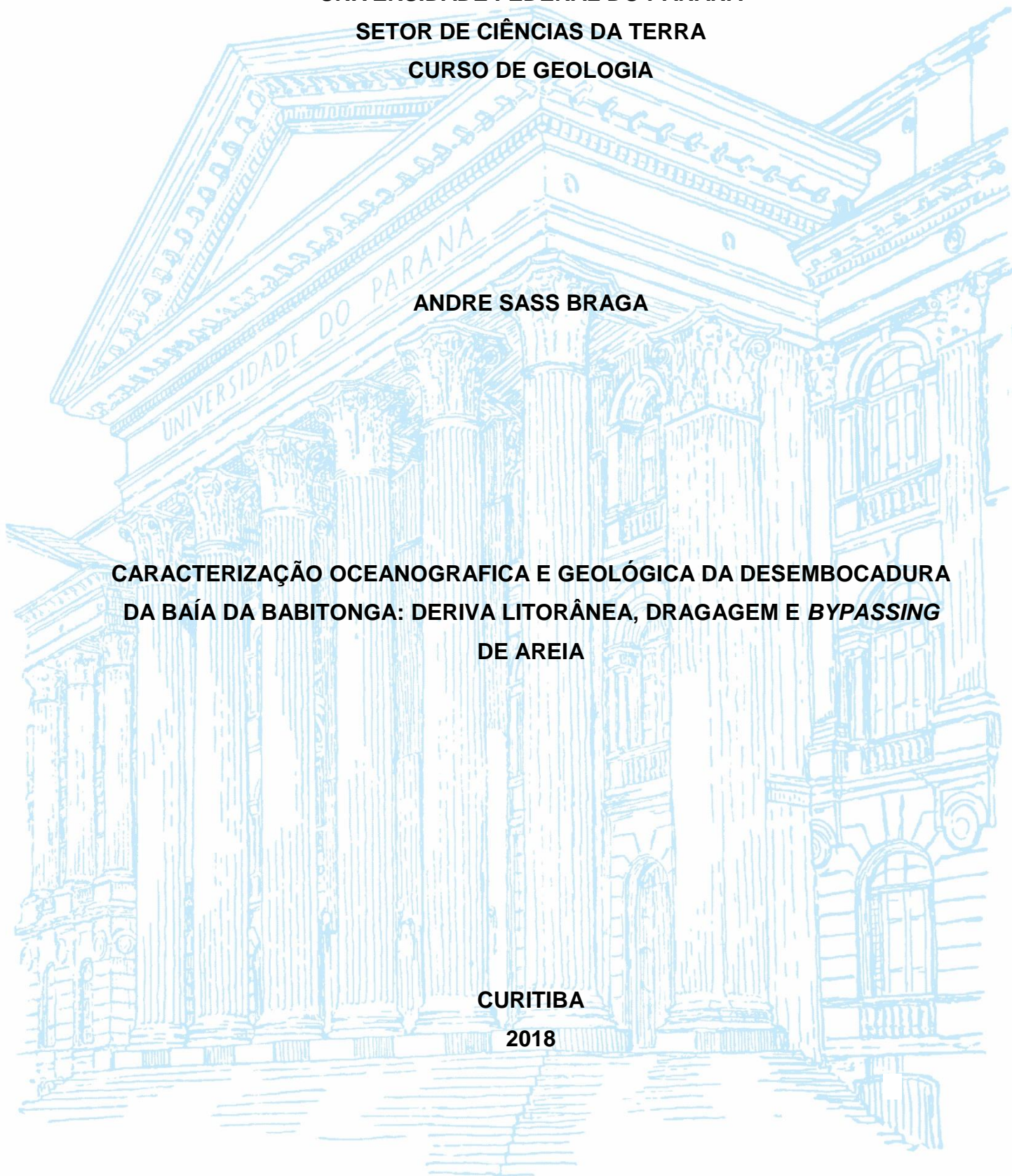


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**ANDRE SASS BRAGA**

**CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA E GEOLÓGICA DA DESEMBOCADURA  
DA BAÍA DA BABITONGA: DERIVA LITORÂNEA, DRAGAGEM E *BYPASSING*  
DE AREIA**

**CURITIBA  
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**ANDRE SASS BRAGA**

**CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA E GEOLÓGICA DA DESEMBOCADURA  
DA BAÍA DA BABITONGA: DERIVA LITORÂNEA, DRAGAGEM E *BYPASSING* DE  
AREIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Geologia da Universidade Federal do  
Paraná como requisito parcial à obtenção do grau  
de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Professora Dra. Maria Cristina de  
Souza

Co Orientadora: Msc. Mayara Santana Silva

**CURITIBA**

**2018**

*“No balanço dessas ondas  
Viajante do alto mar,  
É... mas na praia do destino,  
Quebrando-se em trilhos, vem na areia descansar  
É descalça que ela entuba na beira do mar...”*

*Moriel Adriano da Costa, 2004*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, que garantiu um ensino de excelência através de professores e funcionários altamente capacitados, além de estrutura que viabiliza o aprendizado geológico durante esses últimos 7 anos de formação acadêmica.

Agradeço a orientadora Dra. Maria Cristina de Souza e a co-orientadora Msc. Mayara Santana Silva, pelo apoio, paciência, ajuda e principalmente pelo conhecimento e linhas de raciocínio compartilhados. Sem a ajuda e orientação de vocês não teria sido possível a realização desta pesquisa, portanto, meus sinceros agradecimentos. Cabe aqui também agradecer ao professor Dr. Eduardo Siegle, da Universidade de São Paulo, que fez a gentileza de extrair os dados de reanálise de ondas do website da NCEP/NOAA, proporcionando o banco de dados que embasou a pesquisa. Por fim, agradecer ao graduando Gabriel Gineste, cuja ajuda e amizade tornaram todas as etapas desta pesquisa mais fáceis de serem realizadas

Um agradecimento especial a todos os meus amigos e família que fizeram o favor de me dar o devido suporte. A paciência, o carinho e a empatia que vocês me direcionam foi imprescindível para poder cursar Geologia sem tantas preocupações. O Trabalho de Conclusão de Curso pode ter sido finalizado, assim como a vida acadêmica na universidade. Mas ter uma base forte e estável é essencial para o sucesso fora da universidade, e graças a vocês sei que vou longe.

E por fim gostaria de agradecer a oportunidade de ser parte de uma minoria privilegiada no Brasil, os 15% que segundo o IBGE têm formação superior no país. Mudar a realidade para que os demais 85% dos brasileiros também tenham acesso à educação de qualidade se tornou uma meta pessoa da minha vida, pensando em todo o crescimento pessoal e social que obtive durante a graduação universitária. O reconhecimento de mérito se torna secundário dentro de uma realidade tão excludente. Portanto, coloco aqui minha homenagem aos meus companheiros e companheiras de universidade que mesmo diante das adversidades sociais e pessoais estão conseguindo obter o mesmo grau de Geólogo que eu. A todos que proporcionaram meu êxito na academia, meus sinceros agradecimentos. Quem tem amigos tem tudo nessa vida.

## RESUMO

Diversos autores já elaboraram pesquisas na região costeira de Itapoá-SC desde o final da década de 1990 buscando o entendimento dos processos hidrodinâmicos atuantes na costa. O município vem apresentando problemas relacionados à erosão costeira e à ocupação indevida de áreas instáveis do litoral, que vem sendo estudados constantemente. Porém, para que as interpretações das dinâmicas costeiras sejam confiáveis, os estudos morfodinâmicos devem ocorrer acompanhados de estudos quanto ao regime de ondas de determinada região. Entretanto, informações sobre o regime de ondas no Brasil são escassas e baseadas em observações ocasionais de curto período, não possibilitando o aprofundamento das interpretações das relações hidrodinâmicas entre as ondulações e os processos morfodinâmicos do local. Com base nessa problemática, este trabalho tem como objetivo principal elaborar um estudo detalhado dos regimes de ondas que incidiram na costa de Itapoá-SC durante o período de 1996 até 2001, para posteriormente poder relacionar com levantamentos planialtimétricos de trabalhos anteriores e possibilitar interpretações quanto a relação das variáveis que modelam a praia e condicionam a dinâmica costeira do local. Para tal, foram utilizados dados de reanálise de ondas extraídos do modelo americano *Wave Watch III* que, através da interpolação de dados globais, possibilitaram a modelagem das ondulações que atingiram a área de estudo durante um período temporal pré-definido. Este método originou um banco de dados extenso para a análise comparativa, que ainda foi enriquecido com outras características físicas da região, como os regimes de maré, correntes, de clima, geologia local, ondas e da hidrografia provindos de outros trabalhos da área de estudo, que foram posteriormente correlacionados a fim de entender a influência da variação do regime de ondas na morfodinâmica das praias do município. Adicionalmente também foram utilizados dados cedidos pela Administração do Porto de São Francisco do Sul à respeito do canal de acesso à baía da Babitonga que possibilitaram discussões a respeito da maneira como as atividades de dragagem do canal estão influenciando a dinâmica sedimentar do município de Itapoá-SC. Por fim, foi elaborado um novo modelo sedimentar da região, cujo detalhamento do regime de ondas possibilitou embasar propostas e estratégias de remediação ambiental para a área de estudo. As propostas escolhidas tratam de projetos de engorda de praia, mais especificamente do projeto *Tweed River Entrance Sand Bypassing Project*, que solucionou problemas de erosão costeira e manutenção de linha de costa na porção sul da cidade de *Gold Coast, Queensland, Austrália*.

**Palavras chave:** ondas, variação sazonal, Itapoá, dinâmica sedimentar, erosão costeira.

## ABSTRACT

Several researches have already been developed at Itapoá-SC beach systems since the late 1990's in order to understand the hydrodynamics of its coastal processes. The city has been showing significant beach erosion for at least the last 20 years, which has been causing problems to the people that wrongly occupied instable parts of the beach system to get closer to the ocean. However, in order to understand its complexities, these morphodynamic researches had to be developed simultaneously with studies about the wave regimes at the area. On the other hand, information regarding wave regimes at Brasil are few and based in local, short time observations, which makes it impossible to develop any kind of deep interpretation of the hydrodynamic correlations between waves and morphodynamic processes at Itapoá-SC. In light of this, the main goal of this research is to develop a study about the wave regimes in Itapoá-SC, from 1996 to 2001, in order to understand its seasonal variations and the implications of those on the morphodynamic processes acting at Itapoá's beaches. Offshore wave data was extracted from the global wave generation model WW3® obtained on NOAA/NCEP from 1996 to 2001. To determine the frequency of each wave approach direction, directional wave histograms data were summarized as significant wave heights and main directions on annual and seasonal scales. This method originated a vast data base which was later correlated with all the other aspects of Itapoá's beach dynamics that were already gathered by other researchers. As a result, the morphologic variations of the beach were correlated with the wave data as well as new data provided by the port of São Francisco do Sul regarding dredging activities at Babitonga's Bay, south limit of Itapoá's district. This final correlation produced a detailed model for beach dynamics from Itapoá-SC. According to it, for last, it was possible suggest different strategies to overcome the beach erosion hazard from the district. These strategies were based on the very successful project from Gold Coast (Queensland, Australia), called Tweed River Entrance Sand Bypassing System, that solved an issue very similar from the beach erosion situation found in Itapoá-SC.

**Keywords:** waves; wave regime; beach morphodynamics; wave power; seasonal variations.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Localização da área de estudo entre os municípios de Itapoá/SC e São Francisco do Sul/SC na Baía da Babitonga, DATUM SAD 69 22S.....	09
<b>Figura 2.1:</b> Visão aérea da desembocadura do Rio <i>Tweed</i> , limite entre os estados de <i>New South Wales</i> e <i>Queensland</i> na Austrália, com a planta do projeto de <i>bypassing</i> de areia à esquerda na fotografia, (Google, 2018).....	23
<b>Figura 3.1:</b> Classificação das feições praias de Davis (1985) adaptada por Albino (1999).....	24
<b>Figura 3.2 a:</b> classificação morfodinâmica de “a” a “c” das praias de Wright <i>et al.</i> (1984) adaptado por Muehe (2001).....	25
<b>Figura 3.2 b:</b> classificação morfodinâmica de “d” a “f” das praias de Wright <i>et al.</i> (1984) adaptado por Muehe (2001).....	26
<b>Figura 3.3:</b> Equação do poder de onda (Salter, 1974).....	27
<b>Figura 4.1:</b> Diagrama de rosetas geral completo dos dados de ondas do modelo <i>Wave Watch III</i> (NOAA/NCEP) para o intervalo temporal de 1996 até 2001.....	30
<b>Figura 4.2:</b> Diagramas de rosetas dos dados de ondas do modelo <i>Wave Watch III</i> (NOAA/NCEP) para o intervalo temporal de 1996 até 2001 separado pelas estações do ano.....	32
<b>Figura 4.3:</b> Diagramas de rosetas da estação do verão dos dados de ondas do WWIII® para o período de 1996 até 2001.....	38
<b>Figura 4.4:</b> Diagramas de rosetas da estação da primavera dos dados de ondas do WWIII® para o período de 1996 até 2001.....	40
<b>Figura 4.5:</b> Diagramas de rosetas da estação do outono dos dados de ondas do WWIII® para o período de 1996 até 2001. ....	42
<b>Figura 4.6:</b> Diagramas de rosetas da estação do inverno dos dados de ondas do WWIII® para o período de 1996 até 2001.....	44
<b>Figura 4.7:</b> Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 11 a 21 de agosto de 1996.....	46
<b>Figura 4.8:</b> Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 08 até 18 de fevereiro de 1997.....	47
<b>Figura 4.9:</b> Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 23 de maio até 03 de junho de 1997.....	49

<b>Figura 4.10:</b> Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 26 de agosto até 04 de setembro de 1997.....	50
<b>Figura 4.11:</b> Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 07 até 17 de fevereiro de 1998.....	52
<b>Figura 4.12</b> Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 09 a 19 de março de 1998.....	53
<b>Figura 4.13:</b> Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 8 até 18 de junho de 1998.....	55
<b>Figura 5.1:</b> Figura de Localização dos perfis planialtimétricos de Souza (1999).....	60
<b>Figura 5.2:</b> classificação morfodinâmica das praias Barra Transversal com Correntes ( <i>Intermediate – Transverse bar and rip</i> ) de Wright et al. (1984) adaptado. (NIWA, 2016).....	67
<b>Figura 5.3:</b> classificação morfodinâmica das praias Intermediárias de Barras Rítmicas e Praias ( <i>Intermediate - Rhythmic bar and beach</i> ) de Wright et al. (1984) adaptado. (NIWA, 2016).....	67
<b>Figura 5.4:</b> variação morfodinâmica da costa de Itapoá-SC segundo a variação sazonal do regime de ondas da região (Google Earth, 20174 e 2018, adaptado).....	69
<b>Figura 5.5:</b> classificação morfodinâmica das praias do Domínio Extremo Refletivo ( <i>Reflective domain extreme</i> ) de Wright et al. (1984) (NIWA, 2016).....	70
<b>Figura 5.6:</b> campo de correntes na maré vazante na situação pós execução do projeto de aprofundamento do canal (INPH, 2015).....	72
<b>Figura 5.7:</b> detalhe da batimetria da desembocadura da baía da Babitonga, destacando canais secundários das correntes de maré situados na feição deltaica submarina comparados com o modelamento matemático das correntes de maré vazante da baía da Babitonga (INPH, 2015 adaptado).....	74
<b>Figura 5.8:</b> assoreamento determinado ao longo do canal de navegação na situação de projeto através da modelagem matemática (INPH, 2015).....	76
<b>Figura 6.1:</b> localização das áreas de despejo delimitado pelos pontos A, B, C e D em relação ao canal de acesso (INPH, 2015).....	79

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1:</b> Dados climáticos da estação meteorológica de São Francisco do Sul, no litoral norte de Santa Catarina, para o período de 1963-1996 (Horn Filho, 1997).....	14
<b>Tabela 2.2:</b> Histórico de volumes dragados no final do século XX na baía da Babitonga (INPH, 2015).....	18
<b>Tabela 2.3:</b> Características de cada trecho do canal e cálculo do volume dragados no projeto de ampliação e desassoreamento do canal de acesso à Baía da Babitonga (INPH, 2015).....	19
<b>Tabela 2.4:</b> Valores de assoreamento determinados a partir das análises das três batimetrias, e as estimativas de assoreamento anual para o canal externo. (INPH, 2015).....	20
<b>Tabela 2.5:</b> Valores de assoreamento determinados a partir das análises das três batimetrias, e as estimativas de assoreamento anual para o canal interno. (INPH, 2015).....	20
<b>Tabela 4.1:</b> Tabela geral dos dados de ondas do modelo <i>Wave Watch III</i> (NOAA/NCEP) para o intervalo temporal de 1996 até 2001.....	29
<b>Tabela 4.2:</b> Tabela dos dados de ondas do WWIII® para a estação do Verão no intervalo temporal completo de 1996 até 2001.....	33
<b>Tabela 4.3:</b> Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 11 a 21 de agosto de 1996.....	45
<b>Tabela 4.4:</b> Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 08 até 18 de fevereiro de 1997.....	47
<b>Tabela 4.5:</b> Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 23 de maio até 03 de junho de 1997.....	48
<b>Tabela 4.6:</b> Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 26 de agosto até 04 de setembro de 1997.....	50
<b>Tabela 4.7:</b> Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 07 até 17 de fevereiro de 1998.....	51
<b>Tabela 4.8:</b> Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 09 a 19 de março de 1998.....	52

<b>Tabela 4.9:</b> Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 8 até 18 de junho de 1998.....	54
<b>Tabela 5.1:</b> Intensidade de fenômenos oceano-atmosféricos El Niño e La referentes ao período de 1996 até 2001 (NCEP/NOAA, 2018).....	58
<b>Tabela 5.2:</b> Resultados dos levantamentos planialtimétricos de Souza (1999) simplificados para o intervalo de fevereiro a setembro de 1997.....	61
<b>Tabela 5.3:</b> Variação da posição da linha de costa e taxas de variação nos perfis em períodos de ocorrência de fenômenos La Niña e El Niño (Souza, 1999).....	66
<b>Tabela 5.4:</b> Valores de assoreamento determinados a partir das análises das três batimetrias, e as estimativas de assoreamento anual para o canal externo. (INPH, 2015).....	76

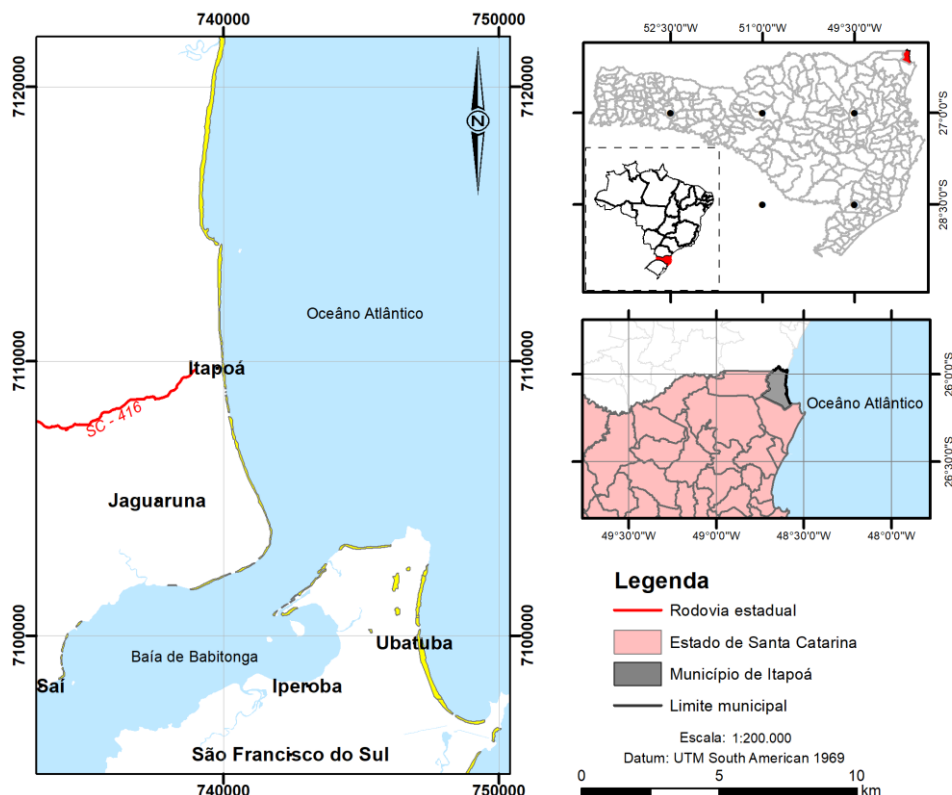
## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	11
2.1. GEOLOGIA LOCAL .....	11
2.2. MARÉS E CORRENTES .....	12
2.3. CLIMA .....	14
2.4. ONDAS .....	15
2.5. DINÂMICA COSTEIRA DE ITAPOA .....	16
2.6. CANAL DE ACESSO À BAÍA DA BABITONGA.....	18
2.6.1 CAMPANHAS DE DRAGAGEM .....	18
2.6.2 TAXA DE ASSOREAMENTO DO CANAL .....	20
2.7. PROJETOS DE ENGORDA DE PRAIA .....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	24
3.1.1 MORFODINÂMICA PRAIAL .....	24
3.2. REGIME DE ONDAS .....	26
3.2.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS DE ONDAS.....	28
3.2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO BANCO DE DADOS DE ONDAS .....	28
4. RESULTADOS .....	29
4.1. REGIME DE ONDAS .....	29
4.2. REGIME DE ONDAS SAZONAL.....	32
4.3. REGIME DE ONDAS SAZONAL PARA CADA ANO .....	37
4.3.1 VERÃO .....	37
4.3.2 PRIMAVERA.....	39
4.3.3 OUTONO .....	41
4.3.4 INVERNO .....	42
4.4. PERIODOS ESPECÍFICOS DE 1996 ATÉ 1998 .....	45
4.4.1 AGOSTO (1996) .....	45
4.4.2 FEVEREIRO (1997).....	46
4.4.3 JUNHO (1997) .....	48

4.4.4 SETEMBRO (1997) .....	49
4.4.5 FEVEREIRO (1998).....	51
4.4.6 MARÇO (1998) .....	52
4.4.7 JUNHO (1998) .....	54
5. DISCUSSÃO .....	55
5.1. VARIAÇÃO SAZONAL DO REGIME DE ONDAS DE ITAPOÁ-SC.....	55
5.2. INFLUÊNCIA DE FENÔMENOS CLIMÁTICOS GLOBAIS NO CLIMA DE ONDAS DE ITAPOÁ-SC DE 1996 ATÉ 2001 .....	58
5.3. INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO SAZONAL DO REGIME DE ONDAS DE ITAPOÁ-SC NOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS COSTEIROS .....	60
5.4. CLASSIFICAÇÃO MORFODINÂMICA DAS PRAIAS DE ITAPOÁ-SC .....	66
5.5 INFLUÊNCIA DAS DRAGAGENS DO CANAL DE ACESSO NA DINÂMICA COSTEIRA DE ITAPOÁ-SC .....	71
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	78
REFERÊNCIAS.....	82
ANEXO I.....	89

# 1. INTRODUÇÃO

A área de estudo está localizada na porção norte da costa do estado de Santa Catarina, abrangendo toda a costa do município de Itapoá-SC desde a desembocadura do Rio Saí-Guaçu, à norte, até a desembocadura da baía da Babitonga, ao sul (Figura 1.1). A costa oceânica do município caracteriza-se pela sua forma retilínea, orientação aproximadamente N-S e presença de praias arenosas. As praias são formadas predominantemente por areia fina, com grau de seleção moderado, assimetria negativa e com tendência de engrossamento para a direção norte (Souza e Angulo, 2003). Quanto à morfologia, apresentam declividade de face praial variando de 2 a 4° e barras longitudinais paralelas a linha de costa (Souza, 1999). Já a Baía da Babitonga é a mais importante formação de águas marinhas interiores do litoral norte de Santa Catarina (Rodrigues *et al.*, 1998). Nela estão localizados os terminais portuários de São Francisco do Sul e Itapoá, responsáveis por importante parcela da movimentação portuária do Estado de Santa Catarina.



