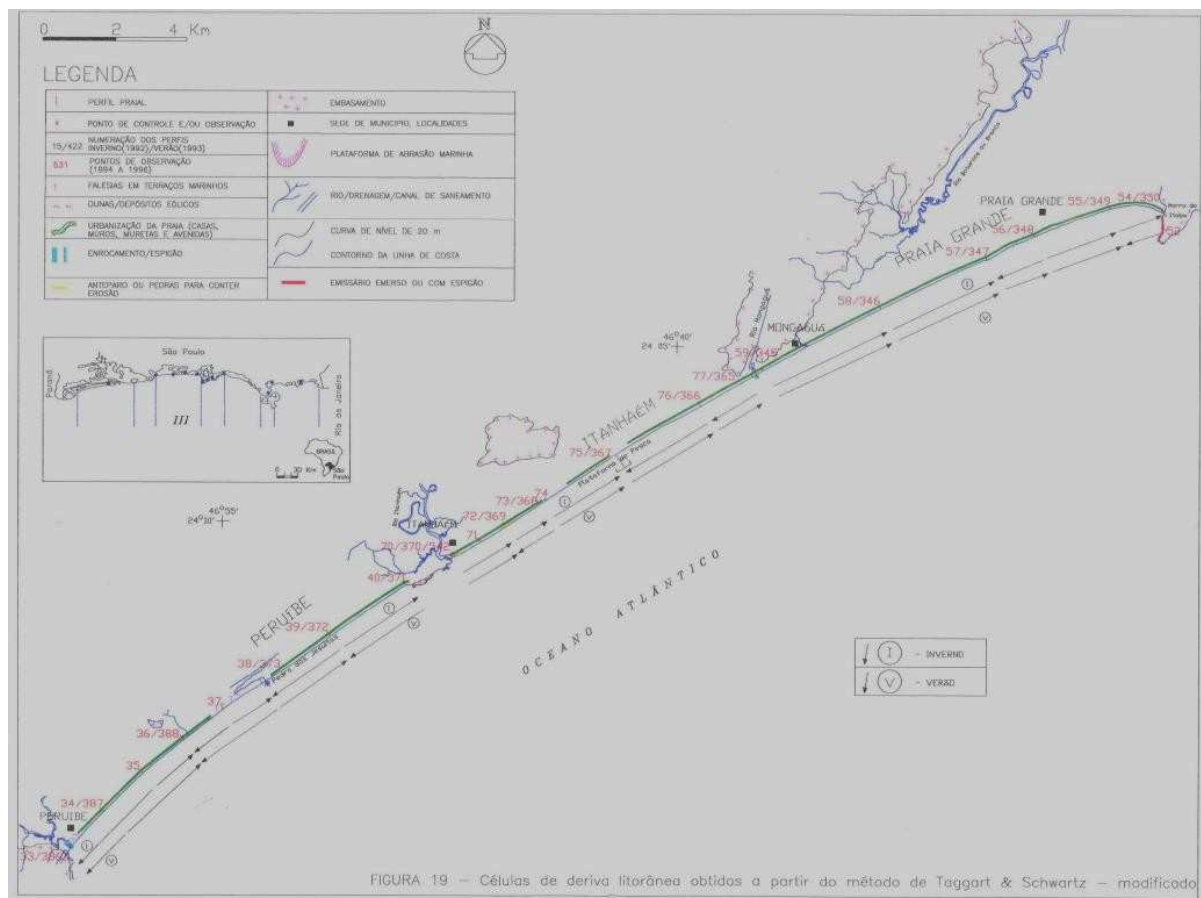
SOUZA (1997), ainda estabeleceu para o setor morfodiâmico III, os rumos do transporte costeiro e as células de deriva costeira apresentados nas figuras a seguir (**Figuras 22 e 23**).



Fonte: Souza, 1997.

Figura 22 – Rumos do transporte costeiro no setor morfodinâmico III do litoral paulista de acordo com SOUZA, 1997.

Amf

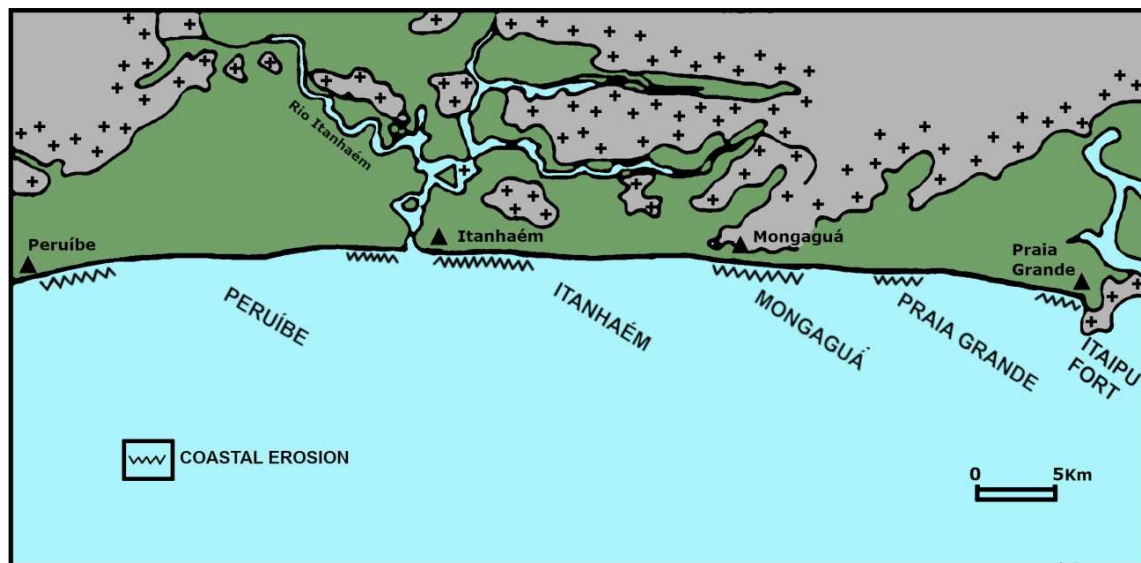


Fonte: Souza, 1997.

Figura 23 – Células de deriva litorânea no setor morfodinâmico III do litoral paulista de acordo com SOUZA, 1997.

Assim, neste setor, a autora já mencionada, estabelece 06 (seis) locais que já apresentavam à época de seu estudo, feições erosivas, conforme identificadas na figura abaixo (**Figura 24**).

Amf

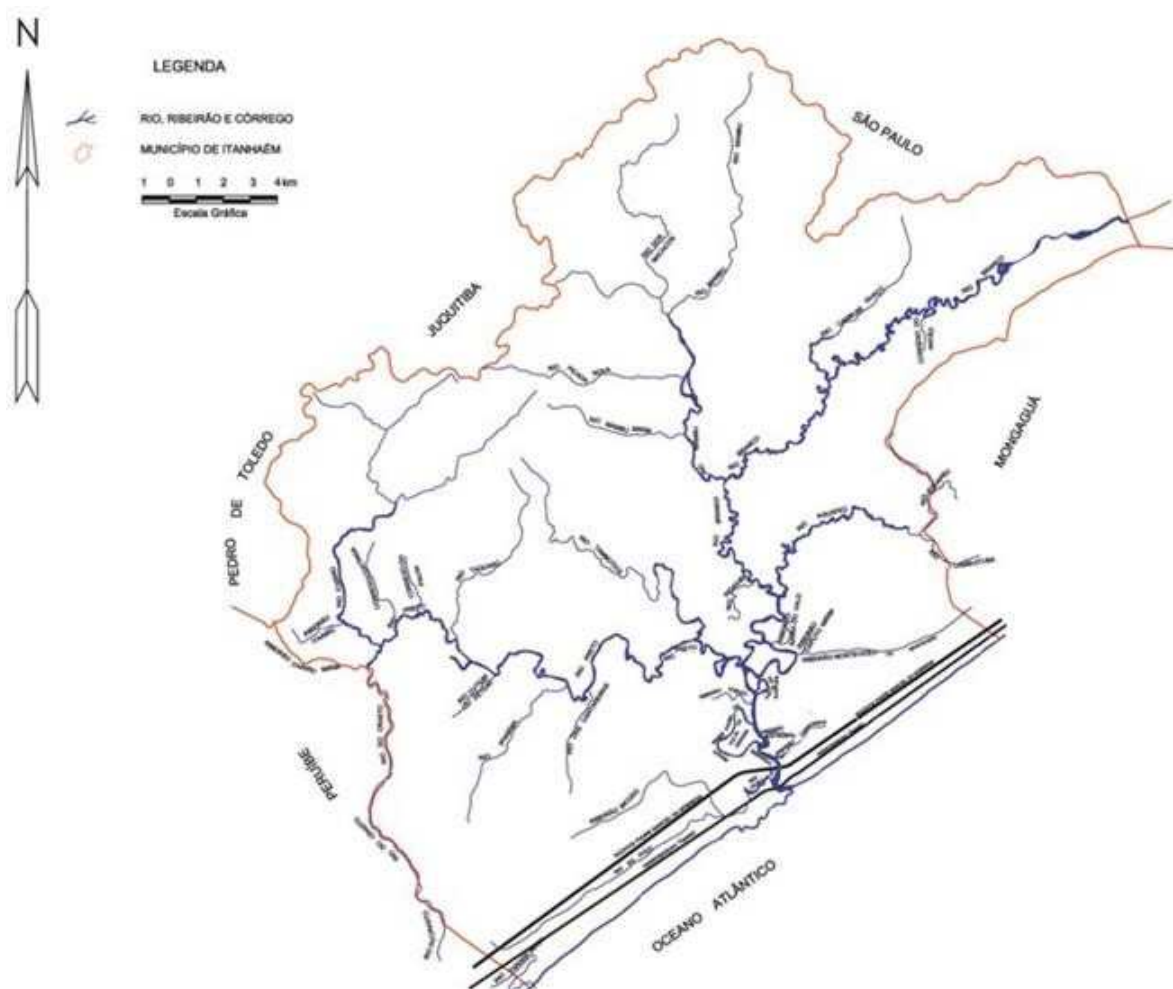


Fonte: Souza, 1997.

Figura 24 – Localização de feições erosivas no setor morfodinâmico III do litoral paulista de acordo com SOUZA, 1997.

7.2.1. Hidrografia e geologia de Itanhaém

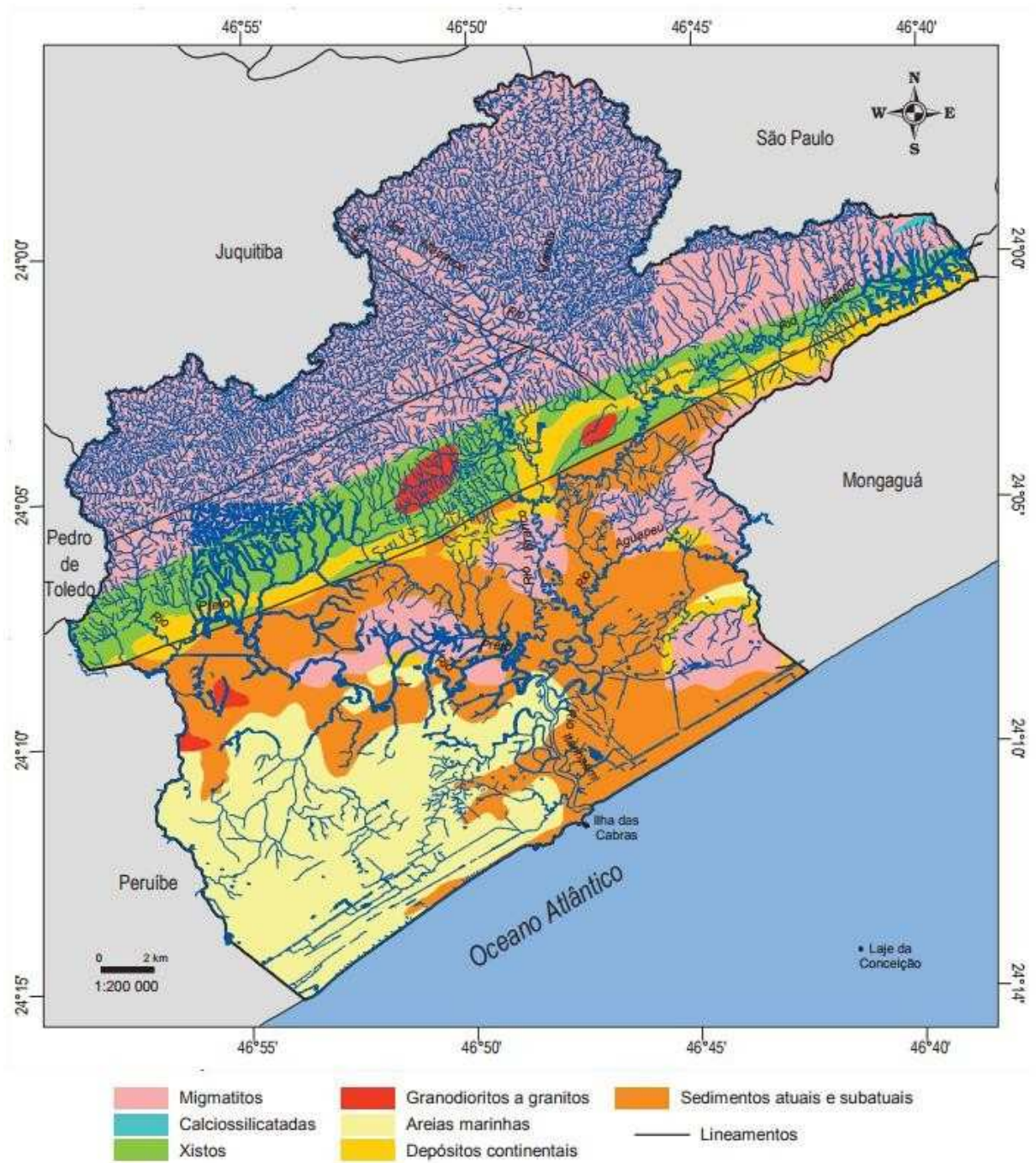
Além dos aspectos morfodinâmicos do setor III, é importante destacar que os ecossistemas são fortemente influenciados pelos rios de porte médio que drenam a área, com destaque para o rio Itanhaém, constituído pelo encontro das águas dos rios Itanhaém, Branco e rios Preto, Aguapeú e Mambu. Trata-se da segunda maior sub-bacia hidrográfica do litoral paulista (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Baixada Santista – UGRHI 7 – sub-bacia 4) (**Figura 25**).