**Figura 1.1:** Localização da área de estudo entre os municípios de Itapoá/SC e São Francisco do Sul/SC na Baía da Babitonga, DATUM SAD 69 22S.

As regiões costeiras apresentam uma dinâmica complexa, devido a interação de diversos agentes, tais como ondas, marés e correntes litorâneas. A costa de Itapoá-SC não é diferente, e as variações na atuação desses agentes resulta numa dinâmica muito ativa, caracterizada pela alternância de períodos de erosão e de sedimentação costeira. Entretanto, o desenvolvimento e a urbanização locais aumentaram a interferência antrópica no ambiente, que desencadeou um desequilíbrio na dinâmica costeira natural, resultando na intensificação de processos erosivos na região de Itapoá/SC, afetando comércios e propriedades privadas na região (Angulo & Souza, 2002). Estudos realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH, 2015) relacionam as consequências para a comunidade local direta ou indiretamente à ocupação indevida da costa. Entretanto, estudos recentes apontam para um saldo negativo do balanço sedimentar pela predominância de processos erosivos, que estariam sendo causados por interferência antrópica. Esse deficit foi constatado tanto em condições climáticas normais (Cruz, 2010), quanto sob influência de anomalias climáticas de El Niño e La Niña (Souza, 1999).

Em contraste, a dinâmica costeira de Itapoá-SC nunca foi acompanhado de um estudo detalhado do regime das ondas a incidirem na região. As ondas são um dos principais agentes na dinâmica costeira, sendo necessário o conhecimento detalhado do clima de ondas que atua numa determinada região para entender sua relação com as alterações na morfodinâmica das praias do município (Souza, 1999). O clima de ondas na região Sul do Brasil está condicionado ao padrão de ventos do Atlântico Sul, relacionados a posição dos Centros de baixa e alta pressão, bastante complexo e variável, ocasionando a geração de ondas de todas as direções ao longo do ano (Gobbi 1997). Portanto, o estudo da variação das direções e energia das ondulações que incidem nas praias Itapoá-SC é de suma importância para o entendimento da dinâmica sedimentar na região, sendo também imprescindível para a elaboração de propostas de remediação ambiental para conter a problemática do município. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo geral detalhar a variação sazonal do regime de ondas de Itapoá-SC. O período temporal analisado, de 1996 até 2001, compreende o intervalo de realização dos levantamentos planialtimétricos de Souza (1999), cujos métodos de levantamentos e continuidade temporal dos dados do trabalho possibilitaram a correlação com dados de ondas inéditos da região,

possibilitando novas comparações a fim de entender como as variações no regime de ondas afeta processos morfodinâmicos costeiros do município.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **2.1. GEOLOGIA LOCAL**

O município de Itapoá-SC localiza-se na porção noroeste do estado de Santa Catarina, inserido num contexto geológico regional constituído por rochas Pré-Cambrianas do Cinturão Granitóide Costeiro (Basei *et al.* 1992) e pelos depósitos marinhos e continentais do Quaternário (Martin *et al.* 1988). Angulo e Souza (2003) dividem a cobertura sedimentar da planície costeira do município em dois tipos principais de depósitos: os continentais e os costeiros. Os depósitos continentais na região limítrofe entre os estados de Santa Catarina e Paraná são correlatos às unidades da Formação Iquererim e da Formação Vila Velha. Já os depósitos costeiros correspondem aos terraços marinhos descritos inicialmente por Bigarella e Becker (1975).

A Formação Iquererim foi primeiramente descrita e especializada por Bigarella *et al.* (1961), que a definiu como superfícies de aplainamentos e mudanças paleoclimáticas do Pleistoceno. Já Martin *et al.* (1988) posicionaram os depósitos dessa formação no Plioceno e os correlacionaram aos depósitos da Formação Alexandra no Paraná, Formação Pariqüera-Açu em São Paulo e Formação Graxaim no Rio Grande do Sul, que, segundo os autores, apresentariam a mesma idade. Por fim, Angulo (1992) posicionou a Formação Iquererim no Plio-Pleistoceno, sendo, portanto, mais nova que os depósitos da Formação Alexandra, a qual Lima e Angulo (1990) atribuíram idade entre o Mioceno Inferior e o Mioceno Médio com base na análise de palinomorfos (Souza, 1999).

Em contraste, Souza (1999) atribui que as unidades da Formação Vila Velha apresentam idade superior às da Formação Iquererim devido a características morfológicas e relações de contato, que ainda guardam feições deposicionais de leques aluviais e relação próxima com o relevo atual. Tais feições se assemelham às descritas por Angulo (1995) para a Formação Alexandra, que formam estratos

compostos por areias arcoseanas, lamas, cascalhos e argila, e suas fácies formadas por processos de fluxos gravitacionais do tipo fluxo de detritos (cascalhos sustentados pela matriz) e fluxo de lama (lamas e lamas arcoseanas). A correlação estratigráfica entre as Formações Vila Velha e Alexandra possibilitaram a interpretação de que ambas tiveram sua origem no Mioceno Inferior.

Já com relação aos depósitos costeiros presentes na área de estudo, tomando como base a posição geográfica, altitudes, relações de contato com as outras unidades e modelos propostos para outros setores da costa brasileira (Bigarella e Becker 1975, Suguio *et al.* 1985, Martin *et al.* 1988 e Angulo 1992) os terraços marinhos da região de Itapoá foram separados em duas unidades: terraços pleistocênicos e holocênicos. As unidades datadas do Pleistoceno Superior, correspondem ao último intervalo interglacial na sequência deposicional. Em contrapartida, as unidades posicionadas no Holoceno foram formadas durante a fase regressiva, após o máximo ocorrido a aproximadamente 5.100 anos (Angulo 1992, Souza 1999). Esta divisão não se baseia somente nas informações obtidas no litoral paranaense e catarinense, mas faz parte de um modelo de evolução geológica geral da costa brasileira durante o Quaternário Superior, apresentada por Suguio *et al.* (1985) num modelo que compreende informações desde o estado de Alagoas até o litoral de Santa Catarina.

## **2.2. MARÉS E CORRENTES**

Correntes são fluxos de água que se desenvolvem por agentes externos e proporcionam a propagação da energia na forma de ondas. Esses agentes externos podem ser relacionados a ondas, ou a processos gravitacionais. No primeiro caso, relacionado às correntes geradas por ondas de Wright e Short (1983), estão as correntes de deriva longitudinais (*longshore currents*) e as correntes de refluxo costeiro (*rip currents*). Já as correntes não geradas por ondas correspondem a correntes de marés (*tidal currents*), originadas pela aproximação e distanciamento de corpos celestes, ou correntes de rios, originadas por diferença de energia potencial de áreas mais elevadas com relação ao nível do mar. A interação das correntes de

deriva, de refluxo e de marés com os demais parâmetros morfodinâmicos compõe a dinâmica sedimentar da costa de Itapoá-SC.

Quanto às marés, a área de estudo encontra-se sob domínio de regime de micromarés, com amplitude máxima inferior a 2 m, semidiurno, com altura média de 0,84 m, sendo que a máxima pode atingir 1,9 m durante os períodos de maré mais alta ou sízigia (DHN, 2007). A maré observada é fortemente influenciada pelos ventos da região, podendo ocorrer elevação ou abaixamento do nível de água e o atraso ou adiantamento dos instantes de baixa-mares ou preamares previstas. A maré tem característica de desigualdades diurnas, com nível médio situado 0,8m acima do nível de redução da DHN, no porto, e 0,7m na Ilha da Paz. O complexo estuarino da baía da Babitonga é caracterizado pela dominância de maré enchente com amplificação da altura da maré (hipersíncrona) nas áreas mais interiores (Truccolo e Schettini, 1999), causada principalmente por efeitos de fricção e estreitamento do canal principal. A corrente de maré varia de 2 a 4 nós, tanto na enchente como na vazante, apresentando maior velocidade na barra. Na vazante, em caso de chuva forte, a corrente de maré pode ser intensificada pelas águas pluviais (DHN, 1994). Souza e Angulo (2003) assumem que a dinâmica da região costeira de Itapoá é fortemente influenciada pela desembocadura da Baía de São Francisco do Sul e, portanto, pelas correntes de marés atuantes no sistema.

Por vezes o litoral pode apresentar alterações na amplitude das marés devido a fatores meteorológicos, como por exemplo a passagem de frentes frias com ventos fortes provenientes do quadrante sul (Souza, 1999). Este tipo de fenômeno é conhecido como maré meteorológica (Marone e Camargo 1994). Seu efeito é mais significativo nas zonas litorâneas e embaiamentos, devido ao empilhamento de água na costa, sendo comumente acompanhada de episódios erosivos e destrutivos, que são mais acentuados quando a maré meteorológica coincide com maré astronômica mais alta (Calliari *et al.*, 1996). Schettini *et al.* (1996), cita que a maré astronômica na baía de São Francisco do Sul varia em torno de 0,8m a 1,2m, e quando coincidente com eventos de marés meteorológicas podem atingir alturas de até 1,9 m (DHN, 2007).

### 2.3. CLIMA

O clima na região sul do Brasil depende da atuação de massas de ar tropical Atlântica e Polar Atlântica. A combinação dessas duas massas de ar define um clima predominantemente subtropical, úmido, com temperaturas médias entre 13°C e 25°C (CPTEC/INPE/Climanalise 1997). Segundo Calliari e Klein (1996), a dinâmica na costa sul brasileira é definida principalmente por fenômenos associados a passagens de frentes meteorológicas ou frentes polares.

Os ventos mais fortes provêm do quadrante sul, que ocorrem geralmente nas passagens das frentes frias e elevam o mar na barra, enquanto os ventos do quadrante norte também causam ondas consideráveis, embora menores e de frequência muito mais baixa (INPH, 2015). No inverno é provável a ocorrência de ventos tempestuosos da direção Sul por mais de 48 horas (DHN, 1994).

A região apresenta elevados índices pluviométricos, concentrada nos meses mais quentes do ano, com pluviosidade média anual de 1877 mm. O mês mais seco é julho com 82 mm. A maioria da precipitação cai em fevereiro, com uma média de 279 mm (INPH, 2015). A média anual de temperatura é de 20,5°C com uma amplitude térmica de até 6°C. As menores temperaturas são registradas em julho, com uma média de 16,5°C, sendo que em janeiro e fevereiro a média chega a 25,1 °C, as maiores do ano. As variações sazonais climatológicas da área de estudo encontram-se sumarizadas na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1:** Dados climáticos da estação meteorológica de São Francisco do Sul, no litoral norte de Santa Catarina, para o período de 1963-1996 (Horn Filho, 1997).

Mês/dado	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Janeiro	24,40	38,50	15,70	28,60	21,50	171,40	1010,40	86,10	248,10	165,40
Fevereiro	24,40	40,30	14,0	28,60	21,90	146,00	1011,20	87,50	281,00	164,60
Março	23,70	34,80	13,60	27,90	21,00	153,30	1012,10	87,70	244,90	216,00
Abril	21,50	33,70	10,50	25,90	18,90	152,10	1015,00	86,00	137,70	147,70
Mai	19,40	32,30	7,40	23,90	16,80	158,40	1016,50	88,00	119,90	90,40
Junho	17,50	30,80	4,30	21,80	14,60	132,80	1017,70	87,90	93,70	64,20
Julho	16,50	33,80	4,50	20,80	13,80	143,90	1019,10	87,90	102,80	64,00
Agosto	17,20	33,90	5,20	21,30	14,60	124,00	1017,90	88,90	95,00	70,60
Setembro	18,00	31,70	6,00	21,80	15,50	102,60	1016,90	88,80	130,60	98,90
Outubro	19,50	32,60	2,60	23,20	17,20	111,30	1014,80	86,70	151,20	134,00
Novembro	21,20	35,40	11,00	25,10	18,60	140,80	1012,30	85,50	143,30	114,40
Dezembro	23,00	38,40	15,00	27,10	20,20	168,90	1010,90	85,20	153,00	90,20
Média anual	20,52	34,68	9,15	24,66	17,88	142,12	1014,56	87,18	158,43	118,37

(A) Temperatura média (°C); (B) Temperatura máxima absoluta (°C); (C) Temperatura mínima absoluta (°C); (D) Temperatura média máxima (°C); (E) Temperatura média mínima (°C); (F) Insolação (horas); (G) Pressão atmosférica (mb); (H) Umidade relativa (%); (I) Precipitação total (mm); (J) Precipitação máxima em 24 horas (mm).

O Fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é caracterizado por anomalias positivas (El Niño) ou negativas (La Niña) da temperatura do mar (TSM) no Pacífico Equatorial. A sua caracterização é feita através de índices, que são anomalias de TSM médias em diferentes regiões do pacífico equatorial (CPTEC, 2016). Fenômenos globais como o El Niño e a La Niña influenciam as condições climáticas e oceanógrafas no litoral sul e sudeste do Brasil, e, conseqüentemente, podem afetar a dinâmica sedimentar da costa do município.

#### **2.4. ONDAS**

No litoral brasileiro os dados sobre ondas são muito escassos, em muitos casos as informações utilizadas são baseadas em observações visuais durante os trabalhos de campo ou campanhas de monitoramento de curtos períodos (Souza, 1999). Nessa linha, Gobbi (1997) identificou que a costa sul brasileira está fora das regiões atingidas por grandes ondas, embora ocasionalmente ondas de grande porte atingem o litoral sul, normalmente provocadas por sistemas frontais como frentes frias. Por outro lado, o trabalho de Alves (1996), relacionado à campanha de medição direcional de ondas realizada pela Petrobrás no Programa de Monitoramento ambiental da região costeira de São Francisco, conseguiu obter características do regime ondas que incidiram na região de São Francisco do Sul para um período desde o verão até a metade do inverno de 1996. A campanha resultou em 788 conjuntos de medições com três séries temporais cada, que forneceram dados sobre a altura significativa ( $H_s$ ), período ( $T_p$ ) ou frequência de pico ( $f_p=1/T_p$ ) e direção dominante das ondas (Alves 1996). Os resultados das medições mostram que as ondas dominantes são originárias de Leste-Sudeste (E-SE), com período em torno de 8 a 10 segundos e alturas menores que um metro.

Mais recentemente, o trabalho de Pianca et al. (2010) apresentou o clima de ondas da região ao largo da costa brasileira com base em uma série temporal de onze anos (Jan/1997-Dez/2007), obtida através de dados de reanálise do modelo operacional *Wave Watch III* (NCEP/NOAA), e proporcionando um melhor entendimento quanto às variações sazonais do clima de ondas na região. Segundo a análise setorial de Pianca et al. (2010), no geral as ondas mais energéticas a atingir a

costa Sul e Sudeste do país tem direção preferencial originada no Sul, e são geradas por ventos intensos associados à passagem de frentes frias, afetando diretamente a área de estudo deste projeto. Entretanto, a direção das ondulações muda sazonalmente e constantemente na região, o que afeta diretamente os processos hidrodinâmicos na costa. Segundo Pianca *et al.* (2010), durante o verão a direção preferencial das ondas é de Nordeste (NE) e Sul (S), embora apenas as ondas provindas de Sul (S) apresentem altura relativa ( $H_s$ ) superando os 2 metros, além de apresentarem período ( $T$ ) maior com relação às do quadrante nordeste. Já durante o outono e o inverno, a região sul passa a ser dominada por ondulações de direção essencialmente do quadrante Sudeste, com a maior energia de ondulações sendo referente ao outono, onde as ondas podem chegar a uma altura relativa ( $H_s$ ) de 7,2 metros (Pianca *et al.*, 2010). Por fim, a primavera de Pianca *et al.* (2010) volta a apresentar uma mescla de incidência de ondulações dos quadrantes Sudeste (SE) e Nordeste (NE), com leve incremento na altura das ondas de Nordeste (NE), atingindo alturas de até 3 metros, embora mantendo-se com o período baixo de 6 a 8 segundos.

## **2.5. DINÂMICA COSTEIRA DE ITAPOA**

As regiões costeiras apresentam uma dinâmica muito particular devido a interação de diversos agentes, tais como ondas, marés e correntes litorâneas (Souza, 1999). A interação desses fatores compõe um sistema natural que envolve processos constantes de transformação da morfologia costeira, resultado das interações do sistema costeiro com variações meteorológicas vigentes. As variações da linha de costa podem estar associadas a diversos fatores, tais como a variação do nível relativo do mar, mudanças climáticas de ordem global ou regional, ou ainda relacionadas à ocupação antrópica (Angulo, 1993; Tomazelli *et al.*, 1996). Observando as fotografias aéreas percebe-se que a ocupação no ano de 1957 estava restrita a vilas de pescadores na Barra do Saí, no Pontal do Areião e Figueira do Pontal, e que a partir de 1978 já são visíveis diversos loteamentos ao longo de quase toda a costa (Souza, 1999). Com a ocupação indevida das áreas costeiras, caracterizada pela destruição das dunas frontais e pela localização das construções e infraestrutura muito próxima à linha de costa (Souza, 1999), a intensificação dos processos de erosão nas últimas

décadas tem causado diversos problemas para áreas ocupadas, fazendo com que a população pressione cada vez mais o governo por soluções. Cabe colocar aqui que em 1979 foi realizada a primeira obra de dragagem para a definição de um canal de acesso ao interior da baía, que segundo Souza e Angulo (2003) e Angulo *et al.* (2006), seria o início da causa do desequilíbrio da dinâmica sedimentar do município.

Em Itapoá-SC, a dinâmica costeira é complexa, e envolve a interação de um regime de ondas variável com um sistema costeiro deltaico, com a desembocadura da baía da Babitonga limitando o município ao sul. Quando as ondas se aproximam da costa, a energia da ondulação gera uma variedade de correntes no ambiente costeiro, que por sua vez determinam a direção preferencial da movimentação dos sedimentos da praia (Komar, 1998). A variação sazonal do regime de ondas de Itapoá-SC condiciona uma variação sazonal na intensidade da corrente de deriva, que corre de sul para norte em diferentes intensidades durante o ano. Ao sul do município, o sistema deltaico da desembocadura da baía da Babitonga gera correntes de maré vazante e enchente de abrangência local, mas que interferem diretamente na dinâmica costeira do município. A interação dessas correntes com os demais parâmetros morfodinâmicos compõe a dinâmica sedimentar da costa de Itapoá-SC.

No litoral do Estado do Paraná, Angulo (1993) identificou variações da linha de costa com magnitudes de poucos metros até várias centenas de metros nas últimas quatro décadas, cujos maiores deslocamentos estariam associados às desembocaduras dos estuários, devido à movimentação de barras e canais dos deltas de maré vazante. A situação de Itapoá-SC segue este padrão, sendo que os levantamentos planialtimétricos realizados na região (Souza, 1999; Cruz, 2010, Ligeski, 2016 e Gineste, 2018) comprovaram a maior instabilidade dos perfis localizados nas proximidades da desembocadura da baía, com exceção dos perfis internos da baía que tem características mais estáveis. Entretanto, os processos erosivos litorâneos foram identificados e medidos tanto em condições normais (Cruz, 2010), tanto em condições com influência de fenômenos climáticos globais (Souza, 1999), indicando que o aporte sedimentar em toda a região costeira de Itapoá-SC é insuficiente para manter a estabilidade da linha de costa no município (Ligeski, 2016). Ligeski (2016), porém, não dispunha de dados das dragagens ou das taxas de assoreamento do canal de acesso à baía da Babitonga, assim como não haviam

dados específicos do regime de ondas de Itapoá-SC para análise, o que limitou as interpretações do autor.