Fonte: Secretaria do Patrimônio da União - SPU, 2017.

Figura 25 – Rio Itanhaém (UGRHI 7 – sub-bacia 4), constituído pelo encontro das águas dos rios Itanhaém, Branco, Preto, Aguaçu e Mambu.

Esta sub-bacia, do ponto de vista geológico, drena, na porção central do município de Itanhaém, uma faixa bem definida de rochas correspondente a xistos, evidenciando a presença de uma grande estrutura de direção NE-SW. Ao norte desta faixa de xistos, há predomínio de migmatitos datados do pré-cambriano e ao sul, sedimentos atuais/subatuais e areias marinhas. Além disso, tem-se: uma pequena área na região nordeste do município onde ocorrem rochas calcossilicatadas; quatro áreas na porção central de Itanhaém, compostas por granodioritos e granitos; como também na porção central do município, áreas com predomínio de depósitos continentais (**Figura 26**).



Fonte: IPT, 1981.

Figura 26 – Mapa geológico do Estado de São Paulo – recorte do município de Itanhaém.

7.2.2. Geomorfologia e unidades geoambientais do baixo curso do Rio Itanhaém

O município de Itanhaém, do ponto de vista geomorfológico, apresenta-se com as escarpas da Serra do Mar, morros isolados e a planície costeira quaternária.

A Serra do Mar, rebordo do Planalto Atlântico com terrenos do cristalino, localiza-se na porção mais interior do município, apresenta escarpas abruptas e festonadas onde o desnível altimétrico, em alguns pontos, encontra-se acima de 800 metros (IPT, 1981).

Assinatura

Os morros isolados representam porções do setor serrano (embasamento cristalino) individualizados por áreas de sedimentação fluvial e terraços marinhos, ou seja, áreas de sedimentação recente.

Por fim, deve-se mencionar a presença da planície costeira quaternária (sedimentos fluviais e marinhos), unidade de relevo mais diretamente posicionada junto à linha de costa que se relaciona com as interações oceano-continente. Trata-se de área que apresenta desníveis até 13 metros em relação ao nível do mar porque, além da própria planície sedimentar onde as declividades são geralmente inferiores a 2%, existem rupturas topográficas relacionadas aos terraços marinhos existentes principalmente na região sudoeste do município. Isso faz com que a planície costeira de Itanhaém abarque, ao mesmo tempo, área coletora e áreas transmissoras de matéria e energia.

A presença de terraços permitiu que SATO (2012), sob a concepção de que a paisagem é um espaço físico composto pela interação entre sistemas naturais e sistemas sociais, estabelecesse um zoneamento geoambiental para eles com três unidades distintas: terraços marinhos – nível I, terraços marinhos – nível II e terraços marinhos urbanizados.

Os terraços marinhos – nível I correspondem a áreas de depósitos sedimentares marinhos antigos associados aos períodos transgressivos. Apresentam-se com baixa declividade e são unidades propensas a alagamentos. A mata de restinga, quando presente na área, promove a estabilização dos sedimentos, minimizando os processos denudativos. Quando a área é recoberta por atividade rural, há uma tendência ao aprofundamento desses processos. Deve-se destacar ainda a possibilidade dessa área ser objeto da expansão urbana o que levará a um aumento de sua fragilidade.

Por sua vez, ainda segundo SATO (2012), os terraços marinhos – nível II abarcam áreas dissecadas, com declividades entre 2% e 5%, localizadas ao S e SW de Itanhaém correspondentes à presença de dunas, dunas desmanteladas e cordões litorâneos. São áreas instáveis, pouco coesas, mas muito importantes na proteção da linha de costa. Pela legislação vigente, correspondem a Áreas de Preservação Permanente - APP. São porções frágeis do território, ameaçadas pela expansão urbana das áreas lindeiras.

Em função da crescente urbanização, SATO (2012) estabeleceu ainda a unidade de terraços marinhos urbanizados que apresentam declividades entre 2% e 5% por estarem sobre dunas e cordões litorâneos. São áreas cuja fragilidade é agravada pela própria urbanização que provocou e provoca desmatamentos e crescente impermeabilização de áreas, interferindo irreversivelmente em processos geomorfológicos locais.

No zoneamento geoambiental, SATO (2012) destaca ainda na planície sedimentar quatro unidades receptoras de sedimentos: unidade de rampas coluviais, unidade de planície fluvial, unidade de planície flúviomarina e unidade de planície marinha. As rampas coluviais, correspondem aos elementos de interação entre as vertentes das escarpas e morros com a planície costeira. A unidade de planície fluvial corresponde à própria planície e terraços fluviais do sistema do Rio Itanhaém. Esses terraços abrigam meandros abandonados que atestam intensa dinâmica erosiva enquanto as áreas de planície sofrem inundações periódicas e erosão marginal.



A jusante do Rio Itanhaém, próximo à linha de costa, situa-se a planície flúviomarinha com baixa declividade (2 a 5%), com dinâmica vinculada ao sistema fluvial e às oscilações do nível do mar. Trata-se de área sujeita as inundações periódicas, controladas pelo regime das marés onde predominam sedimentos finos, ricos em matéria orgânica em decomposição onde florescem manguezais.

Na interface entre a dinâmica continental e oceânica, SATO (2012) estabeleceu a estreita faixa sedimentar arenosa, de coesão insipiente, de intensa e inerente instabilidade natural, correspondente à planície marinha onde prevalecem usos urbanos, atividades de lazer e de turismo.

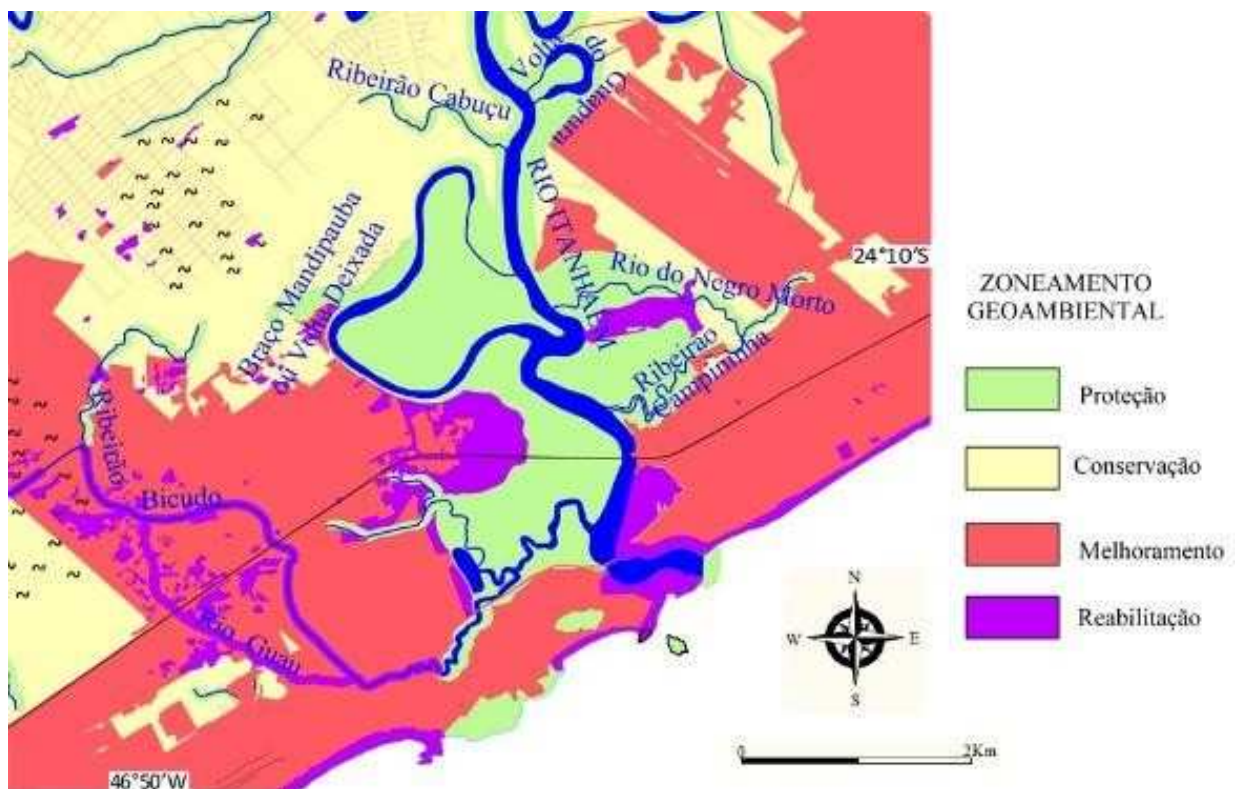
A seguir, é apresentado um recorte geográfico do Município de Itanhaém, junto ao baixo curso do Rio Itanhaém, onde estão representadas as ações das águas correntes, marinhas, litorâneas e antrópicas (**Figura 27**). Por sua vez, o estado das unidades geoambientais acima identificadas são representadas na **Figura 28**.



Fonte: Sato, 2012.

Figura 27 – Ação das águas correntes, marinha e litorânea no baixo curso do Rio Itanhaém.

Amf



Fonte: Sato, 2012.

Figura 28 – Estado do zoneamento geoambiental do baixo curso do Rio Itanhaém.

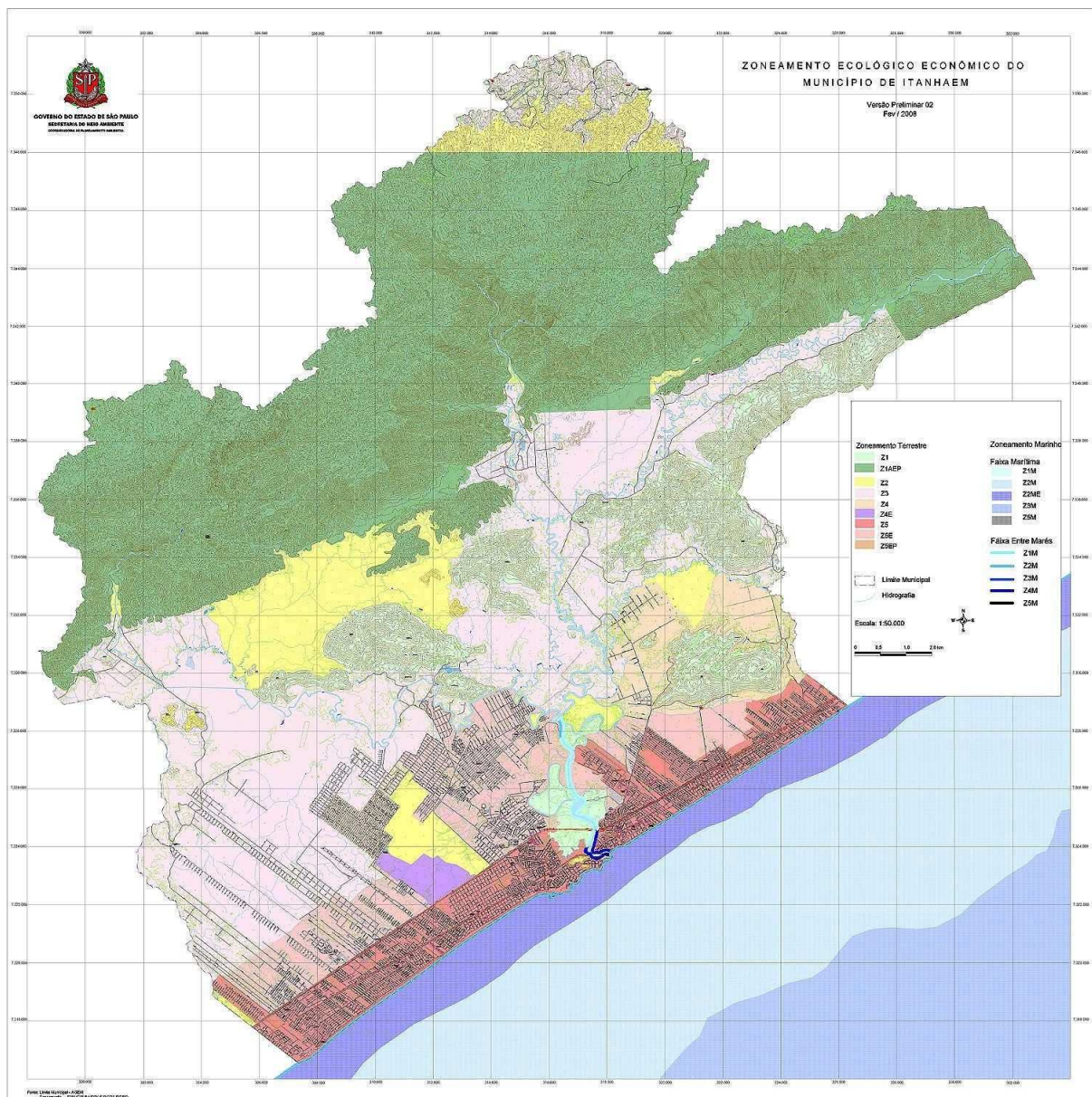
7.2.3. Zoneamento Ecológico Econômico de Itanhaém

Conforme se constata na figura acima, o relevo onde se estabeleceu a sub-bacia 4 da UGRHI 7, encontra-se em uma área de transição de terrenos com rochas cristalinas, para áreas de planície costeira. Intermediando essa transição tem-se a escarpa da Serra do Mar. Nos terrenos onde as rochas são mais resistentes, o relevo é mais íngreme, com alta densidade de drenagem enquanto, nos terrenos planos, compostos por rochas sedimentares, a densidade de drenagem é mais baixa e os cursos d'água são meandrantes.

Esta geodiversidade foi refletida no estabelecimento do Zoneamento Ecológico Econômico no município de Itanhaém, conforme figura apresentada na **Figura 29** e na **Figura 30** em detalhe.