## 2.6 CANAL DE ACESSO À BAÍA DA BABITONGA

A comunicação da Baía da Babitonga com o Oceano Atlântico ocorre através de um canal com aproximadamente 1,7 km de extensão (INPH, 2015), com formato em L, que apresenta profundidade de calado na porção externa de 16 metros, e na porção interna de 14 metros (INPH, 2015). Para promover a manutenção dessas profundidades, a Administração do Porto de São Francisco do Sul (APSFS) faz campanhas de dragagem periódicas, acompanhando as taxas de assoreamento do canal para não ultrapassarem os limites de segurança navegáveis.

### 2.6.1 CAMPANHAS DE DRAGAGEM

A partir da década de 70, com o incremento do volume de exportações, foram necessárias melhorias no Porto de São Francisco do Sul e aprofundamentos por meio de dragagens. Tais obras teriam como objetivo aumentar a capacidade de receber embarcações maiores, o que aumentou a demanda do Porto de São Francisco do Sul. O volume de material retirado do canal nas campanhas de dragagem ocorridas de 1979 até 1991 estão dispostas na Tabela 2.2 a seguir.

**Tabela 2.2:** Histórico de volumes dragados no final do século XX na baía da Babitonga (INPH, 2015).

Ano	Volume (m <sup>3</sup> )	Ano	Volume (m <sup>3</sup> )
1979	0	1986	143.132
1980	0	1987	36.014
1981	0	1988	537.447
1982	100.276	1989	0
1983	0	1990	0
1984	115.683	1991	154.675
1985	1.146.830	<b>TOTAL</b>	<b>2.234.057</b>

Desde então são realizadas dragagens periódicas no Canal de Acesso e nas áreas de calha do canal para manter a profundidade segura navegável. Entretanto, o

registro dessas campanhas de dragagem não foi recuperado pelo Porto de São Francisco do Sul após seu banco de dados ter sido invadido e *rackeado* no ano de 2017. Os poucos dados resgatados correspondem aos dados dos relatórios de dragagem e ao Estudo de Sedimentação no Canal de Acesso ao Complexo Portuário de São Francisco do Sul – SC, ambos realizados pelo INPH em 2015. O último projeto de dragagem que se obteve acesso consiste neste estudo de sedimentação elaborado pelo INPH (2015) e apresentado à Secretaria de Portos no Rio de Janeiro, cuja proposta consistiu em elaborar um modelo matemático que correlacionasse as diferentes variáveis que controlam a sedimentação do canal a fim de estimar a taxa de assoreamento do canal e poder propor valores mais precisos para campanhas de dragagem anuais. O valor obtido após este estudo foi de 365.800,00 m<sup>3</sup> para a dragagem de manutenção do canal de acesso ao complexo portuário de São Francisco do Sul (INPH, 2015). Entretanto, para o canal de acesso se adequar às profundidades estipuladas no projeto, o total de sedimentos dragados seria de 15.382.972,00 m<sup>3</sup>, subdivididos conforme a Tabela 2.3, quantificados a partir do software Surfer ®, através da diferença entre as profundidades obtidas no levantamento batimétrico e o projeto de dragagem elaborado.

**Tabela 2.3:** Características de cada trecho do canal e cálculo do volume dragados no projeto de ampliação e desassoreamento do canal de acesso à Baía da Babitonga (INPH, 2015).

Porto de São Francisco do Sul - SC							
Áreas	Cota (m - DHN)	Talude	Tol. (m)	DMT (MN)	Volume Projeto (m <sup>3</sup> )	Volume Tol. (m <sup>3</sup> )	Volume Total (m <sup>3</sup> )
Canal Externo - 1	-16	1:6	0.7	6.41	4,540,569	1,156,113	5,696,682
Canal Externo - 2A	-9	1:6	0	6.29	1,432,609	0	1,432,609
Canal Externo - 2B	-9 à -16	1:6	0.7	7.97	4,937,920	688,221	5,626,141
Canal Externo - 3	-16	1:6	0.7	9.31	54,118	139,955	194,073
Regularização	-14	1:6	0.7	6.51	725,855	173,826	899,681
Armadilha	-16	1:6	0.7	5.05	769,902	62,964	832,866
Canal Interno	-14	1:6	0.7	13.66	1,996	143,297	145,293
Bacia 1	-14	1:6	0.7	15.95	6,643	16,989	23,632
Bacia 2 - Derroc.	-15	1:0	0.5	14.43	14,491	5,363	19,854
Bacia 3	-14	1:6	0.7	14.55	411,067	101,074	512,141
<b>TOTAL</b>							<b>15,382,972</b>

## 2.6.2 TAXA DE ASSOREAMENTO DO CANAL

Buscando a aprovação para o projeto de aprofundamento do canal de acesso aos portos da baía da Babitonga, a administração Porto de São Francisco do Sul em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias desenvolveu um estudo de sedimentação na baía da Babitonga (INPH, 2015). Nele, as estimativas das taxas de acumulação de sedimentos foram desenvolvidas tomando-se por base levantamentos geofísicos que proporcionaram a modelagem matemática da sedimentação na baía da Babitonga (INPH, 2015). Os levantamentos batimétricos subsequentes foram então comparados, e através das diferenças nas taxas de sedimentação, foram calculados os volumes que se depositaram no canal durante o tempo analisado (INPH, 2015). A partir desses levantamentos quantificou-se o volume assoreado entre os respectivos anos, permitindo estimar o assoreamento anual ao longo do canal de navegação para a atual situação. Os valores de assoreamento do canal externo e interno estão dispostos respectivamente nas Tabelas 2.4 e 2.5.

**Tabela 2.4:** Valores de assoreamento determinados a partir das análises das três batimetrias, e as estimativas de assoreamento anual para o canal externo. (INPH, 2015).

<b>Canal Externo (cota -16)</b>		
<b>Período</b>	<b>Assoreamento total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Estimativa anual (m<sup>3</sup>)</b>
<b>2012-2013 (15 meses)</b>	248.929,92	199.143,94
<b>2013-2015 (21 meses)</b>	526.498,05	300.856,75
<b>2012-2015 (36 meses)</b>	775.427,97	258.475,99

**Tabela 2.5:** Valores de assoreamento determinados a partir das análises das três batimetrias, e as estimativas de assoreamento anual para o canal interno. (INPH, 2015).

<b>Canal Interno (cota -14m)</b>		
<b>Período</b>	<b>assoreamento total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>estimativa anual (m<sup>3</sup>)</b>
<b>2012-2013 (15 meses)</b>	147.784,11	118.227,29
<b>2013-2015 (21 meses)</b>	174.193,55	99.539,17
<b>2012-2015 (36 meses)</b>	321.977,66	107.325,89

Através da modelagem matemática obteve-se um valor de assoreamento de aproximadamente 345.570,00 m<sup>3</sup>/ano ao longo de todo o canal na atual situação (INPH, 2015). O INPH então continua indicando como taxa de dragagem anual, o valor

de 365.800,00 m<sup>3</sup> para a manutenção do canal de acesso ao complexo portuário de São Francisco do Sul. Cabe ressaltar, entretanto, que este valor corresponde ao assoreamento na caixa, isto é, desconsiderando o assoreamento no talude e na tolerância.

## **2.7 PROJETOS DE ENGORDA DE PRAIA**

Projetos de engorda de praia utilizam grandes quantidades de areia de boa qualidade para promover uma progradação antrópica da linha de costa (Dean, 2003). Estes projetos podem ser dispostos em campanhas únicas, onde a dragagem é realizada de uma só vez sem a necessidade de acompanhamento posterior, ou em projetos periódicos, ou onde a engorda de praia é feita periodicamente, mantendo o sistema costeiro supersaturado de sedimento, e utilizando da própria dinâmica costeira para dispersar este sedimento e promover a manutenção de toda a linha de costa, realimentando a região conforme o processo erosivo dispersor atuante. Tal escolha depende das características da dinâmica sedimentar na região onde se está avaliando a implantação de projetos de engorda de praia, e depende principalmente das taxas de erosão no local escolhido. Caso a taxa seja elevada, tal característica do local não será revertida com campanhas de engorda de praia, devendo-se manter um acompanhamento periódico do local para avaliar quando e quanto sedimento deverá ser repostado periodicamente na região. É interessante, também, que a fonte dos sedimentos utilizados seja próxima do local de despejo para contenção da erosão costeira, tendo em vista que o transporte desse volume de sedimento proporciona um condicionante para a viabilidade econômica dos projetos (Dean, 2003).

Tais projetos têm sido utilizados por todo o mundo como uma das melhores soluções para conter a erosão costeira e promover a manutenção da linha de costa. Exemplos da aplicação deste tipo de projetos podem ser encontrados nos Estados Unidos, como em Santa Barbara (CA), Miami (FL), Maui and Waikiki (HW), assim como na Holanda, China, e em diversos outros países costeiros no mundo. Na China, somente entre 1994 e 2014 foram realizados 54 projetos de engorda de praia aplicados em 49 diferentes localidades da sua costa (Luo *et al.*, 2016). A Austrália, que é referência mundial em projetos de estudos costeiros e das dinâmicas costeiras,

também contam com projetos pioneiros destinados a conter os inúmeros problemas originados pela ocupação antrópica das áreas costeiras do país, onde concentra a maior parte da população australiana. Uma das soluções mais inovadoras sob o ponto de vista tecnológico e científico é o projeto de *bypassing* de areia aplicado na desembocadura do Rio Tweed, ao sul do município de *Gold Coast (Queensland)*, denominado *Tweed River Entrance Sand Bypassing Project*.

A cidade de Gold Coast, localizada na porção sudeste do estado de Queensland, na Austrália, é uma das cidades turísticas mais famosas de todo continente australiano. A região metropolitana da cidade engloba subúrbio de *Tweed Heads*, que é uma comunidade instalada às margens do Rio Tweed, e que já é pertencente ao estado de *New South Wales*. No estuário formado na foz do Rio *Tweed*, foi construído um porto, que utilizava da desembocadura do rio para garantir um acesso mais seguro à costa pelas embarcações no século XIX. Obras de dragagem e de contenção já haviam sido realizadas desde o final do século XIX, mas entre 1962 e 1965, visando melhorar as condições de navegação na desembocadura do canal, foram ampliadas as obras de muros de contenções em ambas as margens da desembocadura do rio, adentrando 400 metros no oceano. O intuito dessa obra seria de impedir a formação de bancos de areia na desembocadura do canal, e assim garantir uma melhora na segurança da navegação e acesso ao porto do estuário. Entretanto, tal obra barrou os sedimentos da corrente de deriva, e causou uma série de passivos ambientais, relacionados a sedimentação e erosão, nas áreas à sul e a norte dos muros de contenção respectivamente. À sul, ocorreu um acúmulo de sedimentos, que formaram um banco de areia que eventualmente contornou o muro de contenção, e criou novos bancos de areias, mais rasos e perigosos, na desembocadura do canal, afetando a navegação na região. À norte, o suprimento sedimentar das praias do município foi interrompido, e a corrente que anteriormente fazia a manutenção da linha natural de costa por estar saturada de sedimentos oriundos do Sul, agora fazia o papel de erodir as praias, tornando-as suscetíveis à ação de ciclones e tempestades, que destruíram comércios locais e afetaram o turismo na região.

Como resposta, a cidade elaborou uma solução complexa e inteligente para gerir os problemas de erosão criados na desembocadura do Rio *Tweed*. Tal solução

chama-se *Tweed River Sand Bypassing Project (TRESBP)*, que em suma é um projeto de engorda de praia que funciona sazonalmente bombeando areia da região de desembocadura do Rio *Tweed* para conter a erosão costeira e fazer a manutenção da linha de costa (Figura 2.1). Tal projeto envolve um estudo detalhado das dinâmicas costeiras que controlam a sedimentação na região e utiliza das próprias dinâmicas para auxiliar na dispersão do sedimento de engorda de praia fazendo a manutenção de toda a linha da costa por até 8 km, além de manter um monitoramento periódico das taxas de erosão e sedimentação nas diferentes praias da região (TRESBP, 1997).



**Figura 2.1:** Visão aérea da desembocadura do Rio *Tweed*, limite entre os estados de *New South Wales* e *Queensland* na Austrália, com a planta do projeto de *bypassing* de areia à esquerda na fotografia, (Google, 2018).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para desenvolver esta pesquisa foram: GPS, celulares, câmeras fotográficas, mapas de localização, veículos motorizados comuns. Também foram utilizados *softwares* para processamento de dados geológicos como Arcgis, *softwares* de desenho de figuras e tratamento de fotografias como AutoCAD, Photoshop, CorelDraw, *softwares* de tratamento de dados estatísticos (Excell), *softwares* de tratamento de dados de ventos adaptado para o processamento de dados de reanálise de ondas (*WRPLOT View*) e *softwares* de localização geográfica com imagens de satélites como o Google Earth. Quanto aos métodos, a pesquisa se

embasou em diferentes etapas, cada uma com um método específico para realização. Estas subdivisões dos métodos consistem nos subcapítulos a seguir.

### 3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A primeira etapa deste trabalho consistiu na busca bibliográfica de material referente à morfodinâmica costeira de Itapoá-SC. Foram avaliados textos acadêmicos em periódicos nacionais e internacionais, livros, monografias e sites especializados, de forma que permitisse a melhor compreensão dos elementos que compõe a dinâmica costeira das praias de Itapoá-SC. Estes consistiram em levantamentos planialtimétricos de Souza (1999), dados da geologia local (Souza, 1999; Cruz, 2010; Ligeski, 2016), dados de marés e correntes (Souza, 1999; INPH, 2015;), dados e interpretações quanto ao sentido preferencial da corrente de deriva local (Souza, 1999), dados das estimativas volumétricas de erosão (Souza, 1999; Cruz, 2010; Ligeski, 2016), dados de ondas (Alves, 1996; Pianca *et al.*, 2010).

#### 3.1.1 MORFODINÂMICA PRAIAL

A terminologia das feições morfológicas do perfil praiial está representada na Figura 3.1 conforme Davis (1985). O autor subdivide o perfil : antepraia inferior (*nearshore*), antepraia superior (*foreshore*), pós-praia (*backshore*), zona de espraiamento (*swash zone*), zona de surfe (*surf zone*), zona de arrebenção (*breaker zone*), berma (*berm*), face da praia (*beachface*), crista (*ridge*), calha (*runnel*) e barra longitudinal (*longshore bar*):

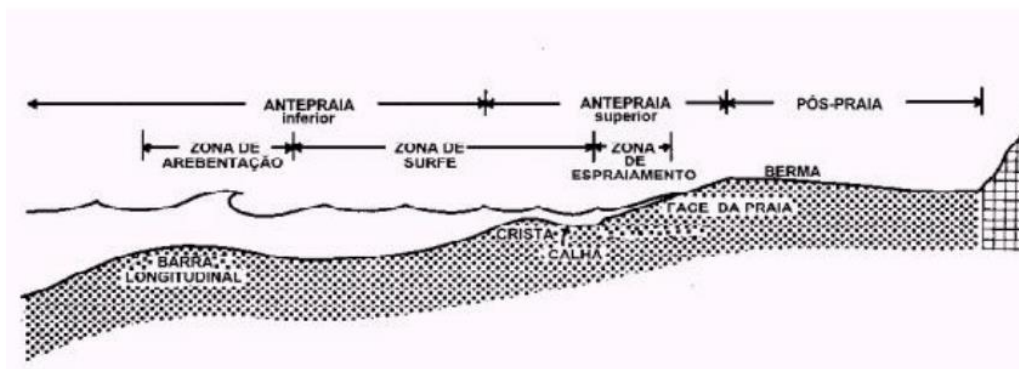
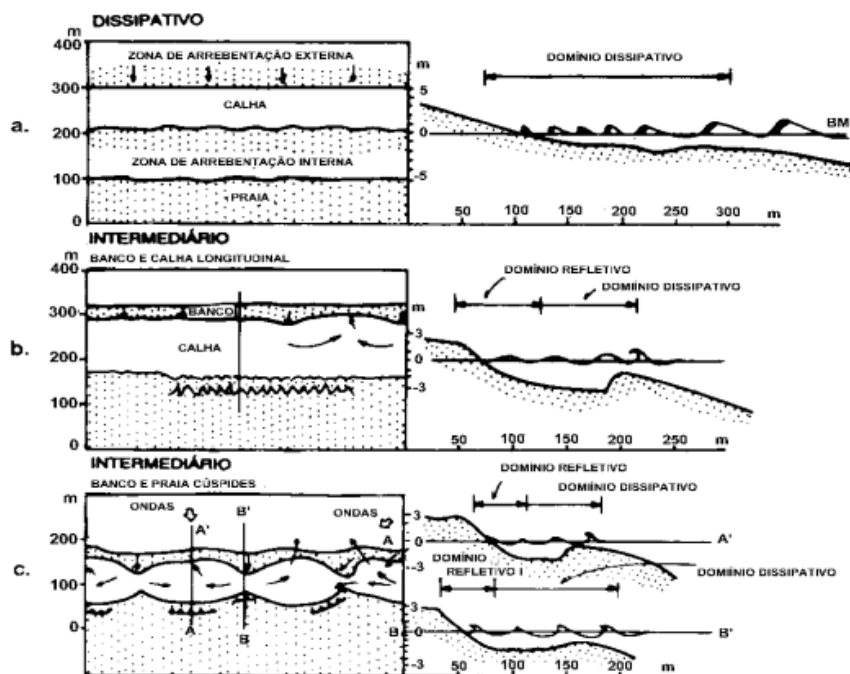
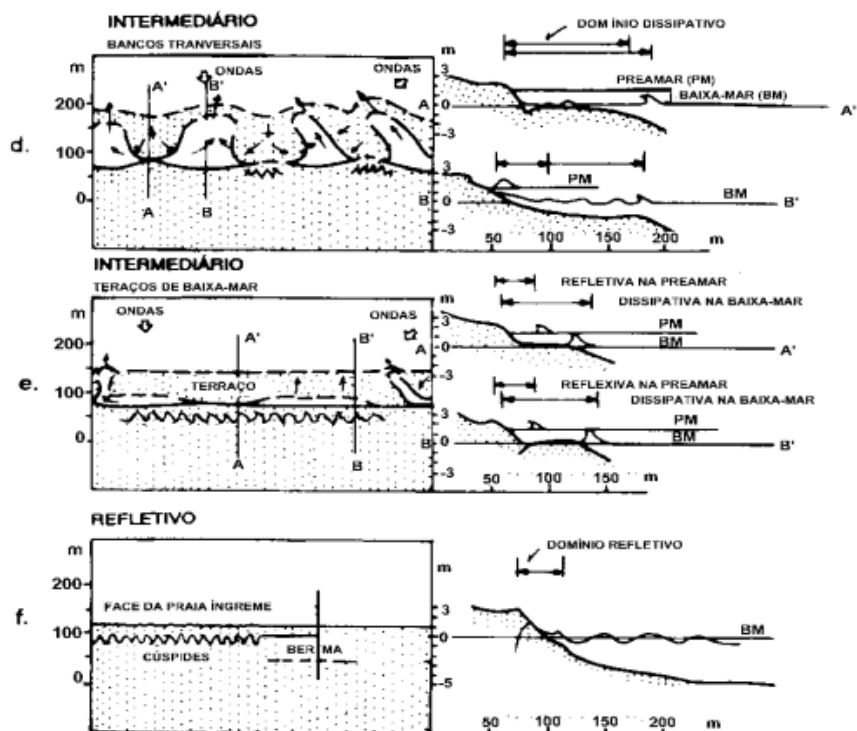


Figura 3.1: Classificação das feições praiiais de Davis (1985) adaptada por Albino (1999).

Os trabalhos de Short (1979) Wright *et al.* (1984) e Wright e Short (1983, 1984) chamam a atenção para a complexidade da dinâmica na zona de surfe. A interação das ondas incidentes com as correntes de retorno (*rip currents*), longitudinais (*longshore currents*), e correntes de marés (*tidal currents*) dá origem a diferentes comportamentos morfodinâmicos dos perfis praias (Leão, 2005). De acordo com essa dinâmica costeira, Wright *et al.* (1984) propôs uma classificação morfodinâmica que subdivide em seis estados praias (Figura 3.2a e b). O estado morfodinâmico do extremo dissipativo é representado por praia emersa e zona de surfe larga de baixa declividade e bem larga cuja principal característica seria a de dissipar a energia das ondas pelo perfil praias. Já o estado morfodinâmico do extremo refletivo é representado por uma praia de alta declividade praticamente sem zona de surfe, cuja resposta à incidência de ondulações consiste na reflexão da energia das ondas de volta para o oceano formando *backwash*. Por fim, os quatros estados intermediários exibem simultaneamente características dissipativas e refletivas. Os modelos de Wright *et al.* (1984) foram desenvolvidos em praias com regimes de micromarés, dominadas por ondulações e compostas por sedimentos nas frações granulométricas de areia (Souza, 1999).



**Figura 3.2 a:** classificação morfodinâmica de “a” a “c” das praias de Wright *et al.* (1984) adaptado por Muehe (2001).



**Figura 3.2 b:** classificação morfodinâmica de “d” a “f” das praias de Wright *et al.* (1984) adaptado por Muehe (2001).

### 3.2 REGIME DE ONDAS

O modelo *Wave Watch III*, do Centro Nacional de Previsões Ambientais dos Estados Unidos (NOAA/NCEP), utiliza formulas de geração de ondas (Chalikov e Belevich, 1993) e de dissipação de ondas (Tolman e Chalikov, 1996), para estabelecer uma modelagem matemática estatística que simula a dispersão das ondas a partir da correlação com equações de propagação (Booij e Holthuijsen, 1987), e conseqüentemente estimar a movimentação oceânica e atmosférica a partir desses modelos (NOAA/NCEP, 1999). Em suma, utiliza a equação da densidade de ação espectral para o espectro direcional da onda (Tolman, 1999). Foram extraídos dados *offshore* com ponto de referência geográfica de latitude  $-26^{\circ}$  e longitude  $-48,5^{\circ}$ , numa simulação de 1996 até 2001. Este período compreende também ao intervalo da pesquisa de Souza (1999), cujo banco de dados oriundos dos levantamentos planialtimétricos na costa de Itapoá-SC consistem em dados confiáveis e contínuos de tal forma que possibilitam a comparação com os dados de reanálise de ondas.

O regime de ondas foi caracterizado sazonalmente originando dados brutos de ondas referentes a medições de três em três horas, todos os dias do ano para o intervalo temporal pré-determinado, e consistem em dados de direção ( $^{\circ}$ N), altura relativa das ondas ( $H_s$ ), e período das ondulações ( $T$ ). Para o processamento desses dados de ondas foi utilizado o software gratuito *WRPLOT View*, que consiste num programa operacional de tratamento de dados meteorológicos que gera diagramas de rosetas e tabelas estatísticas de dados. É, entretanto, um programa desenvolvido para tratar dados atmosféricos e, portanto, tem aplicações limitadas para tratar de dados de ondulações. Dessa forma, antes do processamento dos dados, foi necessária uma análise estatística utilizando o software *Excell*, onde o período e a altura das ondulações foram correlacionados para se obter o poder das ondulações ( $P$ ) em Watts por metro ( $W/m$ ), segundo a fórmula extraída de Pianca *et al.* (2010) e desenvolvida por Salter (1974) disposta a seguir (Figura 3.3):

$$P = \rho g^2 H^2 T / 32\pi$$

**Figura 3.3:** Equação do poder de onda (Salter, 1974).

onde  $\rho$  é a densidade da água ( $1,027 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  é a aceleração da gravidade,  $H_s$  é a altura significativa (em metros), e  $T$  é o período (em segundos).

A análise da formula de Salter (1974) revela uma relação exponencial entre as variáveis  $H_s$  (altura significativa) e  $T$  (período). Tal relação demonstra que o crescimento do poder das ondulações ( $P$ ) se dá de forma exponencial, caracterizado por um constante aumento porcentual dos valores de  $P$  conforme varia a altura significativa e período. A capacidade de uma onda realizar trabalho, como mobilizar sedimentos, depende de sua energia ( $P$ ), sendo que o menor incremento no valor de  $P$  proporciona mudanças significativas na forma como determinada ondulação afeta a costa. Portanto, para fins de convenção, foi utilizado os valores base de  $8 \text{ W/m}$  e  $20 \text{ W/m}$  como parâmetros para relacionar a energia das ondas. Os valores menores ou iguais a  $8 \text{ W/m}$  foram considerados de baixa energia, em quanto os valores entre  $8$  e  $20 \text{ W/m}$  foram considerados de alta energia e os superiores a  $20 \text{ W/m}$  de muito alta energia. Tais valores foram utilizados como base para filtros do banco de dados e comparações proporcionais, que possibilitaram a retirada de conclusões a partir da análise estatística.

### **3.2.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS DE ONDAS**

O processamento dos dados de ondas do WWIII® originou diversos diagramas de rosetas e tabelas de medidas correspondentes a dados específicos oriundos da análise do banco de dados. O intervalo da direção das ondulações nos diagramas de rosetas corresponde à subdivisão da rosa dos ventos em 16 porções iguais. A partir do banco de dados de ondas do WWIII®, foram elaborados diagramas de rosetas gerais, sazonais, de variação sazonal anual, e nos períodos anteriores aos levantamentos planialtimétricos de Souza (1999). O período completo de janeiro de 1996 até dezembro de 2001 compreende o intervalo do banco de dados para o diagrama geral. Os diagramas sazonais são referentes às quatro estações do ano, sendo o intervalo do verão de 21 dezembro até 20 março, o outono de 21 março até 20 junho, o inverno de 21 junho até 20 setembro e a primavera de 21 setembro até 20 dezembro. Já para elaborar os diagramas de variação sazonal anual, foi utilizado os mesmos intervalos sazonais anteriores, separando o banco de dados por ano. Por fim, os diagramas referentes aos períodos anteriores dos levantamentos planialtimétricos correspondem ao intervalo de 10 dias antes da data dos levantamentos de Souza (1999), respectivamente entre os anos de 1996 e 1998 nos períodos de 12 até 22/08/96, 09 até 19/02/97, 26/08/97 até 04/09/97, 23/05/97 até 03/06/97, 08 até 18/02/98, 09 até 19/03/98 e por fim 08 até 18/06/98.

### **3.2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO BANCO DE DADOS DE ONDAS**

A análise estatística do banco de dados de ondas se deu primeiramente sob duas perspectivas principais: uma quantitativa e outra qualitativa. A análise quantitativa leva em consideração apenas a quantidade de medidas, em quanto a análise qualitativa proporciona analisar as características distintivas das medidas, como a direção de incidência ou o poder da ondulação. Após a análise quantitativa do total dos dados para cada intervalo temporal analisado, foram utilizados filtros qualitativos para diminuir e tornar mais específico o banco de dados. Essa filtragem consistiu em limitar o banco de dados quanto à energia das ondulações, fazendo a análise quantitativa dos dados comparados com parâmetros base que subdividia o banco de dados em dados de baixa energia, alta energia e muito alta energia. Tais

intervalos são respectivamente relativos aos dados com P menor que 8 W/m, com P maior que 8 W/m, e com P maior que 20 W/m. Os resultados de cada análise foram comparados proporcionando relacionar as relações percentuais entre os resultados, proporcionando embasamento posteriores discussões.

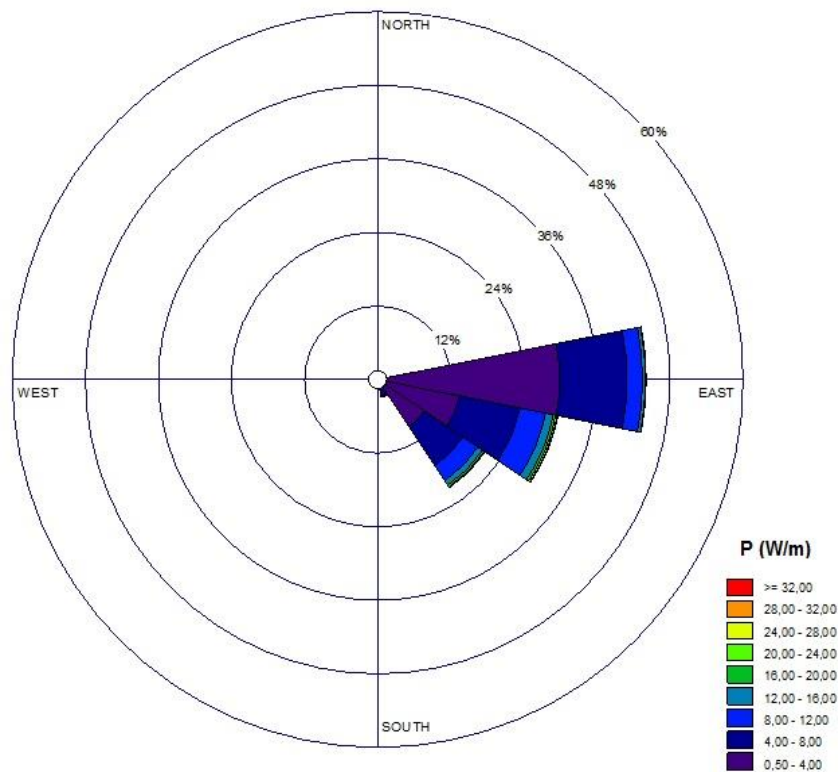
## 4. RESULTADOS

### 4.1. REGIME DE ONDAS

A Tabela 4.1 corresponde a organização simplificada dos dados analisados segundo a direção (ordenadas) e energia das ondas em W/m (abscissas). Já o diagrama de rosetas referente ao banco de dados completo do mesmo intervalo analisado está disposto na Figura 4.1.

**Tabela 4.1:** Tabela geral dos dados de ondas do modelo *Wave Watch III* (NOAA/NCEP) para o intervalo temporal de 1996 até 2001.

Direção / Energia da Onda (W/m)		0,50 - 4,00	4,00 - 8,00	8,00 - 12,00	12,00 - 16,00	16,00 - 20,00	20,00 - 24,00	24,00 - 28,00	28,00 - 32,00	>= 32,00	Total
<b>E-NE</b>	56,25-78,75	183	12	0	0	0	0	0	0	0	<b>195</b>
<b>E</b>	78,75-101,25	5203	1927	443	86	18	4	2	0	0	<b>7683</b>
<b>E-SE</b>	101,25-123,75	2385	1767	743	228	67	51	7	3	6	<b>5257</b>
<b>SE</b>	123,75-146,25	1602	1342	508	156	59	24	4	0	0	<b>3695</b>
<b>SE-S</b>	146,25-168,75	318	169	32	4	1	0	0	0	0	<b>524</b>
<b>Total</b>											<b>17464</b>



**Figura 4.1:** Diagrama de rosetas geral completo dos dados de ondas do modelo *Wave Watch III* (NOAA/NCEP) para o intervalo temporal de 1996 até 2001.

Observando a Figura 4.1, nota-se que a totalidade dos dados tem direção entre os quadrantes NE e SE. A análise quantitativa dos dados da Tabela 4.1 corroborou com a análise do diagrama de rosetas, e indicou que a direção predominante das ondulações a atingirem a costa do município é Leste (E), que corresponde a 44% do total, seguidas de ondulações de direção Leste-Sudeste (E-SE), com 30,1% dos dados, e de direção SE, com 21,15% dos dados. Já numa análise qualitativa, percebe-se que a maior parte das ondulações de Leste (E) que incidem em Itapoá-SC correspondem a ondulações de muito baixa energia (entre 0,5 e 4 W/m) com 5.203 dados, cerca de 67% do total amostrado. Em comparação, ondulações de Leste-Sudeste (E-SE) e Sudeste (SE) apresentam respectivamente 2.385 e 1.602 dados de muito baixa energia, que correspondem a aproximadamente a 45% e 43% do total de ondulações dessas direções.

Considerando todo o banco de dados com 17.464 medidas, a média do poder das ondulações é de apenas 3,5 W/m. Entretanto, levando em consideração apenas as medidas com P superior a 8 W/m, o banco de dados total se reduz para 2446 medidas, 14% do total, cuja média energética é de aproximadamente 10,39 W/m. A

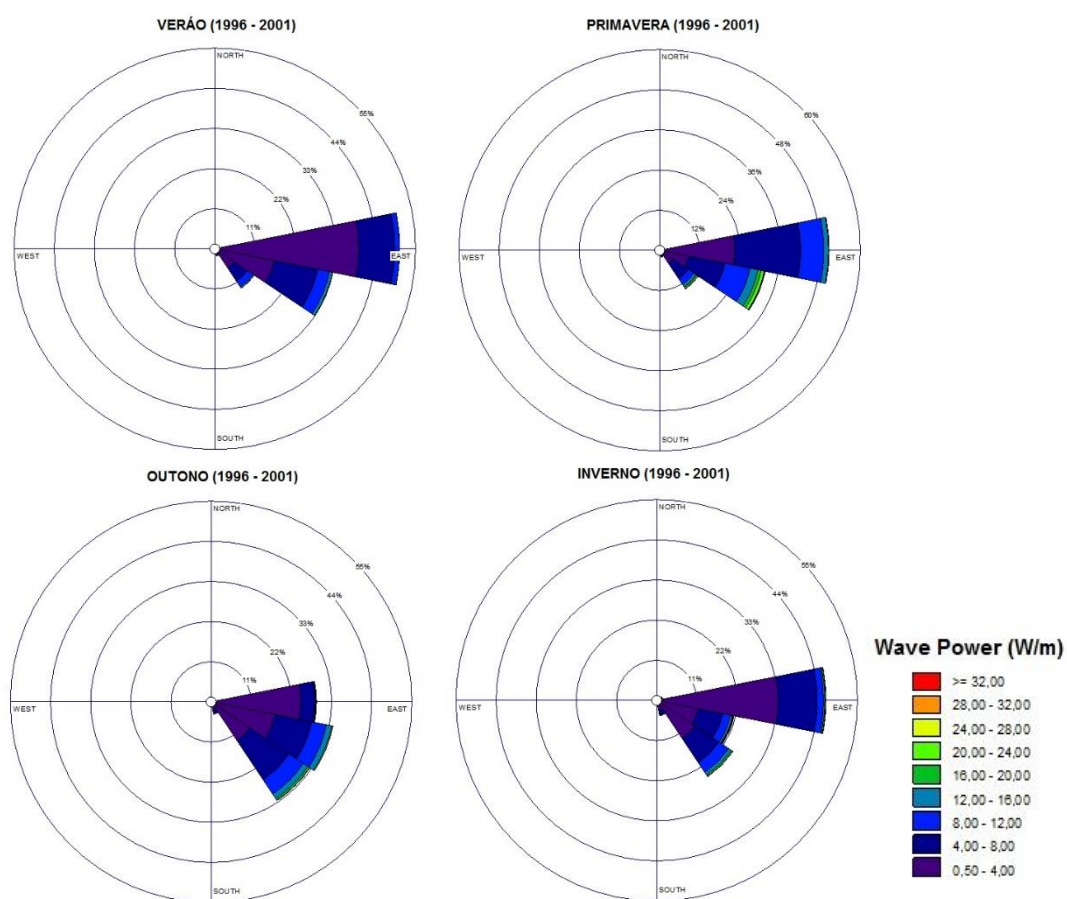
medida de maior energia de todo o intervalo avaliado foi de 38,98 W/m, provinda de uma ondulação de direção Leste-Sudeste (E-SE), durante o início da primavera de 1999, e foi produzida por uma ondulação com altura relativa ( $H_s$ ) de 1,67 metros e período ( $T$ ) na casa dos 14,24 segundos. Em contraste, a maior medida de período ( $T$ ) foi de 18,72 segundos e produziu um poder de ondas ( $P$ ) de 2,25 W/m, em quanto a maior medida de altura relativa ( $H_s$ ) foi de 1,71 metros, e produziu um poder de ondas de 22,56 W/m.

Com relação aos intervalos de maior energia, o padrão quantitativo se inverte na análise estatística a partir do momento que a energia da ondulação passa dos 8 W/m (cores azuladas mais claras no diagrama de rosetas). Para o intervalo Leste-Sudeste (E-SE), obteve-se um total de 1.105 dados de energia maior ou igual a 8 W/m, assim como os 6 dados de maior energia para toda a análise estatística, com energia maior ou igual a 32,0 W/m, que correspondem a aproximadamente 21% do total de dados dessa direção. Para o intervalo Sudeste (SE), obteve-se um total de 751 dados de maior energia, que correspondem a cerca de 20% do total de dados dessa direção. Já com relação aos dados de Leste (E) de maior energia, são apenas 553 dados, correspondentes a um total de apenas 7,19% do total de dados dessa direção. É importante frisar também que, nesta análise geral, apenas os dados da direção Leste-Sudeste (E-SE) apresentaram energia maior que 28 W/m, correspondendo, portanto, à principal direção das ondulações relativas à eventos de tempestade na região.

A ausência de dados oriundos da direção Leste-Nordeste (E-NE) de alta energia (superiores a 8 W/m) na análise geral do banco de dados tornou possível a eliminação dessa direção de ondulação do banco de dados das interpretações sazonais posteriores. Essa ausência se dá pela baixa energia das ondulações provindas dessa direção. Esse fato também corrobora com outras interpretações, presentes no próximo capítulo desta pesquisa.

## 4.2 REGIME DE ONDAS SAZONAL

O regime de ondas de Itapoá-SC varia sazonalmente, tanto na direção quanto na energia das ondulações que incidem na costa. Observando a Figura 4.2 e a Tabela 4.2, nota-se que a os dados de ondulações durante os períodos avaliados tem direção compreendida entre os quadrantes NE e SE, sendo as direções preferenciais das ondulações de Leste (E), Leste-Sudeste (E-SE) e Sudeste (SE). Quanto a quantidade de medidas, durante o verão, a primavera e o inverno as ondulações de Leste (E) predominam sobre as de Leste-Sudeste (E-SE) e Sudeste (SE), só invertendo este padrão no outono.



**Figura 4.2:** Diagramas de rosetas dos dados de ondas do modelo *Wave Watch III* (NOAA/NCEP) para o intervalo temporal de 1996 até 2001 separado pelas estações do ano.

**Tabela 4.2:** Tabela dos dados de ondas do WWIII® para a estação do Verão no intervalo temporal completo de 1996 até 2001.

Energia da Onda (W/m)	0,50 - 4,00	4,00 - 8,00	8,00 - 12,00	12,00 - 16,00	16,00 - 20,00	20,00 - 24,00	24,00 - 28,00	28,00 - 32,00	>= 32,00	Total
<b>Direção</b>	<b>VERÃO</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>4300</b>
<b>E</b>	1697	426	58	2	0	0	0	0	0	<b>2183</b>
<b>E-SE</b>	715	524	140	37	4	2	0	0	0	<b>1422</b>
<b>SE</b>	276	187	79	16	2	0	0	0	0	<b>560</b>
<b>SE-S</b>	39	40	8	0	0	0	0	0	0	<b>87</b>
<b>Direção</b>	<b>PRIMAVERA</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>4337</b>
<b>E</b>	973	856	300	62	4	1	2	0	0	<b>2198</b>
<b>E-SE</b>	381	486	330	102	43	40	4	3	6	<b>1395</b>
<b>SE</b>	213	236	86	36	14	15	4	0	0	<b>604</b>
<b>SE-S</b>	44	40	9	0	0	0	0	0	0	<b>93</b>
<b>Direção</b>	<b>OUTONO</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>4362</b>
<b>E</b>	1075	173	10	7	1	0	0	0	0	<b>1266</b>
<b>E-SE</b>	782	451	180	65	14	0	0	0	0	<b>1492</b>
<b>SE</b>	562	568	203	66	24	4	0	0	0	<b>1427</b>
<b>SE-S</b>	107	41	5	0	0	0	0	0	0	<b>153</b>
<b>Direção</b>	<b>INVERNO</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>4355</b>
<b>E</b>	1458	472	75	15	13	3	0	0	0	<b>2036</b>
<b>E-SE</b>	507	306	93	24	6	9	3	0	0	<b>948</b>
<b>SE</b>	551	351	140	38	19	5	0	0	0	<b>1104</b>
<b>SE-S</b>	128	48	10	4	1	0	0	0	0	<b>191</b>

Entretanto, quando se excluem as medidas roxas e azuis escuras dos diagramas de rosetas, referentes às medidas de energia menor que 8 W/m, percebe-se que a direção preferencial das ondulações muda para Leste-Sudeste (E-SE), seguida pelas ondulações de Sudeste (SE) e por fim de Leste (E). Quanto à variação por estação da incidência de ondulações de maior energia, a primavera se destaca como a estação com as maiores medidas de energia de ondulações, com 6 medidas de ondulações que superaram os 32 W/m, assim como com a maior quantidade de ondulações de alta energia, com um total de 1061 medidas. O inverno e o outono corresponderam às estações com uma incidência mediana de ondulações de mais alta energia, com um total de 578 medidas de alta energia no outono e 454 medidas no inverno. Entretanto, percebe-se na análise comparativa que, embora incidam mais ondulações no outono do que no inverno, estas correspondem às ondulações de energia também mediana, entre 8 W/m e 20 W/m, tendo apenas 4 medidas maiores que 20 W/m. Já no inverno, 20 medidas tem energia maior que 20 W/m, e

correspondem a 4% do total das medidas de ondulações de alta energia, contra os quase 0,7% do total do outono. Em contraste, a primavera apresenta 75 medidas com energia superior a 20 W/m, correspondendo a 7% do total de medidas de alta energia. Por fim o verão foi a estação onde menos incidiram ondulações com energia maior que 8W/m, com um total de 348 medidas, onde apenas duas superaram os 20 W/m, correspondendo a 0,57% do total de medidas de alta energia.

Numa análise das tabelas de dados sazonais das ondulações, observa-se um padrão sazonal referente às ondulações de direção Sul-Sudeste (S-SE). Estas têm incidência na costa de Itapoá-SC numa proporção inversa quando comparada ao acréscimo da temperatura durante as estações do ano. No inverno, a quantidade de medidas dessa direção é de 191, seguida pelo outono com 153, da primavera com 93 e do verão com 87 medidas. Entretanto, ao excluir da análise os dados de baixa energia (inferiores a 8 W/m), observa-se que o outono passa a ser a estação com a menor taxa de incidência de ondulações de Sul-Sudeste (S-SE), com apenas 5 medidas superando os 8 W/m, 3% do total da estação. A primavera e o verão apresentam respectivamente 9 e 8 medidas de alta energia, respectivamente 9,6% e 9,1% do total das estações. Já o inverno contou com um total de 15 medidas de alta energia dessa direção, representando 7,8% do total de medidas dessa estação. É importante frisar que, apesar da análise porcentual das medidas da primavera terem superado as do inverno, estas correspondem a medidas apenas entre 8 e 12 W/m, em quanto das 15 medidas de alta energia referentes ao inverno, 5 superaram os 12W/m (33%). O inverno é, portanto, a estação onde incidem mais ondulações do quadrante sudeste com influência de sul, e coincide também com a estação onde as ondulações desse quadrante apresentam maior intensidade energética.

Assim como as ondulações de direção Sul-Sudeste (S-SE), as medidas das ondulações de Sudeste (SE) também apresentaram, no geral, variações quantitativas numa proporção inversa ao acréscimo da temperatura, com maior quantidade de medidas dessa direção durante as estações mais frias quando comparadas com as estações mais quentes. Entretanto, o outono apresenta quantidade de medidas de sudeste ligeiramente maiores que o inverno, com respectivas 1.427 e 1.104 medidas. Ao excluir da análise os dados de baixa energia (inferiores a 8 W/m), a proporção se mantém, com o outono ainda apresentando aproximadamente 30% a mais de

medidas de alta energia que o inverno. Entretanto, nota-se uma variação importante quando analisado apenas o intervalo de medidas com energia superior a 20 W/m. Apesar dos dados do inverno e outono continuarem com quantidades similares, respectivamente de 5 e 4 medidas, a primavera apresentou uma quantidade significativamente maior, com 19 medidas, correspondendo a aproximadamente 68% do total de medidas de energia superior a 20 W/m providas de Sudeste (SE). No geral, a direção Sudeste (SE) corresponde a segunda direção preferencial de ondulações de energia superior a 20 W/m para esse setor da costa brasileira, tendo menor quantidade de medidas apenas quando comparada às ondulações providas de Leste-Sudeste. Dessa direção, a maior probabilidade de ocorrerem ondulações de alta energia se dá durante a primavera, podendo também ocorrer durante o inverno ou outono mesmo que com menor frequência e intensidades mais baixas. No geral, ondulações de muito alta energia (superior a 20 W/m) da direção Sudeste (SE) não costumam incidir na região durante o verão.