A elaboração do zoneamento foi pautada em análise estratégica sobre a situação atual da região e de sua evolução, bem como em seu cenário alvo, que deu as diretrizes para os enquadramentos. Este zoneamento é uma ferramenta de ordenamento territorial, que estabelece medidas e padrões de proteção ambiental, destinados a assegurar a qualidade ambiental, o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida.





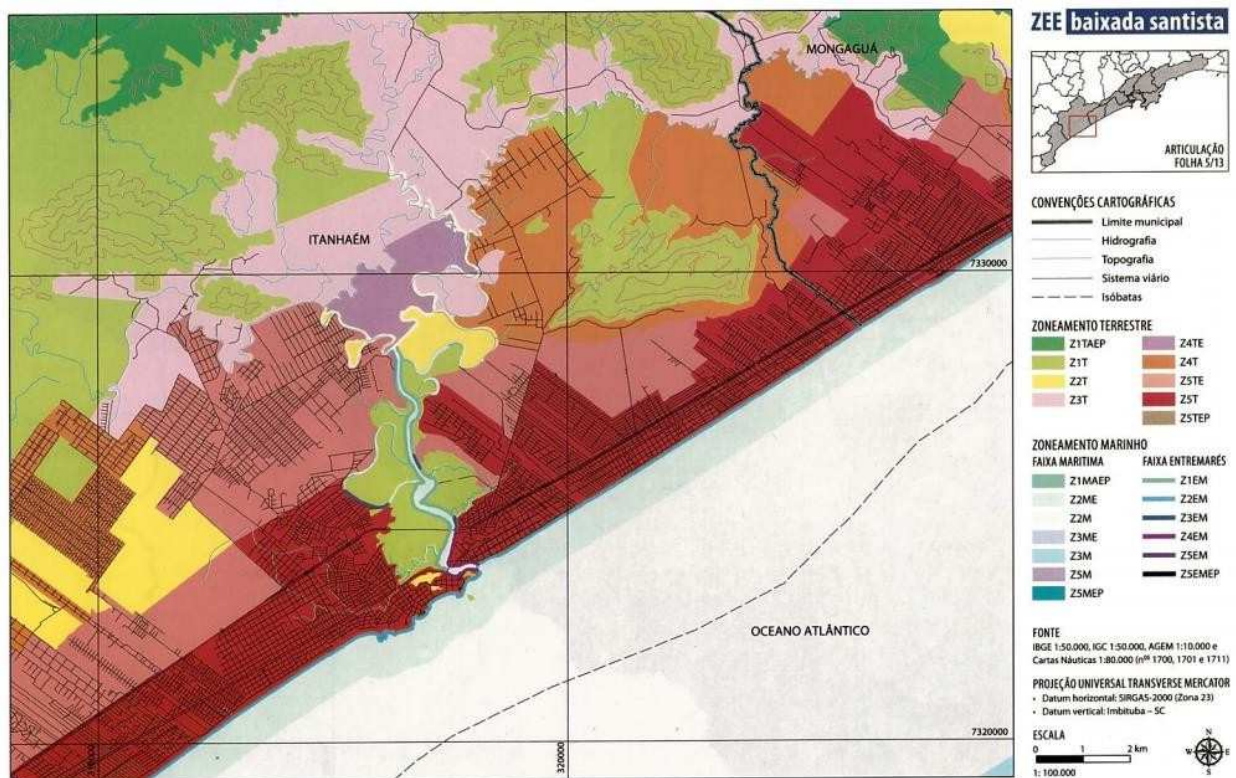
Fonte: Governo do Estado de São Paulo, 2013.

Figura 29 – Zoneamento Ecológico Econômico do município de Itanhaém.

Assim, vale destacar que, junto ao baixo curso do Rio Itanhaém, há áreas destinadas à preservação dos ecossistemas locais (Z1MAEP, Z1T e a faixa Z3EM). Por sua vez, junto à foz do Rio Itanhaém, a urbanização está presente e as áreas marginais pertencem à Z5T, enquanto a interface marinha é classificada como Z1EM e Z2ME.

A seguir, estão discriminadas e caracterizadas as zonas ecológicas e econômicas presentes junto ao baixo curso do Rio Itanhaém até a interface litorânea conforme a **Tabela 4**.

Assim



Fonte: Governo do Estado de São Paulo, 2013.

Figura 30 – Detalhe do Zoneamento Ecológico Econômico junto ao baixo curso do Rio Itanhaém.

Tabela 4 – Caracterização do Zoneamento Ecológico Econômico no baixo curso do Rio Itanhaém.

Zoneamento	Características
Z1MAEP	Abrange unidades de conservação de proteção integral relacionada à Lei Federal 9.985, de 18 de julho de 2000.
Z1T	Corresponde a áreas contíguas de vegetação nativa primária e secundária em estágio avançado de regeneração e fauna associada; predomínio de áreas de preservação permanente; ocorrência de unidades de conservação de proteção integral; desenvolvimento de atividades compatíveis com a preservação e a conservação.
Z3EM	Abrange estrutura abiótica natural moderadamente alterada por atividades antrópicas; comunidade biológica em estado regular de equilíbrio, com claros sinais de perturbações estruturais e funcionais; existência de estruturas náuticas; ocorrência de atividades de recreação de contato primário.
Z5T	Corresponde à área degradada ou com supressão da maior parte dos componentes dos ecossistemas primitivos; assentamentos urbanos consolidados ou em fase de consolidação; existência de infraestrutura urbana e de instalações industriais, comerciais e de serviços.
Z1EM	Abrange estrutura abiótica preservada; comunidade biológica preservada; ausência de atividades antrópicas que ameacem o equilíbrio ecológico; usos não intensivos, especialmente associados ao ecoturismo e ao extrativismo de subsistência; áreas prioritárias para reprodução de organismos marinhos.

Amf

Z2ME	Corresponde à área com estrutura abiótica natural, pouco alterada por atividades antrópicas; comunidade biológica em equilíbrio, mas com perturbações estruturais e funcionais incipientes e localizadas; existência de atividades de aquicultura; ocorrência de atividades de recreação de contato primário.
-------------	---

Fonte: Governo do Estado de São Paulo, 2013.



7.2.4. Modelos digitais dos efeitos das progressões derivadas dos dados de maré

As modelagens elaboradas com base na elevação indicada apresentam as faixas diretamente afetadas nos cenários resultantes para 2050 e 2100. Esses dois cenários remetem a impactos elevados e múltiplos a exemplo das ocupações nas proximidades das margens no baixo curso do Rio Itanhaém.

As modelagens não incluem os trechos impactados por alteração de hidrodinâmica na desembocadura ou no sistema flúvio-marinho. O incremento do volume de água transferido durante as subidas e descidas das marés diárias resultará em reajuste do canal, da praia adjacente e das barras de maré (principalmente do delta de vazante). O aumento da pista local (área inundada) poderá produzir ondulações que incidirão nas margens do estuário, gerando efeitos de reajuste erosivo.

Por sua vez, a salinização de suas águas estará comprometendo os ecossistemas costeiros, especialmente os manguezais. Acrescenta-se que também haverá a intrusão marinha no aquífero de Itanhaém.

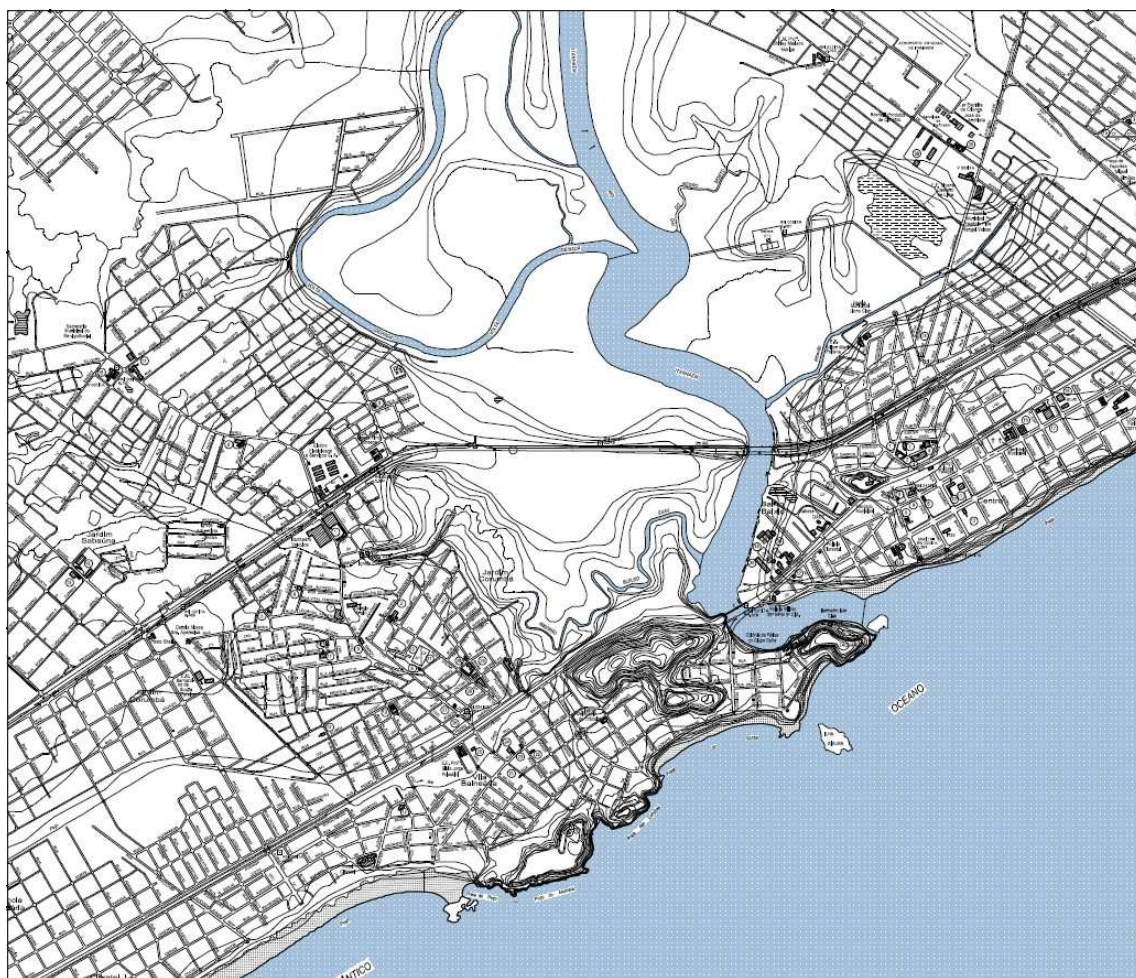


Figura 31 – Cenário atual para o baixo curso do Rio Itanhaém.



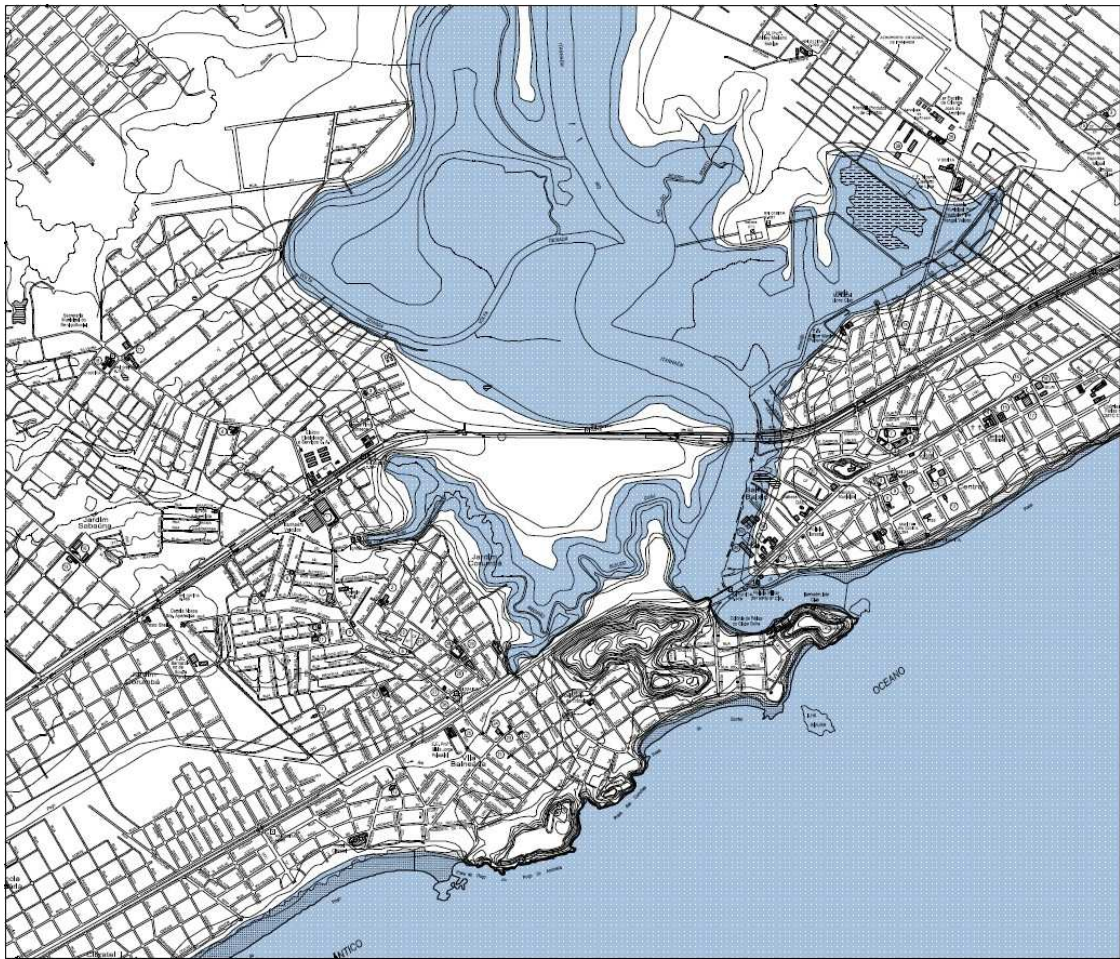


Figura 32 – Cenário de 2050 para o baixo curso do Rio Itanhaém.