A soma dos dados de ondulações oriundas da direção Leste (E) apontou um total de 7.683 medidas, aproximadamente 44% do total de medidas analisado para todas as direções, consistindo na direção preferencial da incidência de ondulações neste setor da costa brasileira. Entretanto, 7.130 dados, 92,8% do total, correspondem ao intervalo de baixa energia, com valores inferiores a 8 W/m. Dessa forma, também é a direção fonte das ondulações mais fracas a incidirem no litoral de Itapoá-SC (desconsiderando os dados de E-NE e NE que não proporcionaram quantidade suficiente de dados para adentrar nessa análise estatística). A análise quantitativa por estação do ano proporcionou o entendimento de que no verão ocorre a maior quantidade de ondulações de Leste (E) incidindo na costa, seguido pela primavera, inverno e outono. Entretanto, ao excluir da análise os dados de baixa energia (inferiores a 8 W/m), nota-se que a primavera passa a ser a estação com a maior incidência de ondulações de alta energia providas de Leste (E), seguida pelo inverno, verão e outono, com respectivamente 369, 103, 60 e 18 medidas. É importante salientar que, embora as estações do outono e do verão não apresentam dados de direção Leste com energia superior a 20 W/m, no inverno e na primavera esses dados são também pouco frequentes, consistindo em quase 3 % dos dados de alta energia do inverno e a menos de 1% dos da primavera. Portanto, mesmo que a primavera apresente uma quantidade muito superior de medidas de alta energia providas de

Leste (E), com 67% do total de ondulações de alta energia dessa direção, a baixa frequência de dados de energia superior a 20 W/m em todas as estações elencou a direção Leste (E) como sendo a direção menos energética das 4 direções avaliadas nessa análise sazonal.

A direção de ondulações Leste-Sudeste (E-SE) corresponde à direção preferencial de ondulações de muito alta energia na área de estudo e apresenta variação energética sazonal conforme as estações do ano, embora com relações significativamente diferentes quando comparadas com as demais direções analisadas anteriormente. A análise quantitativa dos dados totais provindos dessa direção não foi conclusiva. Foram observados valores muito similares para as estações do outono, do verão e da primavera, respectivamente 1492, 1422, e 1395, sendo discrepante apenas a quantidade de medidas durante o inverno, com total de 948 medidas.

Entretanto, ao excluir da análise os dados de baixa energia (inferiores a 8 W/m), nota-se que o verão passa a apresentar juntamente com o inverno as menores quantidades, respectivamente 183 e 135 medidas, seguidas pelo outono com 259 dados e pela primavera com 528 dados. Apesar do verão apresentar maior quantidade de medidas quando comparado com o inverno, apenas 1% correspondem a medidas de muito alta energia, contra 6,66% do inverno. Em contraste, das 259 medidas de direção Leste-Sudeste (E-SE) do outono, nenhuma superou os 20 W/m. No inverno, embora a quantidade de ondulações de alta energia dessa direção seja a menor, estas compreendem mais medidas de energia superior a 20 W/m. Dessa forma, o verão e o outono correspondem às estações onde as ondulações da direção analisada apresentam menor energia. Entretanto, a pouca quantidade de medidas, mesmo que de muito alta energia, faz com que o potencial de incidência de ondulações energéticas de E-SE seja parecido nessas três estações. A primavera é a única estação discrepante nesta análise, compreendendo quase 50% do total de medidas de alta energia provindas de Leste-Sudeste (E-SE). Dos 528 dados de ondas analisados, aproximadamente 10% correspondem a dados de energia superior a 20 W/m, e desses, 11% tem energia superior a 32 W/m. Em suma, a direção Leste-Sudeste (L-SE) corresponde a direção preferencial de ondulações de energia superior a 20 W/m para esse setor da costa brasileira, e a maior probabilidade de ocorrerem ondulações de muito alta energia se dá durante a primavera, podendo também ocorrer

durante o inverno ou outono mesmo que com menor frequência e intensidades mais baixas, dificilmente superando os 20 W/m. No geral, ondulações de muito alta energia (superior a 20 W/m) da direção Sudeste (E-SE) não costumam incidir na região durante o verão.

Por fim, a ordem crescente de energia das ondulações conforme sua direção de origem é Leste (E), Sul-Sudeste (S-SE), Sudeste (SE) e Leste-Sudeste (E-SE). Já a ordem crescente de energia de ondulações conforme a estação do ano é Verão, Outono, Inverno e Primavera.

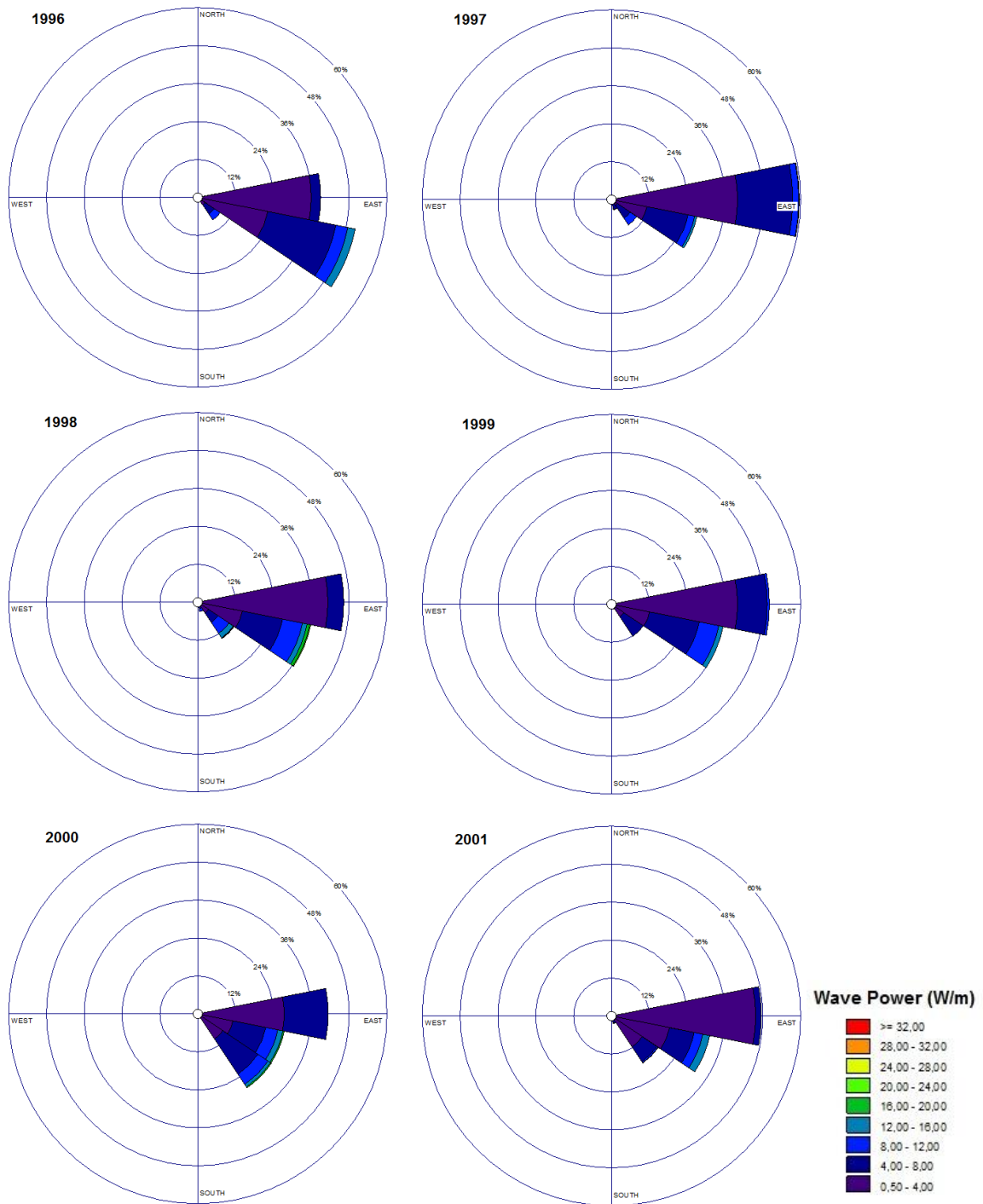
### **4.3 REGIME DE ONDAS SAZONAL PARA CADA ANO**

Buscando organizar a linha de raciocínio e a apresentação de dados deste subcapítulo, as informações aqui presentes foram divididas conforme a estação do ano a qual estão relacionadas. Dessa forma, subdividiu-se este subcapítulo em quatro itens, referentes as estações do ano. Internamente, os diagramas de rosetas foram organizados em ordem cronológica e estão dispostos no decorrer do texto. Já as tabelas geradas foram anexadas à esta pesquisa como ANEXO 1 devido à dificuldade de inserção desta no texto corrido.

#### **4.3.1 VERÃO**

A média da quantidade de total de medidas não possibilita qualquer interpretação conclusiva numa análise quantitativa geral. Entretanto, quando se excluiu desse banco de dados as medidas de baixa energia (menor que 8 W/m), os anos de 1998 e 2001 se destaca diante da nova média de 68,83 por ano por apresentarem os maiores desvios padrão. Em 2001, obteve-se o menor total de medidas de alta energia, com 41 medidas e nenhuma superando os 16W/m. Em contraste, no ano de 1998 incidiram a maior quantidade de ondulações de alta energia durante o verão, com total de 116 medidas, sendo 3 delas de energia superior a 20 W/m. Destaca-se também o verão do ano 2000, que foi o segundo maior em quantidade de medidas (80), e junto com o ano de 1998 foram os únicos do intervalo analisado que

apresentaram ondulações com energia superior a 16 W/m, 1998 com 10 medidas e 2000 com 5.



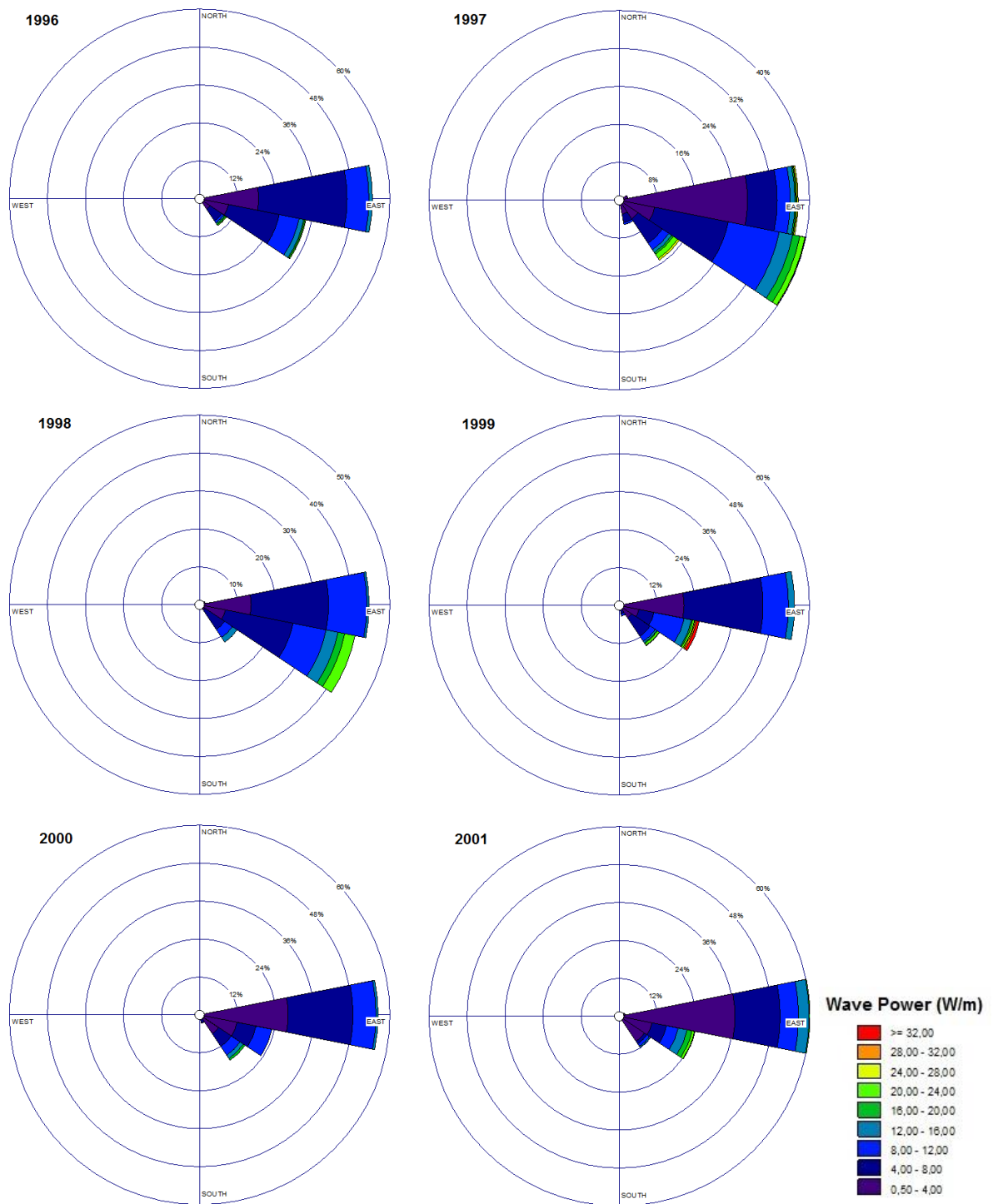
**Figura 4.3:** Diagramas de rosetas da estação do verão dos dados de ondas do WWIII® para o período de 1996 até 2001.

Após a análise individual de cada diagrama referentes à estação do verão, observa-se que, embora na maioria dos anos a maior quantidade de medições tenham

origem na direção Leste (E), no ano de 1996 a predominância foi de ondulações incidindo da direção Leste-Sudeste (E-SE). Em 1998, o verão apresentou maior quantidade de dados de alta energia, onde 56% dos dados provinham da direção Leste-Sudeste (E-SE) e 38% da direção Sudeste (SE). Já no verão de 2001, apenas 4 medidas de alta energia, 10% dos dados, tinham direção preferencial Sudeste (SE), sendo todo o restante (36 medidas correspondendo a 90% dos dados) oriundas da direção Leste-Sudeste (E-SE).

#### **4.3.2 PRIMAVERA**

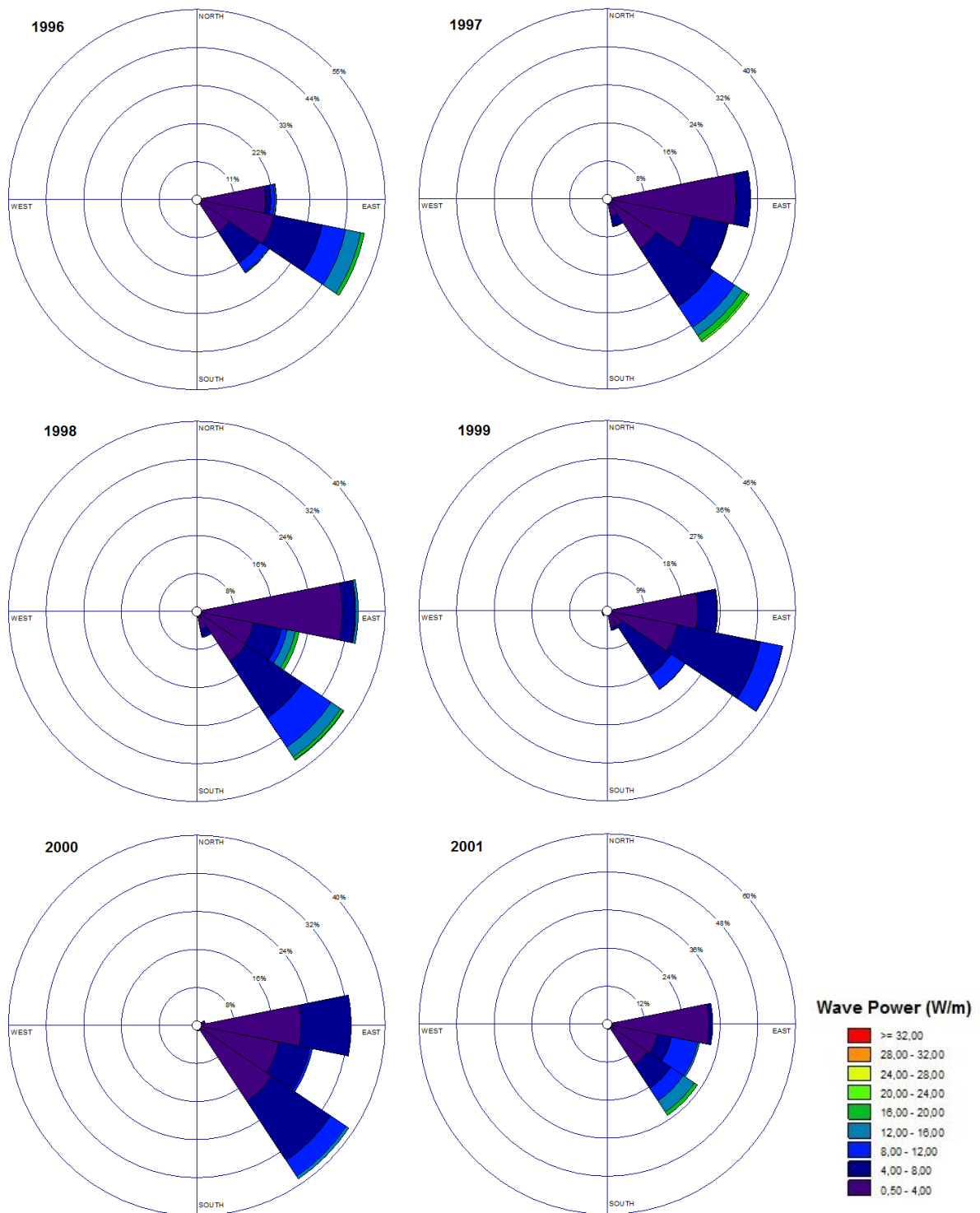
A média da quantidade de medidas de ondulações que incidiram na costa de Itapoá-SC durante a primavera entre 1996 e 2001 é de 708,66 medidas por ano (Figura 4.4). Tal valor é constante entre todos os anos do intervalo avaliado. Entretanto, quando se excluí desse banco de dados as medidas de baixa energia (menor que 8 W/m), a nova média de 171 possibilitou a interpretação de um padrão bimodal para o novo banco de dados: os anos cujas medidas são superiores à média e os anos cujas medidas são inferiores à média. No primeiro caso, respectivamente relativo aos anos de 1997, 1998 e 1999, tanto a quantidade total de dados quanto a quantidade de dados de muito alta energia (acima de 20 W/m) são muito próximos. Já os anos de 1996, 2000 e 2001 representam o segmento que a quantidade total de medidas de alta energia é menor que a média de 171 dados.



**Figura 4.4:** Diagramas de rosetas da estação da primavera dos dados de ondas do WWIII® para o período de 1996 até 2001.

### 4.3.3 OUTONO

A média da quantidade de total de medidas não possibilita qualquer interpretação conclusiva numa análise quantitativa geral (Figura 4.5). Quando se excluí desse banco de dados as medidas de baixa energia (menor que 8 W/m), a nova média de 93,33 medidas relacionada com a potência das ondulações também não proporcionaram uma análise conclusiva do banco de dados. Em quanto o ano de 1997 apresenta a maior quantidade de medidas de energia superior a 20 W/m (3), o total de medidas de energia superior a 8 W/m é de 68 medidas, menor que a média de 93,33. Por outro lado, a baixa quantidade de medidas fez o valor porcentual das ondulações de energia muito alta se tornar mais expressivo, representando 4,4% do total. Já em 1998, o total de medidas de energia superior a 8 W/m foi de 113, maior que a média e que o total de 1997. Entretanto, a única medida a superar os 20 W/m baixou a expressividade dessa faixa energética na análise porcentual, representando menos de 1% do total. Os demais anos do intervalo não apresentam medidas que superam os 20 W/m.