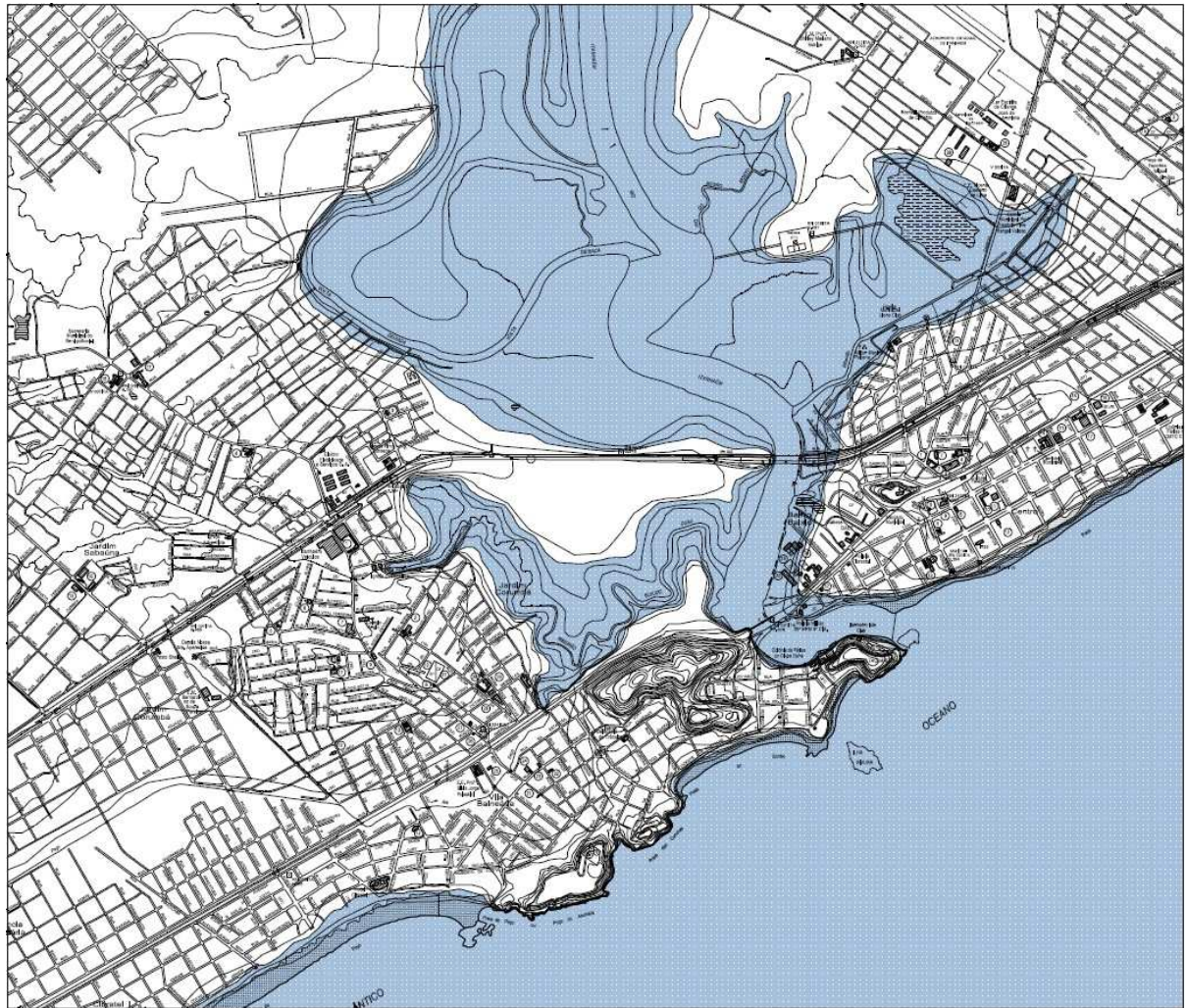


Figura 33 – Cenário de 2100 para o baixo curso do Rio Itanhaém.



7.3. Análise de dados de maré

Por meio do tratamento dos dados primários, foi possível obter uma sequência histórica de dados da maior preamar e da menor preamar do Rio Itanhaém. É importante destacar que, no período de desenvolvimento deste estudo, não foram disponibilizados dados de outros períodos históricos de Santos, de modo a atender esse objetivo. De qualquer forma, a obtenção dessas funções permite que pesquisas futuras possam ampliar essa base de dados.

Dessa forma, a análise da variação do nível do mar no Estuário do Rio Itanhaém passou a se limitar ao período registrado no marégrafo, de outubro de 1981 a outubro de 1993.

Analisando os dados relativos a esses 12 anos, forma-se um gráfico do valor da maior preamar mensal em função do tempo (**Figura 34**).

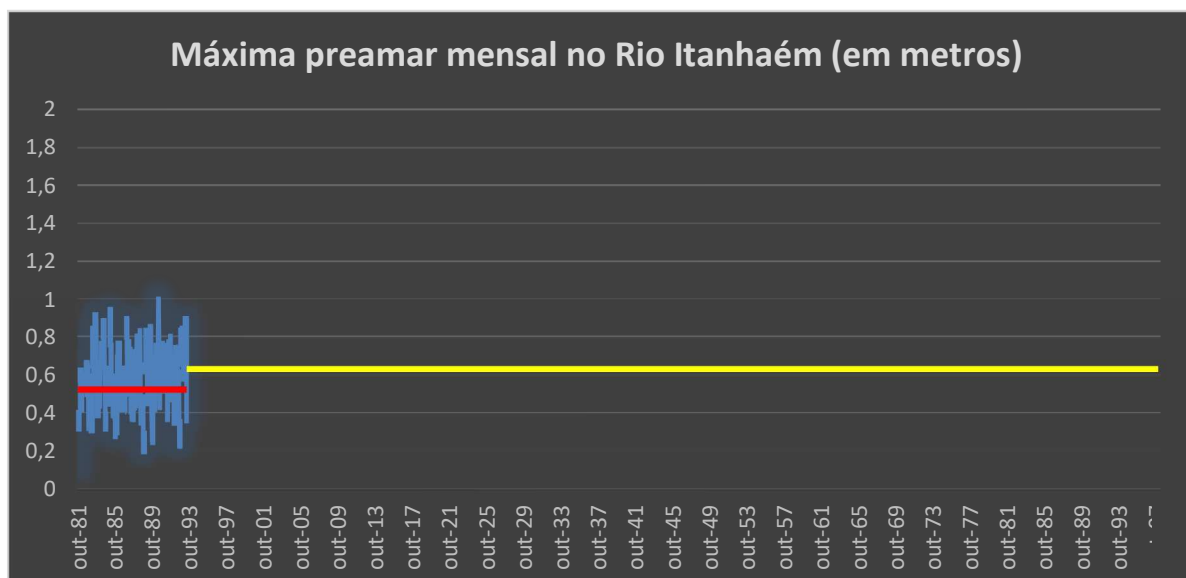


Figura 34 – Máxima preamar mensal no Rio Itanhaém.