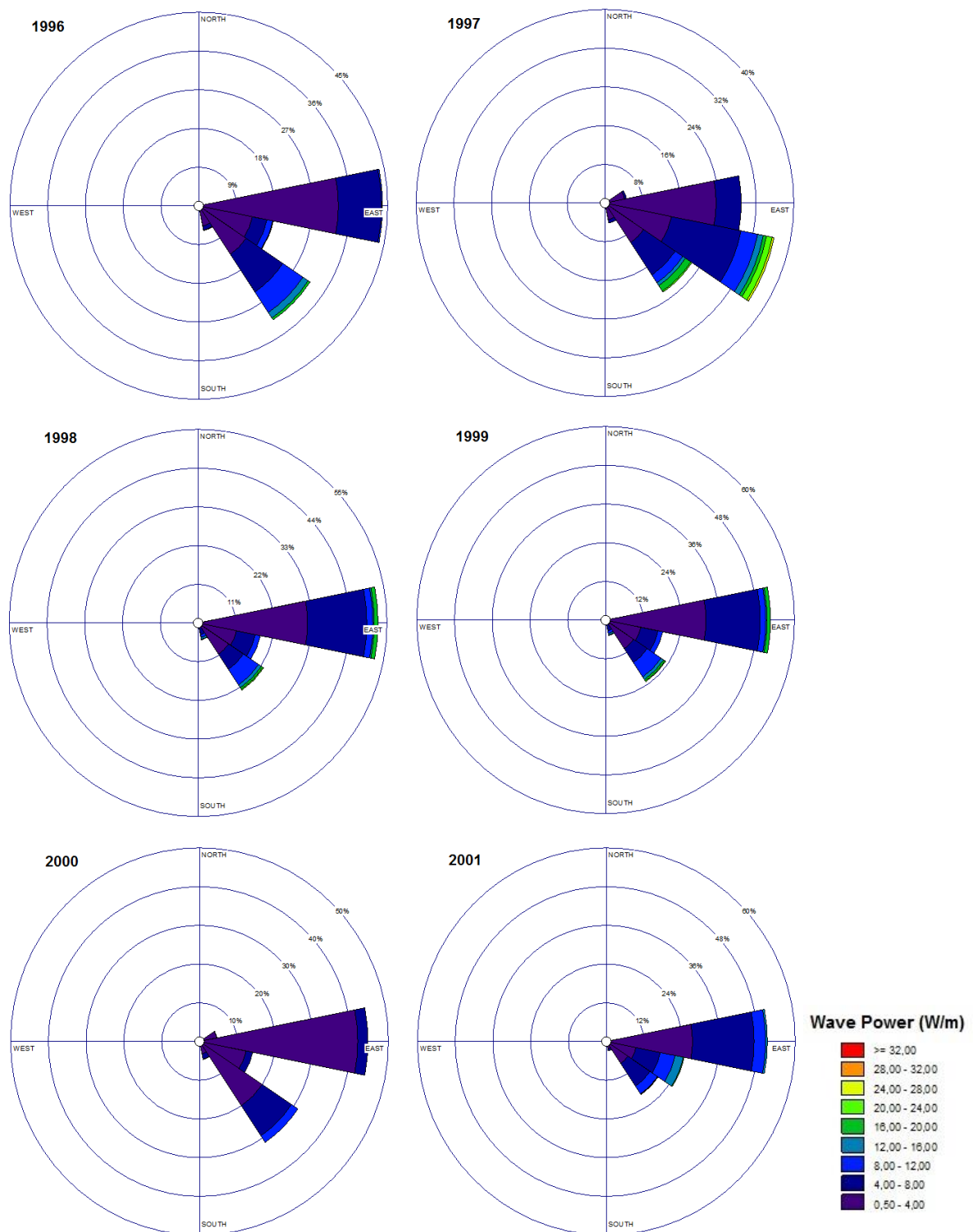


**Figura 4.5:** Diagramas de rosetas da estação do outono dos dados de ondas do WWIII® para o período de 1996 até 2001.

#### 4.3.4 INVERNO

A média da quantidade de total de medidas não possibilita qualquer interpretação conclusiva numa análise quantitativa geral (Figura 4.6). Quando se

excluí desse banco de dados as medidas de baixa energia (menor que 8 W/m), a nova média de 80 medidas relacionada com a potência das ondulações proporcionaram dividir o banco de dados em dois universos modais, conforme a presença de medidas de energia superior a 20 W/m no banco de dados. Os anos que não apresentaram incidência de ondulações de energia muito alta durante o inverno no intervalo amostral de 1996 até 2001 são 1996, 2000 e 2001. A definição do ano 2000 como ano de menor incidência de ondulações de alta energia foi uma das primeiras conclusões à serem tomadas, visto que o total de 16 medidas corresponde ao valor com maior desvio padrão com relação à média de 80 medidas estipulada. Tal definição é corroborada pela análise do diagrama de rosetas referente ao período na Figura 4.6, cujas cores nos tons de azul e roxo apontam a ausência de ondulações de mais alta energia, além da porção que representa as medidas da direção Leste-Sudeste (E-SE), em tese direção preferencial das ondulações de maior energia na área de estudo, ter a menor representatividade porcentual durante o 2000 atingindo pouco menos de 15% do total de medidas e nenhuma medida com energia superior a 8 W/m. Na sequência estão os anos de 1996 e 2001, cuja ordenação se deu primeiramente pela quantidade de medidas de alta energia, que em 1996 foi de 71 dados contra 110 em 2001. Contribuindo para essa ordem também está o parâmetro da quantidade de medidas da direção Leste-Sudeste (E-SE), que em 1996 foram 11 dados representando 15,4 % do total, contra 56 dados em 2001 representando 50,9% do total.



**Figura 4.6:** Diagramas de rosetas da estação do inverno dos dados de ondas do WWIII® para o período de 1996 até 2001.

Já os anos que apresentaram medidas de energia superior a 20 W/m foram 1997, 1998 e 1999. Embora quantitativamente 1997 seja o ano de menor quantidade de medidas para o inverno, com 83 medidas contra 102 de 1998 e 98 de 1999, 16,8%

dessas medidas são de muito alta energia, contra 3,9% em 1998 e 2% em 1999. Quanto à presença de ondulações de alta energia de direção Leste-Sudeste (E-SE), 1997 apresentou também a maior proporção porcentual, com 62,6% das medidas provindas dessa direção, contra 22,5% em 1998 e 11,2% em 1999. Dessa forma, o ano que apresentou a maior incidência de ondulações de maior energia durante o inverno foi 1997, seguido por 1998, 1999, 2001, 1996 e 2000.

#### 4.4 PERIODOS ESPECÍFICOS DE 1996 ATÉ 1998

Para relacionar o banco de dados de ondas com as variações na morfologia praial da costa do município de Itapoá-SC, por fim foram elaborados diagramas de rosetas e tabelas de medidas relacionados aos levantamentos planialtimétricos de Souza (1999), realizados respectivamente entre 1996 e 1998. Cada subcapítulo desta seção do trabalho corresponde ao respectivo levantamento planialtimétrico de Souza (1999).

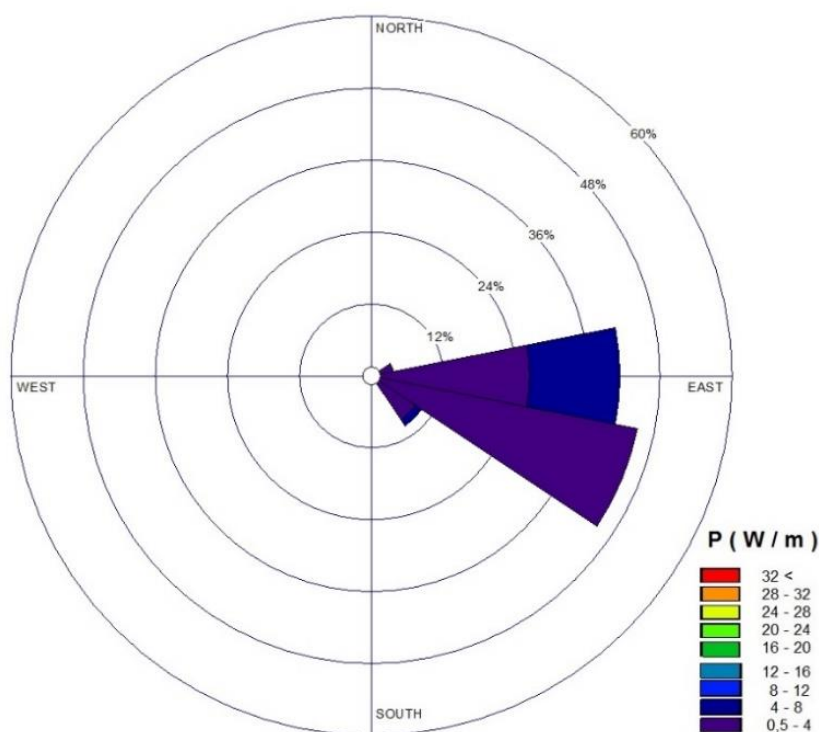
##### 4.4.1 AGOSTO (1996)

O banco de dados de ondulações que incidiram na costa de Itapoá-SC nos 10 dias anteriores à data do primeiro levantamento planialtimétrico de Souza (1999), realizado nos dias 21 e 22 de agosto de 1996, conta com um total de 80 medidas (Tabela 4.3). Desse total, 16,25 % compreendem dados de energia entre 4 e 8 W/m, e o restante com poder de ondas inferior a 4 W/m. Não foram identificadas ondulações de alta energia nesse banco de dados.

**Tabela 4.3:** Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 11 a 21 de agosto de 1996.

Energia da Onda (W/m)	0,50-4,00	4,00-8,00	Total
Direção	AGOSTO (1996)		
E-NE	3	0	3
LESTE (E)	21	12	33
LESTE – SUDESTE (E-SE)	36	0	36
SUDESTE (SE)	7	1	8
	SUBTOTAL		80

Para o período avaliado, observa-se que a incidência de ondulações em Itapoá-SC se deu essencialmente de duas direções preferenciais: Leste (E) com um total de 33 medidas, com pouco mais de 33% correspondendo ao intervalo de 4 a 8 W/m; e Leste-Sudeste (E-SE), com as 36 medidas correspondentes a dados de poder de ondas inferior a 4 W/m (Figura 4.7). As ondulações de Sudeste (SE) ainda correspondem a dados com representatividade expressiva no total do banco de dados, com 10% do total de medidas, embora apenas uma delas apresente energia superior a 4 W/m. As ondulações de Leste-Nordeste (E-NE) tiveram um total de 3 medidas, todas inferiores a 4 W/m.



**Figura 4.7:** Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 11 a 21 de agosto de 1996.

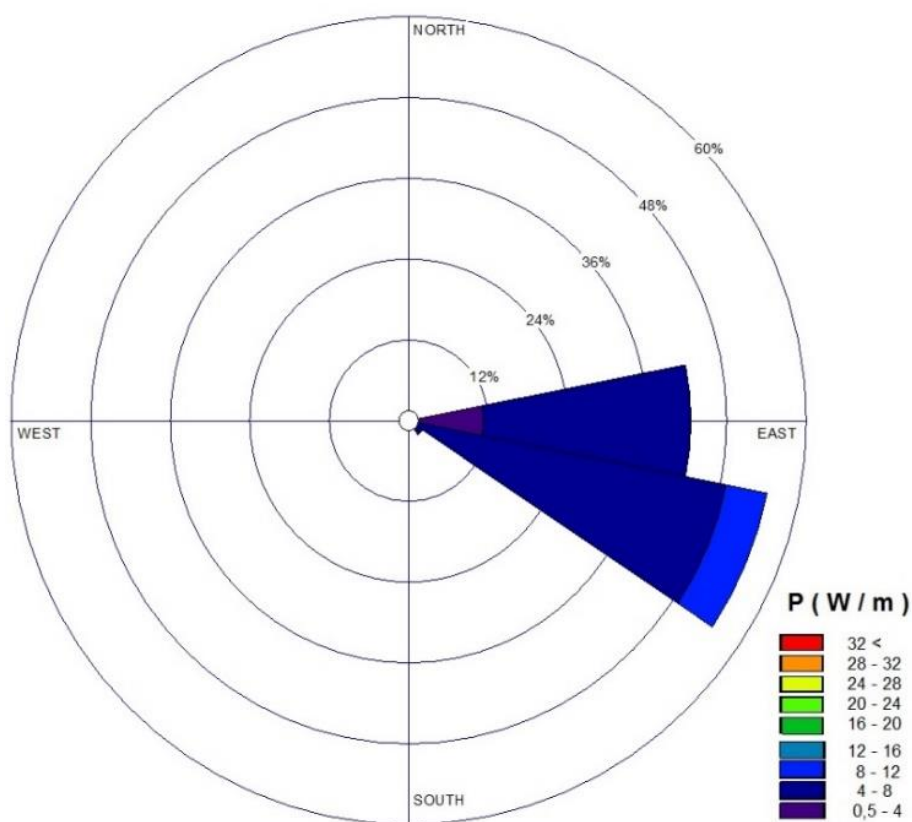
#### 4.4.2 FEVEREIRO (1997)

O banco de dados de ondulações que incidiram na costa de Itapoá-SC nos 10 dias anteriores à data do segundo levantamento planialtimétrico de Souza (1999), realizado nos dias 18 e 19 de fevereiro de 1997, conta com um total de 80 medidas (Tabela 4.4). Desse total, 6,25 % compreendem dados de alta energia (superiores a 8 W/m), e o restante com poder de ondas inferior a 8 W/m. Entretanto, apenas 17 medidas do banco de dados apresentam energia inferior a 4 W/m, 21,25% do total.

**Tabela 4.4:** Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 08 até 18 de fevereiro de 1997.

Energia da Onda (W/m)	0,50-4,00	4,00-8,00	8,00-12,00	Total
<b>Direção</b>	<b>FEVEREIRO (1997)</b>			
<b>LESTE (E)</b>	17	17	0	<b>34</b>
<b>LESTE – SUDESTE (E-SE)</b>	0	39	5	<b>44</b>
<b>SUDESTE (SE)</b>	0	2	0	<b>2</b>
	<b>SUBTOTAL</b>			<b>80</b>

Para o período avaliado, observa-se que a incidência de ondulações em Itapoá-SC se deu essencialmente de duas direções preferenciais: Leste (E) com um total de 34 medidas, com 50% correspondendo ao intervalo de 4 a 8 W/m; e Leste-Sudeste (E-SE), com 44 medidas, sendo sua distribuição aproximada de 90% correspondendo a medidas entre 4 e 8 W/m e pouco mais de 10% de dados com poder de onda entre 8 e 12 W/m (Figura 4.8). As ondulações de Sudeste (SE) tiveram um total de 2 medidas, todas com energia entre 4 e 8 W/m.



**Figura 4.8:** Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 08 até 18 de fevereiro de 1997.

#### 4.4.3 JUNHO (1997)

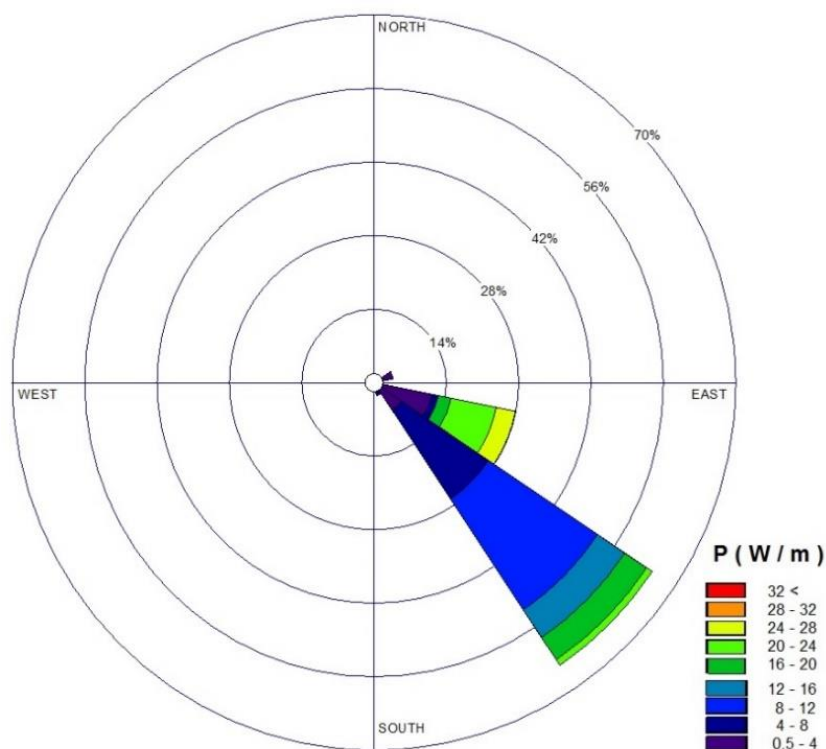
O banco de dados de ondulações que incidiram na costa de Itapoá-SC nos 10 dias anteriores à data do terceiro levantamento planialtimétrico de Souza (1999), realizado nos dias 03 de junho de 1997, conta com um total de 79 medidas (Tabela 4.5). Desse total, as medidas de alta energia correspondem a um total de 42 medidas, 53,16% do total. É importante salientar que 13,92% do total (11 medidas) compreendem dados de muito alta energia (superiores a 20 W/m), com as 3 medidas mais energéticas atingindo o intervalo de 24 a 28 W/m. Já o restante do banco de dados, somando 37 medidas, compreendem a dados com poder de ondas inferior a 8 W/m.

**Tabela 4.5:** Tabela dos dados de ondas do WWII® para o intervalo de 23 de maio até 03 de junho de 1997.

Energia da Onda (W/m)	0,50-4,00	4,00-8,00	8,00-12,00	12,00-16,00	16,00-20,00	20,00-24,00	24,00-28,00	Total
<b>Direção</b>	<b>JUNHO (1997)</b>							
<b>LESTE-NORDESTE (E-NE)</b>	3	0	0	0	0	0	0	<b>3</b>
<b>LESTE (E)</b>	1	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<b>LESTE – SUDESTE (E-SE)</b>	9	1	0	0	2	7	3	<b>22</b>
<b>SUDESTE (SE)</b>	5	16	20	5	4	1	0	<b>51</b>
<b>SUL-SUDESTE (S-SE)</b>	0	2	0	0	0	0	0	<b>2</b>
	<b>SUBTOTAL</b>							<b>79</b>

Para o período avaliado, observa-se que a incidência de ondulações em Itapoá-SC se deu essencialmente de duas direções preferenciais: Leste-Sudeste (E-SE), com 22 medidas, 27,8% do total, sendo sua distribuição aproximada de 45% correspondendo a medidas de baixa energia e o restante compreendendo dados de alta energia com P maior que 16 W/m; e Sudeste (SE) com 51 medidas, 64,5% do total, sendo sua distribuição porcentual de 58,8% de dados de alta energia, sendo que apenas 1 superou os 20 W/m (Figura 4.9). As ondulações de Sudeste (SE) tiveram um total de 2 medidas, com energia entre 4 e 8 W/m, em quanto as ondulações provindas de Leste (E) e Leste-Nordeste (E-NE) tiveram um total respectivo de 1 e 3 medidas, todas com poder (P) menor que 4 W/m. Apesar dos dados provindos de Sudeste (SE) serem maior quantidade, mesmo quando se excluí do banco de dados os dados de baixa energia, as ondulações de Leste-Sudeste (E-SE) atingiram os maiores índices energéticos, com 55% do total sendo de alta energia (maior que 8

W/m). Também observa-se que 90,9% dos dados que superaram 20 W/m foram provenientes da direção Leste-Sudeste (E-SE), consistindo na principal direção de ondulação incidindo na costa de Itapoá-SC no período avaliado.



**Figura 4.9:** Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 23 de maio até 03 de junho de 1997.

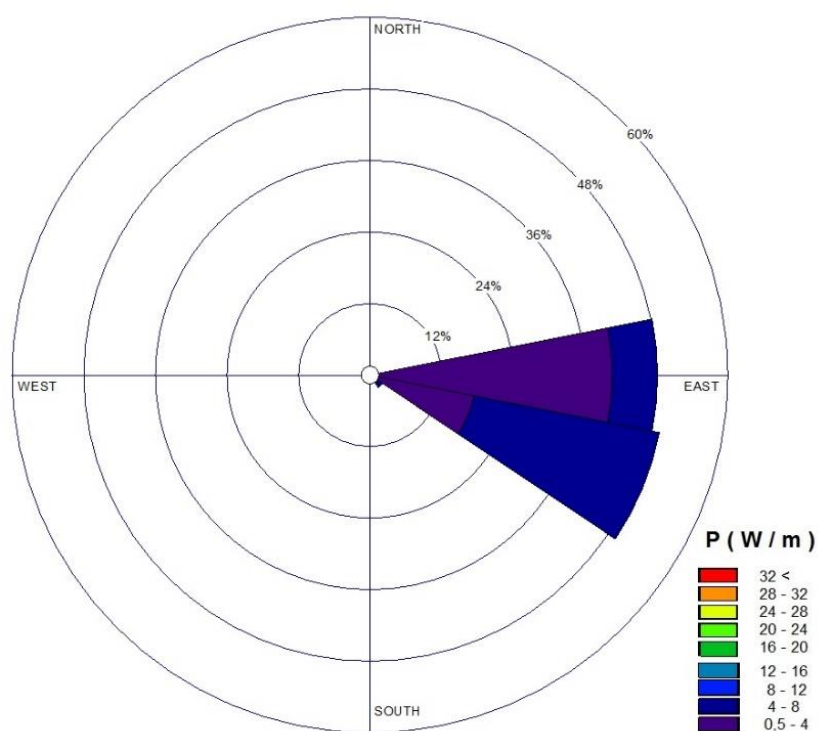
#### 4.4.4 SETEMBRO (1997)

O banco de dados de ondulações que incidiram na costa de Itapoá-SC nos 10 dias anteriores à data do quarto levantamento planialtimétrico de Souza (1999), realizado nos dias 04 de setembro de 1997, conta com um total de 79 medidas (Tabela 4.6). Desse total, 41,77 % compreendem dados de energia entre 4 e 8 W/m, e o restante com poder de ondas inferior a 4 W/m. Não foram identificadas ondulações de alta energia nesse banco de dados.

**Tabela 4.6:** Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 26 de agosto até 04 de setembro de 1997.

Energia da Onda (W/m)	0,50-4,00	4,00-8,00	Total
Direção	SETEMBRO (1997)		
LESTE (E)	32	6	38
LESTE – SUDESTE (E-SE)	14	25	39
SUDESTE (SE)	0	2	2
	SUBTOTAL		79

Para o período avaliado, observa-se que a incidência de ondulações em Itapoá-SC se deu essencialmente de duas direções preferenciais: Leste (E) com um total de 38 medidas, sendo pouco mais de 15% correspondendo ao intervalo de 4 a 8 W/m e o restante com poder inferior a 4 W/m; e Leste-Sudeste (E-SE) com 39 medidas, sendo aproximadamente 66% correspondendo a dados com energia de 4 a 8 W/m e o restante inferior a 4 W/m (Figura 4.10). As ondulações de Sudeste (SE) tiveram um total de 2 medidas, todas entre 4 e 8 W/m.



**Figura 4.10:** Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 26 de agosto até 04 de setembro de 1997.

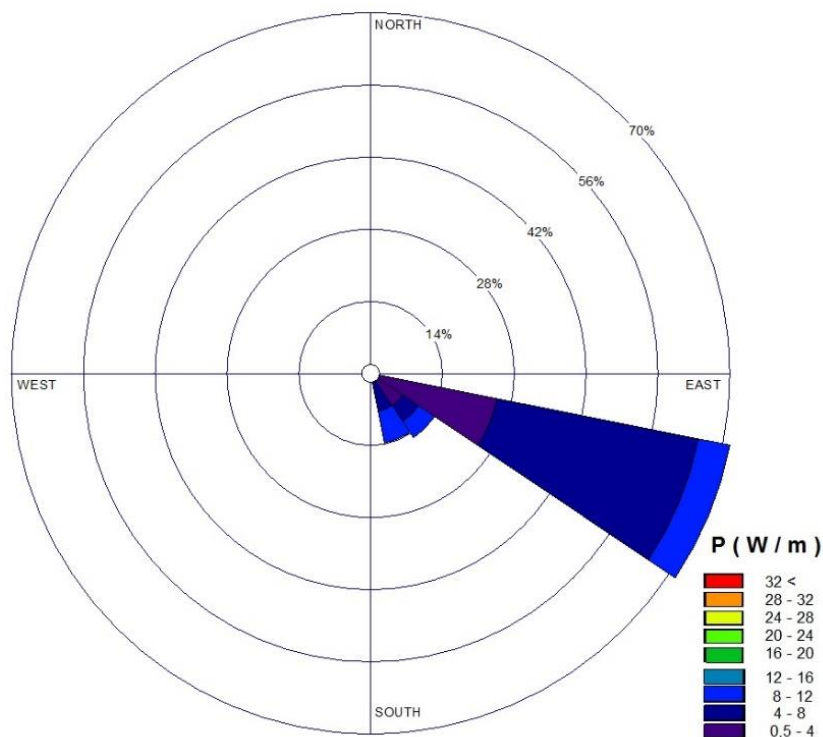
#### 4.4.5 FEVEREIRO (1998)

O banco de dados de ondulações que incidiram na costa de Itapoá-SC nos 10 dias anteriores à data do quinto levantamento planialtimétrico de Souza (1999), realizado nos dias 17 e 18 de fevereiro de 1998, conta com um total de 80 medidas (Tabela 4.7). Desse total, 16,25 % compreendem dados de alta energia (superiores a 8 W/m), e o restante com poder de ondas inferior a 8 W/m. Entretanto, nenhum dado superou os 12 W/m de potência, sendo que a maior parcela do banco de dados, pouco acima de 50% das medidas, correspondem ao intervalo energético de 4 a 8 W/m, com o restante de 32,5% representando o intervalo menor que 4 W/m.

**Tabela 4.7:** Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 07 até 17 de fevereiro de 1998.

Energia da Onda (W/m)	0,50-4,00	4,00-8,00	8,00-12,00	Total
Direção	FEVEREIRO (1998)			
LESTE – SUDESTE (E-SE)	20	32	5	57
SUDESTE (SE)	6	3	3	12
SUL-SUDESTE (S-SE)	0	6	5	11
	SUBTOTAL			80

Para o período avaliado, observa-se que a incidência de ondulações em Itapoá-SC se deu principalmente da direção Leste-Sudeste (E-SE) com um total de 57 medidas, 71,25% do total de dados. As direções Sudeste (SE) e Sul-Sudeste (S-SE) corresponderam às outras duas direções de ondulações à incidirem em Itapoá-SC no período avaliado, com respectivamente 12 e 11 dados, que correspondem a aproximadamente 15% do total (Figura 4.11). As ondulações de Sul-Sudeste (S-SE) apresentaram 5 medidas de alta energia, contra 2 da direção Sudeste (SE).



**Figura 4.11:** Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 07 até 17 de fevereiro de 1998.

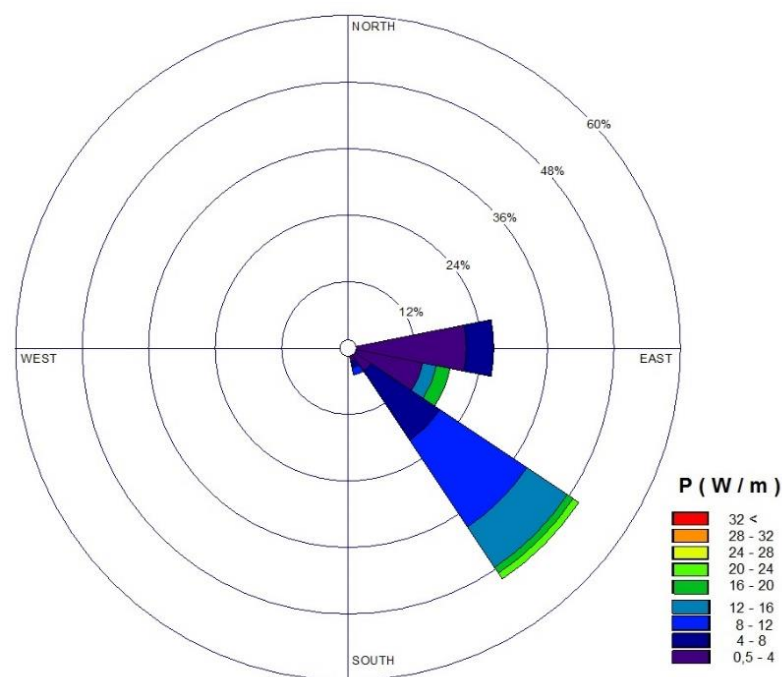
#### 4.4.6 MARÇO (1998)

O banco de dados de ondulações que incidiram na costa de Itapoá-SC nos 10 dias anteriores à data do penúltimo levantamento planialtimétrico de Souza (1999), realizado nos dias 19 de março de 1998, conta com um total de 80 medidas (Tabela 4.8). Desse total, as medidas de alta energia correspondem a um total de 29 medidas, 36,25% do total, com apenas uma medida atingindo o intervalo de muito alta energia (superiores a 20 W/m. Já o restante do banco de dados, somando 51 medidas, compreendem a dados com poder de ondas inferior a 8 W/m, com 1/3 no intervalo de 4 a 8 W/m e 2/3 com poder inferior a 4 W/m.

**Tabela 4.8:** Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 09 a 19 de março de 1998.

Energia da Onda (W/m)	0,50-4,00	4,00-8,00	8,00-12,00	12,00-16,00	16,00-20,00	20,00-24,00	Total
<b>Direção</b>	<b>MARÇO (1998)</b>						
<b>LESTE (E)</b>	17	4	0	0	0	0	<b>21</b>
<b>LESTE – SUDESTE (E-SE)</b>	11	0	0	2	2	0	<b>15</b>
<b>SUDESTE (SE)</b>	4	12	15	7	1	1	<b>40</b>
<b>SUL-SUDESTE (S-SE)</b>	2	1	1	0	0	0	<b>4</b>
	<b>SUBTOTAL</b>						<b>80</b>

Para o período avaliado, observa-se que a incidência de ondulações em Itapoá-SC se deu essencialmente de três direções preferenciais: Leste (E) com 21 medidas representando 26,25% do total; Leste-Sudeste (E-SE), com 15 medidas compondo 18,75% do total; e Sudeste (SE) com 40 medidas, 50% do total (Figura 4.12). Quanto a expressividade energética dessas ondulações, as ondulações de direção Leste (E) não apresentaram dados de alta energia, sendo apenas 4 medidas relativas ao intervalo de 4 a 8 W/m e o restante inferior a 4 W/m. Já as ondulações de Leste-Sudeste (E-SE), embora apresentem quantidade inferior quando comparadas com as de direção Leste (E), apresentam 4 medidas de alta energia, no intervalo de 12 W/m até 20 W/m, mesmo que nenhuma supere os 20 W/m. Por fim, as ondulações de Sudeste (SE) compõe a direção preferencial do período analisado, não apenas por se tratar de 50% do total de medidas do intervalo, mas também por quase metade das medidas serem de alta energia, com 1 medida superando os 20 W/m e sendo classificada como de muito alta energia. As ondulações provenientes de Sul-Sudeste (S-SE) apresentam a menor quantidade de dados do intervalo analisado, com apenas 4 medidas. Entretanto, compõe dados mais energéticos que os da direção Leste (E), com uma medida sendo classificada como de alta energia, superando os 8 W/m.



**Figura 4.12:** Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 09 a 19 de março de 1998.

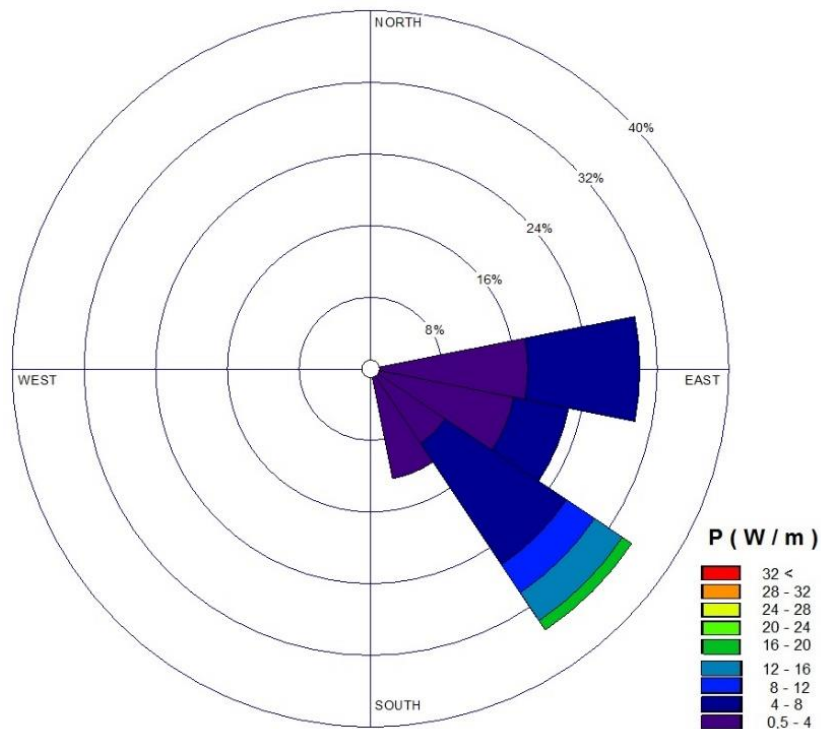
#### 4.4.7 JUNHO (1998)

O banco de dados de ondulações que incidiram na costa de Itapoá-SC nos 10 dias anteriores à data do último levantamento planialtimétrico de Souza (1999), realizado nos dias 18 de junho de 1998, conta com um total de 80 medidas (Tabela 4.9). Desse total, apenas 7 correspondem a dados de alta energia (pouco menos de 10%), e o restante com poder de ondas inferior a 8 W/m. Nenhum dado superou os 20 W/m de potência, sendo que a maior parcela do banco de dados, pouco acima de 56,25% das medidas, corresponde ao menor intervalo energético, com dados de potência inferior a 4 W/m. O intervalo de 4 a 8 W/m compreendeu 35% do total de medidas do período analisado.

**Tabela 4.9:** Tabela dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 8 até 18 de junho de 1998.

Energia da Onda (W/m)	0,50-4,00	4,00-8,00	8,00-12,00	12,00-16,00	16,00-20,00	Total
Direção	JUNHO (1998)					
LESTE (E)	14	10	0	0	0	24
LESTE – SUDESTE (E-SE)	13	5	0	0	0	18
SUDESTE (SE)	8	13	3	3	1	28
SUL-SUDESTE (S-SE)	10	0	0	0	0	10
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>80</b>

Para o período avaliado, observa-se que a incidência de ondulações em Itapoá-SC se deu principalmente da direção Sudeste (SE) com um total de 28 medidas, que embora seja apenas 35% do total de dados, compreende a totalidade das medidas de alta energia do período avaliado (Figura 4.13). As direções Leste (E) e Leste-Sudeste (E-SE) corresponderam às outras duas direções principais à incidirem em Itapoá-SC no período avaliado, com respectivamente 24 e 18 dados, mas que nenhum superou os 8 W/m. As ondulações de Sul-Sudeste (S-SE), embora apresentem 10 medidas, 12,5% do total, todas estão contidas no intervalo energético inferior a 4 W/m.



**Figura 4.13:** Diagramas de rosetas dos dados de ondas do WWIII® para o intervalo de 8 até 18 de junho de 1998.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. VARIAÇÃO SAZONAL DO REGIME DE ONDAS DE ITAPOÁ-SC

O sistema atmosférico do sul do Brasil é controlado por variações sazonais do posicionamento e da intensidade do *South Atlantic High (SAH)* (Orselli, 1986; Castro e Miranda, 1998) e pela passagem de sistemas de frentes polares (Stech, 1990; Stech e Lorenzetti, 1992). Ventos associados à passagem de frentes frias ocorrem com maior intensidade no outono e no inverno devido a maior frequência da formação de ciclones na atmosfera (Nimer, 1989; Gan e Rao, 1991), fato que se reflete na maior incidência de ondulações de alta energia durante essas estações (Pianca *et al.*, 2010). Segundo Pianca *et al.* (2010), o inverno é a estação cujas ondulações apresentam maior energia na região sul, atingindo amplitudes de até 7 metros e originadas de ondulações de direção sudeste, de ocorrência associada a variações sazonais das características atmosféricas da região. Assim como Pianca *et al.* (2010), tais variações

também foram identificadas no processamento dos dados de ondas do capítulo anterior.

Nota-se que apenas ondulações providas das direções Leste (E), Leste-Sudeste (E-SE) e Sudeste (SE) apresentaram dados com energia superior a 20 W/m, totalizando 101 medidas (0,57% do total). Desse total de medidas de energia muito alta, 67% tem direção preferencial Leste-Sudeste (E-SE), que por sua vez também correspondem às maiores medições de poder de ondulações, superando os 32 W/m em 6 medidas. Percebe-se então que as ondulações com maior influência de sudeste coincidem com as ondulações de maior energia de ondas, resultado que coincide com Pianca *et al.* (2010).

Após a análise do banco de dados das ondulações de direção Leste-Nordeste (E-NE) que incidiram em Itapoá-SC entre 1996 e 2001, foi verificada a ausência de dados de alta energia (superiores a 8 W/m). Essa ausência se confirma em partes no estudo de Pianca *et al.* (2010), que embora confirmem a incidência de ondulações providas de Nordeste (NE), apresenta estas com alturas médias variando de 1 a 2 metros, e período variando de 6 a 8 segundos, que proporciona um poder de ondas variando de 1,47 a 7,85 W/m aproximadamente. Entretanto, analisando apenas o inverno, o banco de dados sazonal de 1996 até 2001 não indicou nenhuma medida que superasse o poder de 8 W/m. Já Pianca *et al.* (2010), analisando um intervalo temporal maior, obteve, mesmo que com baixa frequência, dados de direção Nordeste (NE) com altura de 2 a 3 metros e período variando de 6 a 8 segundos, que proporcionou um poder de ondas de até 17,66 W/m, já se enquadrando como ondulação de muito alta energia segundo os parâmetros assumidos para esta análise estatística. Dessa forma, é possível concluir que a incidência de ondulações de alta energia na costa de Itapoá-SC do quadrante Nordeste é muito baixa, provavelmente associadas a eventos meteorológicos raros de grande escala, consistindo, portanto, numa anomalia estatística. No geral, as ondulações com influência de Sudeste (SE) apresentam o maior potencial de serem de alta energia, sendo também a direção preferencial das ressacas na região.

Ao analisar as variações sazonais das ondulações de Pianca *et al.* (2010), é possível elencar o inverno como a estação com a maior frequência de incidirem ondulações de alta energia, seguida pelo outono, primavera e verão respectivamente.

Já na mesma análise para o intervalo de 1996 até 2001, a primavera assume como a estação de clima de ondas mais energético, seguida pelo inverno, outono e verão. A única exceção ocorre quando se analisa apenas as ondulações de direção Sul-Sudeste (S-SE), onde a análise apontou a mesma sequência de ordenamento sazonal de Pianca *et al.* (2010) conforme a energia das ondulações.

A análise específica do banco de dados de alta energia (dados com  $P$  superior a 8 W/m) para o intervalo de 1996 até 2001 também apontou a primavera como a estação de maior incidência de ondulações de alta energia. A estação se destaca com as maiores medidas de energia de ondulações, com 6 dados que superaram os 32 W/m, assim como com a maior quantidade de ondulações de alta energia, com um total de 1061 medidas correspondente a 43,37% do total de medidas de alta energia. Já considerando apenas aquelas que ultrapassam os 20 W/m, 75% do total incidiram em Itapoá-SC durante a primavera. Cabe ressaltar que desse último total, 70% dos dados provem da direção Leste-Sudeste (E-SE), interpretada nesta pesquisa como sendo a direção preferencial para as ondulações de alta energia a incidirem nesta porção do litoral sul brasileiro.

Quanto à direção de incidência das ondulações, durante o verão, a primavera e o inverno, as ondulações de Leste (E) predominam sobre as de Leste-Sudeste (E-SE) e Sudeste (SE), só invertendo este padrão no outono. Entretanto, quando se excluem as medidas de energia menor que 8 W/m do banco de dados, percebe-se que a direção preferencial das ondulações muda para Leste-Sudeste (E-SE), seguida pelas ondulações de Sudeste (SE) e por fim de Leste (E). Apesar da direção Leste (E) ser a direção de onde provem a maior parte das ondulações a incidirem em Itapoá-SC com 44% do total de medidas do banco de dados geral vindo dessa direção, 92,8% desse total correspondem a dados de energia inferior a 8 W/m. Em contraste, os dados de direção Leste-Sudeste (E-SE) correspondem a cerca de 30% do total de 17.464 medidas do banco de dados geral. Entretanto, ao analisar apenas o intervalo de maior energia (dados de poder de ondas superior a 8 W/m), do total de 2446 dados, 45,17% correspondem a medidas provenientes da direção Leste-Sudeste (E-SE). Essa direção também compreende os únicos dados a superarem o poder de 28 W/m, com 3 medidas no intervalo de 28 a 32 W/m e outras 6 medidas superando os 32 W/m.

## 5.2. INFLUÊNCIA DE FENÔMENOS CLIMÁTICOS GLOBAIS NO CLIMA DE ONDAS DE ITAPOÁ-SC DE 1996 ATÉ 2001

No geral, enquanto o El Niño consiste no aquecimento anormal do Oceano Pacífico Equatorial, a La Niña é ocasionada pelo resfriamento do Pacífico Equatorial. Ambos são fenômenos que perturbam os padrões de circulação atmosférica, modificando a temperatura, a precipitação e o regime de ventos, que conseqüentemente altera as características do regime de ondas, como o aumento das ondas de tempestades provenientes da direção S e SE no litoral Sul do Brasil (CPTEC/INPE, 1997). Os períodos de ocorrência desses fenômenos climáticos globais no intervalo analisado encontram-se na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1:** Intensidade de fenômenos oceano-atmosféricos El Niño e La referentes ao período de 1996 até 2001 (NCEP/NOAA, 2018).

Fenômenos Climáticos	El Niño (Forte)	La Niña (Forte)	Neutro
Períodos	1997-1998	1998-2000	1996-1997 e 2000-2001

A análise e interpretação do banco de dados sazonal por ano proporcionou resultados coincidentes com o fenômeno El Niño, possibilitando a tomada de conclusões. Nos anos de 1997 e 1998, o NOAA/NCEP indicou a ocorrência de um El Niño muito forte, que, segundo Barsugli *et al.* (1999), foi o mais forte recordado durante todo o século XX. A confirmação do El Niño de 1997-1998 também foi reforçada por Elliott *et al.* (2000), que classificou o evento como um dos intervalos de maior intensidade desde que se tem registro da ocorrência desses fenômenos. A anomalia se manifestou a partir de abril de 1997 até meados de julho de 1998 (Elliott *et al.*, 2000), e afetou diretamente a energia das ondulações de alta energia. Comparando a primavera e o inverno de 1997 e 1998, nota-se que, embora ambas as estações em 1998 apresentarem cerca de 20% mais dados de alta energia que as mesmas estações do ano anterior, os dados atingem um pico máximo de poder de ondulação menor em 1998 do que em 1997, além de a proporção de medidas de muito alta energia (maior que 20 W/m) ser maior no banco de dados de 1997 do que em 1998.

Quanto aos anos onde o NOAA/NCEP indicou a ocorrência do La Niña forte, a análise do banco de dados sazonal apontou certa inconsistência. Entre 1998 e 1999, quando a anomalia referente ao La Niña apresentou seu pico de desenvolvimento (NOAA/NCEP, 2018), as estações do inverno, verão e da primavera apresentaram uma continuidade dos dados provenientes do El Niño do ano anterior, mantendo constante a quantidade de dados referentes à de ondulações de alta energia. Entretanto, mesmo o La Niña se estendendo para o ano seguinte, observou-se uma redução significativa na quantidade de dados de alta energia nas estações, com até 85% de redução na quantidade de dados de alta energia no inverno dos anos 2000 quando comparado com a mesma estação do ano anterior. A influência de fenômenos como o La Niña no regime de ondas do Atlântico Sul para o intervalo temporal analisado não foi conclusiva.