Ao se analisar a linha de tendência do gráfico, formada a partir dos dados de outubro de 1981 a outubro 1993, conclui-se que o valor da preamar mensal obedece a seguinte função $y = 0,0007x + 0,5241$, em que y é o valor da maior preamar em um mês e x é o mês (em uma sequência numérica).

Assim, conclui-se que, com base no período analisado, por mês, a maior preamar varia em mais 0,7 milímetros por mês, 8,4 milímetros por ano ou 8,4 centímetros por década. Assim, considerando que em 1993, seu valor médio foi de 0,663 metros, em 2017, ele será de 0,8646 metros. Em 2050, será de 1,14 metros; em 2064, será de 1,25 metros e, em 2100, 1,56 metros (90 centímetros a mais do que em 1993).

O mesmo raciocínio foi realizado com as menores baixamars de cada mês entre outubro de 1981 e outubro de 1993. Esses dados originaram o gráfico apresentado a seguir (**Figura 35**).

Assim



Figura 35 – Menores baixa-mares no mês no Rio Itanhaém

Ao se analisar a linha de tendência do gráfico, formada a partir dos dados de outubro de 1981 a outubro 1993, conclui-se que o valor da menor baixamar mensal obedece a seguinte função $y = 0,0014x - 1,213$, em que y é o valor da menor baixamar em um mês (em metros com base no zero hidrográfico do IBGE) e x é o mês (em uma sequência numérica). Assim, conclui-se que, com base no período analisado, por mês, a menor baixamar varia em menos 1,4 milímetros por mês, 1,68 centímetros por ano ou 16,8 centímetros por década. Assim, considerando que em 1993, seu valor médio foi de $-0,883$ metros, em 2017, ele será de $-0,4798$ metros; em 2050, será de $0,07$ metros; em 2064, será de $0,31$ metros; e em 2100, $0,914$ metros.

Nota-se, portanto, um aumento mais sensível na menor baixamar mensal do que na maior preamar mensal. Pontualmente, a taxa de crescimento da primeira será o dobro da segunda, com base nos dados analisados.

Os dados primários se encontram disponibilizados no **Anexo**.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados numéricos da análise dos dados de maré indicam uma tendência importante de elevação, atingindo cerca de 0,9 metros para preamar e de 1,8 metros para baixamar em 2100.

Elevações desta magnitude resultariam em impactos elevados e múltiplos ao longo da costa e nos cursos fluviais com influência marinha. As modelagens elaboradas com base na elevação indicada apresentam as faixas diretamente afetadas nos cenários resultantes.

Entretanto, a tendência apontada pela análise dos dados de maré pode não corresponder a uma previsão real. Outros forçantes podem resultar em períodos de relativa elevação regional de nível do mar, incluindo a incidência de eventos extremos, como ciclones extratropicais de alta intensidade que têm ocorrido na região sul e sudeste do Brasil. Estes eventos impõem marés meteorológicas de maior amplitude, podendo incidir de modo mais frequente decenalmente.

Um limitante à tendência apontada corresponde ao curto intervalo temporal dos dados disponíveis. Seriam necessárias séries temporais mais longas para permitir a verificação da tendência observada como uma variação, no sentido de uma oscilação controlada por fatores que se alternam em intensidade, ou como uma mudança, na perspectiva de um aumento controlado por um fator gradativo.

De modo a permitir uma avaliação adequada, é necessário estabelecer uma **rede padrão de coleta de dados maregráficos de longo prazo**, com controle geodésico, distribuição regional compatível com os objetivos almejados e integração com dados de fontes como ondógrafos e radares meteorológicos. A partir de um conjunto de dados mais robusto e contínuo, é possível estabelecer a filtragem de oscilações de nível do mar associadas às marés astronômicas semi-diurnas, às marés meteorológicas, aos fenômenos sazonais e decenais, assim como às variações de longo prazo.

Considerando os processos erosivos que a linha de costa do compartimento costeiro tem sofrido, a quantificação da participação de elevações do nível do mar (local a regional, em variação ou mudança) requer a quantificação das elevações, por meio de uma rede padrão de coleta de dados maregráficos de longo prazo, como descrito no parágrafo anterior.

Causas de processos erosivos como alterações nos aportes sedimentares fluviais e intervenções estruturais na linha de costa, incluindo tentativas de contenção, não devem ser posicionadas como fatores menores. Um muro de contenção, caso não inclua estruturas de dissipação, por exemplo, teria um imediato efeito reflexivo na dinâmica praias, alterando vetores transversais de transporte sedimento e causando efeito contrário à sua finalidade. As causas consideradas neste parágrafo devem ser avaliadas individual e conjuntamente, no âmbito dos respectivos compartimentos e sub-compartimentos costeiros.



9. REFERÊNCIAS

- AMARAL, P.G.C. 2003. **Contribuição palinológica ao estudo da evolução do manguezal do rio Itanahém, litoral sul de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós graduação em Geologia Sedimentar. IG/USP, 71p.
- BRUUN, P. 1962 Sea level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterways and Harbours*. Coastal Engineering, Division, vol **88**, N. WW1, p117-130.
- BRUUN, P. 1988 The Bruun Rule of erosion by sea level rise: a discussion of large scale two- and three-dimensional usages. *Journal of Coastal Research*, **4**(4):627-648.
- BRUNN, P. 1992 Discussion of: Bodge, K., Representing equilibrium beach profiles with an exponential expression. *Journal of Coastal Research*, **8**(3): 752.
- DUBOIS, R.N. 1976 Nearshore evidence in support of the Bruun Rule on shore erosion. *Journal of Geology*, **84**:485-491.
- DUBOIS, R.N. 1977 Predicting beach-erosion as a function of rising water level. *Journal of Geology*, **85**:470-476.
- HANDS, E.B. 1983 The Great Lake as a test model for profile responses to sea level change. In: KOMAR, P.D., ed., *Handbook of Coastal Processes and Erosion*. CRC Press, Florida. p 167-190.
- MUEHE, D. 2006. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 476p.
- NEVES, C.F., MUEHE, D. 2008. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. **Parcerias Estratégicas**, 27.
- SÃO PAULO (Estado), Secretaria do Meio Ambiente (SMA). **Zoneamento Ecológico-Econômico: setor costeiro da Baixada Santista**. 2013 (104p. e i mapa), disponível em:<<http://www.ambiente.sp.sp.gov.br>>.
- SATO, S.E. 2012. **Zoneamento geoambiental do município de Itanhaém Baixada Santista (SP)**. Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 123f.
- SOUZA, C.R. de G., 1997. **As Células de Deriva Litorânea e a Erosão nas Praias do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado**. Instituto de Geociências-USP. Volume I – Texto (184 p.) e Volume II – Anexos (174 p.).
- SOUZA, C.R. de G. & SUGUIO, K. 1996. Coastal erosion and beach morphodynamics along the state of São Paulo (SE Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 68: 405-424
- SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1978. **Mapa Geológico do Litoral de São Paulo**. Escala 1:100.000. São Paulo, Secretaria de Obras e Meio Ambiente / Departamento de Águas e Energia Elétrica.



Anexo - Séries temporais de maré (Segue em CD)