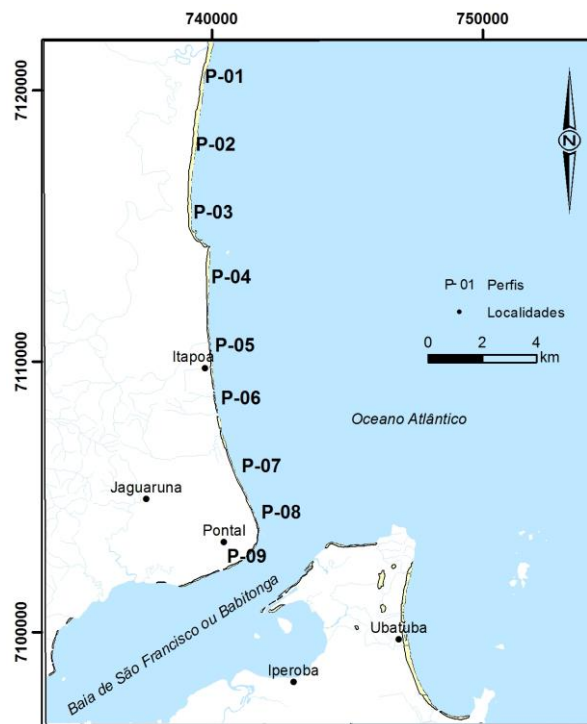
Portanto, nota-se que quando fenômenos do tipo El Niño fortes são seguidos de períodos de La Niña forte, as ondulações perdem um pouco de energia, mas mantém a quantidade de dados de alta energia, mantendo esse padrão em todas as estações do ano. Entretanto, quando os fenômenos de La Niña perdem força, a tendência observada no banco de dados foi a de uma diminuição abrupta da quantidade de dados de alta energia, observada pela redução de quase 85% da quantidade de dados de alta energia do inverno de 1999 para 2000. Essa diminuição se confirma analisando as variações de 1999 e 2000 para o outono e primavera, cujas respectivas reduções da quantidade de dados de alta energia foram de 46% e 37%. Apenas no verão não foi observada essa tendência.

O impacto de variações climáticas provocadas por fenômenos anômalos de escala global nos diversos sistemas costeiros ainda é um tema que precisa de mais esclarecimento para entender os processos de adaptação morfodinâmicos que ocorrem nas praias. Mesmo que a relação de fenômenos de El Niño com o aumento da incidência de ondulações de alta energia na costa tenha sido evidenciada na análise dos dados de maneira conclusiva, quando se instala fenômenos de La Niña, tal relação se torna específica e pouco confiável. Para estabelecer melhores relações das variações sazonais do regime de ondas de Itapoá-SC com fenômenos climáticos globais seria necessário a análise de um intervalo temporal mais amplo, que compreenda mais que apenas um período de instalação de El Niño, associado a

estudos e levantamentos costeiros que busquem quantificar as variações dos parâmetros que compõe a dinâmica costeira local.

### 5.3. INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO SAZONAL DO REGIME DE ONDAS DE ITAPOÁ-SC NOS PROCESSOS MORFODINÂMICOS COSTEIROS

Souza (1999) realizou 63 perfis planialtimétricos costeiros para o período temporal de 1996 até 1998, localizados na costa de Itapoá-SC conforme mostra a Figura 5.1. O processamento dos dados de reanálise de ondas dos períodos específicos do banco de dados geraram resultados que possibilitaram comparações entre a variação sazonal da direção e intensidade energética do regime de ondas de Itapoá-SC com as mudanças na morfologia e balanço sedimentar medidos nos levantamentos planialtimétricos de Souza (1999). As informações a respeito do balanço sedimentar medido por Souza (1999) também foram comparadas com o banco de dados sazonal por ano da incidência de ondulações na região, proporcionando interpretações quanto à variação sazonal das taxas de sedimentação e erosão durante os levantamentos planialtimétricos.



**Figura 5.1:** Figura de Localização dos perfis planialtimétricos de Souza (1999).

Quanto à variação da linha de costa, no geral todos os perfis, exceto o perfil 09, apresentaram recuo da linha no período avaliado. A análise dos resultados de Souza (1999) proporcionou avaliar que os perfis de 01 a 08 apresentam diversas similaridades quanto à variação morfodinâmica influenciada pela incidência de ondulações de alta energia (Tabela 5.2). Já o perfil 09, por estar localizado internamente na baía da Babitonga, apresenta características específicas das condições de sedimentação e erosão, que além de apresentarem poucas semelhanças com os demais, também não apresentam interações com as ondas oceânicas. Dessa forma, os dados e interpretações com relação ao perfil 09 de Souza (1999) serão analisados juntamente com os dados referentes à dinâmica sedimentar da desembocadura da baía da Babitonga no subcapítulo 5.4.

**Tabela 5.2:** Resultados dos levantamentos planialtimétricos de Souza (1999) simplificados para o intervalo de fevereiro a setembro de 1997.

Perfil	Declividade da Face Praial (°)			Vol. de erosão (m <sup>3</sup> ) 19/02/97-04/09/97	Variação da Linha de Costa (m)		Taxas da variação da Linha de Costa (cm/dia)		Saldo do Balanço Sedimentar 1996-1998 (m <sup>3</sup> )
	Fev/97	Jun/97	Set/97		19/02/97 - 03/06/97	03/06/97-04/09/97	19/02/97-03/06/97	03/06/97-04/09/97	
1	2,78	4,49	2,75	-9,04	0,8	-4,3	-0,58	-5,48	-218,23
2	3,26	4,39	4,14	-18	3,8	-0,5	2,69	-4,62	-322,66
3	1,98	5,71	4,21	-26,14	-0,6	-5,8	-0,58	-5,59	-152,85
4	2,21	6,88	2,7	-21,8	-3,4	-7	-5,29	-3,87	-328,36
5	2,3	4,76	2,3	-16,8	-6,4	-13,4	-3,08	-7,53	-373,08
6	1,83	6,62	2,49	-16,21	-4,05	-8,35	-3,89	-4,62	-180,35
7	1,67	7,2	2,79	-12,49	0,55	-2,4	0,43	-3,17	-295,18
8	3,12	6,68	2,93	-2,56	-5,4	-5,3	-0,67	0,11	-10,11

Nos perfis de 01 a 08, nota-se diversas semelhanças na variação dos resultados obtidos no período de fevereiro de 1997 até setembro de 1997. Para todos os perfis, com exceção do perfil 02 e do perfil 08, este intervalo apresentou as maiores taxas de recuo da linha de costa, assim como correspondem aos intervalos com maior déficit de areia no balanço sedimentar. Entretanto, mesmo que os perfis 02 e 08 tenham apresentado maior variação de linha de costa e maior déficit de sedimentos entre agosto de 1996 e fevereiro de 1997, a análise dos valores correspondentes ao intervalo da Tabela 5.2 também é pertinente, visto que ambos mantêm o mesmo padrão dos demais. Quanto a variação das feições morfológicas dos perfis, que por sua vez compreende também a variação da declividade da face praial, o padrão se manteve na análise dos perfis de 01 a 08 quando relacionados ao regime de ondas,

tanto comparado com os períodos específicos antes de cada levantamento, quanto para as variações sazonais do regime no ano de 1997.

A análise do banco de dados de ondas para o período de 10 dias anteriores aos levantamentos de fevereiro, junho e setembro de 1997 apontaram para a incidência de ondulações de energia e direções distintas. Em fevereiro, 6,25% do banco de dados corresponde a dados de energia superior a 8 W/m, todos de direção Leste-Sudeste (E-SE), embora nenhum apresente energia superior a 12 W/m. Em junho, as medidas de alta e muito alta energia foram provenientes das direções Leste-Sudeste (E-SE) e Sudeste (SE). As ondulações de Leste-Sudeste (E-SE), 27,8% do total de dados do intervalo analisado, tem 55% das medidas com energia superior a 16 W/m, com 10 dados atingindo valores maiores que 20 W/m. Já as ondulações provenientes de Sudeste (SE), 64,5% do total, tem quase 60% dos seus dados superando os 8 W/m, embora apenas uma medida supere os 20 W/m. Já em setembro, os resultados indicaram a ausência de dados de alta energia assim como a predominância de ondulações de direção Leste-Sudeste (E-SE). Percebe-se nitidamente a variação da energia das ondulações a incidirem em Itapoá-SC nesse período, cujo levantamento planialtimétrico de junho de 1997 corresponde ao período de maior energia das ondulações nesta análise.

Como consequência desse aumento da energia das ondulações, nota-se na Tabela 5.2 que os perfis de 01 a 08 apresentam aumento significativo da declividade da face praial nesse período, que estava associado também à erosão de feições morfológicas dos perfis praias como cordões de dunas, cúspides, e ao aumento da presença de escarpas nos perfis. Por sua vez, o déficit de areia do intervalo de fevereiro e setembro de 1997 estaria relacionado também à variação sazonal do regime de ondas de Itapoá-SC em 1997, que se destaca por apresentar uma incidência maior de ondulações de alta energia no inverno e na primavera, preferencialmente originadas das direções Sudeste (SE) e Leste-Sudeste (E-SE). Da mesma maneira, o aumento do recuo e das taxas de recuo da linha de costa também foram influenciados pelo aumento da energia das ondulações no inverno e primavera de 1997 quando comparamos com intervalo de fevereiro até junho de 1997, que compreende o fim do verão e todo o outono do período.

Entretanto, contrapondo dados anteriores que apontavam possíveis e prováveis inversões no sentido da corrente de deriva por ondulações de alta energia do quadrante Nordeste, a análise do banco de dados de 1996 até 2001, assim como a análise dos resultados de Pianca *et al.* (2010) apontaram para um sentido único da corrente de deriva. A ausência de ondulações de alta energia de Nordeste (NE) corrobora com interpretações do sentido da corrente de deriva sendo de Sul para Norte na área de estudo. O transporte líquido de sedimentos ao longo da costa de Itapoá-SC depende de diversos agentes, como ondas, marés e correntes (Souza, 1999). Entretanto, a incidência de ondas de direção Leste-Nordeste (E-NE) de energia suficiente para promover o transporte de sedimentos não foi observada na análise geral do banco de dados de ondas da região, e mesmo Pianca *et al.* (2010), analisando um intervalo temporal quase 100% maior, observou poucos dados de alta energia dessa direção. Dessa forma, é possível assumir que no geral as ondulações de direção Nordeste (NE) não apresentam energia suficiente para inverter o sentido da corrente de deriva. Somente durante eventos meteorológicos específicos, não observados no intervalo temporal do banco de dados dessa pesquisa, que as ondulações dessa direção apresentam alta energia (superior a 8 W/m mas nunca superior a 20 W/m). A ocorrência desses eventos não está associada a nenhum padrão cíclico sazonal, e, portanto, não condiciona dado confiável para análise estatística. O sentido preferencial de sul para norte da corrente de deriva na área de estudo é condicionado pela direção preferencial das ondulações de alta e muito alta energia serem provenientes do quadrante Sudeste (SE), e é corroborado pelas correntes de maré vazante da desembocadura da baía da Babitonga, cujo fluxo na desembocadura está direcionado entre as direções Leste (E) e Nordeste (NE), contribuindo para a intensificação da corrente de deriva após as feições deltaicas submarinas.

A análise comparativa coincide com Wright *et al.* (1984) quanto ao baixo tempo de recuperação morfodinâmica das praias quando submetidas a ondulações de maior energia. Após a análise dos perfis do levantamento de junho de 1997, correlacionando suas feições morfológicas e seus balanços sedimentares com a variação da incidência de ondulações em Itapoá-SC no ano de 1997, nota-se que as feições morfológicas das praias tanto emersas quanto submersas têm uma dinâmica rápida, complexa e completa quanto a processos de sedimentação e erosão. Algumas feições

identificadas nos perfis de fevereiro de 1997 já haviam sido completamente erodidas nos levantamentos de junho de 1997, e voltaram a parecer gradualmente na morfologia dos perfis a partir da redução da energia do regime de ondas em setembro de 1997, sendo que algumas feições só voltaram a aparecer em 1998. No geral, devido à baixa frequência de incidência de ondulações de muito alta energia (superiores a 20 W/m) na costa de Itapoá-SC, as feições morfológicas das praias são originadas a partir da interação com ondulações de baixa energia (abaixo de 8 W/m), que por sua vez representam 85,36% de todas as ondulações que incidiram no município catarinense de 1996 até 2001. Tais feições se mantêm constantes nos perfis até incidirem ondulações poderosas na costa, sendo que do total de dados superiores a 8 W/m, 75,87% provém das direções Leste-Sudeste e Sudeste. Estas ondulações apresentam o maior potencial erosivo destrutivo, evidenciado na análise do levantamento planialtimétrico de junho de 1997, que proporcionou os maiores dados de declividade de face praial, assim como o maior recuo de linha de costa e as maiores variações no volume de sedimentos dos perfis 01, 03, 04, 05, 06 e 07 do levantamento de Souza (1999), assim como grandes variações nesses mesmos parâmetros para os perfis 02 e 08. A interação das praias com ondulações de alta energia provoca remoção de areia da parte alta da praia, da berma ou das dunas, e deposita em forma de barras lineares subparalelas à costa na parte submersa da praia. Quando o regime de ondas reduz sua energia, esse processo se inverte, reconstruindo a praia novamente (Wright e Short, 1983). Entretanto, quando esse processo se associa a um déficit de sedimentos na costa, pode causar uma constante erosão e conseqüente transgressão da linha de costa. A discussão sobre o encaixe de Itapoá-SC nessa situação será feita após a análise e interpretação das taxas de erosão costeira com as taxas de assoreamento do canal externo de acesso à baía da Babitonga no subcapítulo final deste item de discussões.

Entende-se, portanto, que um aumento sazonal na frequência das ondas de tempestades, assim como uma variação sazonal da direção de incidência das ondulações tem potencial de provocar desequilíbrio nas dinâmicas costeiras. Na área de estudo, as estações do verão e do outono apresentam baixa incidência de ondulações de alta energia, e a maior parte dos dados são referentes à direção Leste (E). Entretanto, no inverno e na primavera esse padrão muda, aumentando a frequência de incidência de ondulações de maior energia, e mudando a direção de

incidência principal das ondulações de Leste (E) para Leste-Sudeste (E-SE) e Sudeste (SE). Essa variação proporciona um aumento significativo das taxas de erosão e de recuo da linha de costa no inverno e na primavera, quando os perfis apresentavam também maior declividade e menor aparição de feições como bermas e cúspides, sendo pouco desenvolvidas quando presentes. Essa ausência de feições morfológicas pode ser considerada a resposta adaptativa das praias quando expostas a sistemas alta energia com baixa frequência de incidência, que intensificam a corrente de deriva na área de estudo de maneira sazonal e específica relativa a cada incremento na energia das ondulações de sudeste, fazendo com que a praia se adapte a tal variação de energia do regime de ondas. Em épocas de mar calmo, coincidentes com as estações do verão e do outono, as ondulações de baixa energia de Leste prevalecem em quantidade e frequência sobre as ondulações de Leste-Sudeste, Sudeste e Sul, mantendo-se perpendicular à linha de costa de Itapoá-SC, e promovendo o desenvolvimento de feições morfológicas de bermas e cúspides nos perfis, assim como mantém a declividade de face praial com ângulos baixos, no geral menores que  $4^\circ$ . Estas feições são observadas nos perfis morfológicos de 01 a 08 de agosto de 1996 e fevereiro de 1997, quando a incidência de ondulações de alta energia foi baixa. Já em épocas de mar agitado, a maior incidência de ondulações de alta energia originadas de Leste-Sudeste (E-SE) e Sudeste (SE) promove uma adaptação da morfologia costeira a esse sistema de mais alta energia, cuja resposta morfodinâmica pode ser observada nos perfis de 01 a 08 de Souza (1999) para Junho de 1997, quando o levantamento planialtimétrico foi realizado após um evento de ressaca associado à ondulações de tempestade na área de estudo.

As variações da morfodinâmica costeira durante fenômenos climáticos de magnitude global (El Niño e La Niña) foram medidas e interpretadas por Souza (1999), e estão disponíveis na Tabela 5.3. Assim como a análise do regime de ondas nas variações sazonais anuais, as conclusões de Souza (1999) mencionam apenas o El Niño, cujo fenômeno de 1997-1998 intensificaram a incidência de ondulações de alta energia, aumentando significativamente os processos erosivos em Itapoá-SC.

**Tabela 5.3:** Variação da posição da linha de costa e taxas de variação nos perfis em períodos de ocorrência de fenômenos La Niña e El Niño (Souza, 1999).

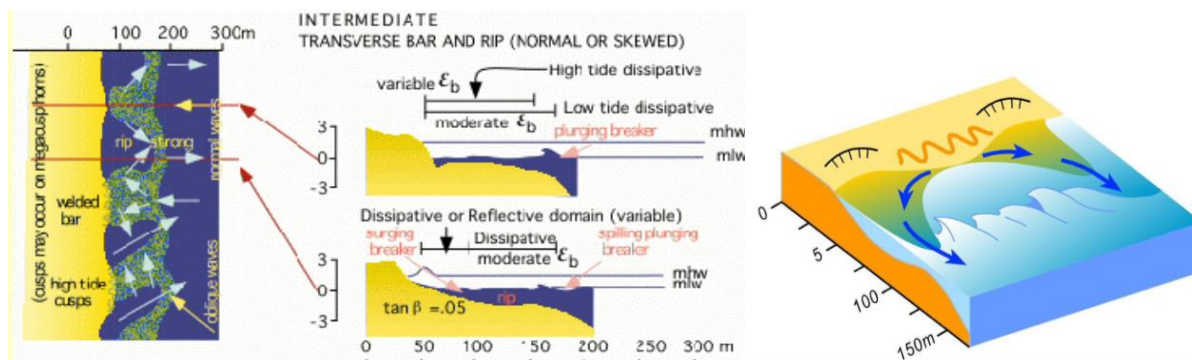
Período	Normal/La Niña 21/08/96 a 19/02/97		El Niño 19/02/97 a 17/03/98		Normal/La Niña 17/03/98 a 18/06/98	
	Variação (m)	Taxa cm/dia	Variação (m)	Taxa cm/dia	Variação (m)	Taxa cm/dia
Perfil 01	1,40	0,77	-6,10	-1,56	-1,00	-1,08
Perfil 02	1,00	0,55	-4,10	-1,05	-0,80	-0,86
Perfil 03	0,00	0,00	-6,20	-1,59	-4,25	-5,38
Perfil 04	2,10	1,15	-4,90	-1,25	-0,65	-0,70
Perfil 05	-3,20	-1,76	-8,40	-2,06	1,15	1,24
Perfil 06	0,00	0,00	-5,50	-1,41	0,10	0,11
Perfil 07	0,10	0,05	-8,65	-2,21	-2,65	-2,85
Perfil 08	-4,70	-2,58	0,20	0,05	1,10	1,18
Perfil 09	1,50	0,82	-0,01*	0,00	-1,00	-1,08
Média	-0,20	-0,11	-4,85	-1,23	-0,97	-1,05

\* Valor interpolado.

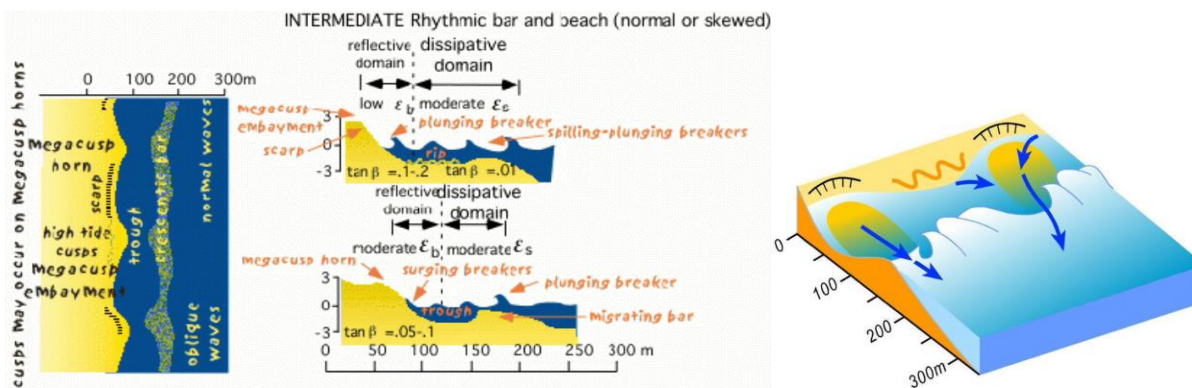
#### 5.4. CLASSIFICAÇÃO MORFODINÂMICA DAS PRAIAS DE ITAPOÁ-SC

A adaptação morfodinâmica observada dos perfis de Souza (1999) ao serem submetidos à um regime de ondas com variação sazonal na frequência de incidência de ondulações de mais alta energia em Itapoá-SC possibilitou uma nova classificação morfodinâmica das praias do município. A comparação sugere que as praias de mar aberto de Itapoá-SC, referentes aos perfis de 01 a 07 de Souza (1999), correspondam a praias de características intermediárias da classificação de Wright *et al.* (1984). Em épocas de mais baixa energia de ondulações (verão e outono), podem ser classificadas como praias Intermediárias de Barra Transversal com Correntes de Refluxo (*Intermediate – Transverse bar and rip*). Nelas, a incidência de ondulações tem características específicas, como altura significativa ( $H_s$ ) de 1 a 1,5 metros, padrão de células de circulação a cada 50 – 150m com a formação de bancos de areia paralelos a linha de costa e correntes de retorno (*rip currents*), composição granulométrica de areia fina a média (Wright *et al.* 1984) (Figura 5.2). Já durante as estações do inverno e da primavera, o aumento da energia do regime de ondas promove uma mudança morfológica nos perfis praias, sendo reclassificadas como praias Intermediárias com Bancos e Praias Rítmicas (*Intermediate - Rhythmic bar and beach*). As características distintivas dessas praias são de serem praias de alta

energia que produzem bancos de areias ondulantes subparalelos a linha de costa (Figura 5.3), de formato mais alongado e esticado, formando feições parecidas com marcas onduladas assimétricas direcionadas conforme o sentido da corrente longitudinal predominante. Estas praias, segundo o modelo de Wright *et al.* (1984), apresentam altura relativa das ondas atingindo 1,5 a 2 metros, formando feições de cúspides com escala e espaçamento maior do que o anterior, sendo a granulometria das praias entre areia fina e média.



**Figura 5.2:** classificação morfodinâmica das praias Barra Transversal com Correntes de Refluxo (*Intermediate – Transverse bar and rip*) de Wright *et al.* (1984) adaptado. (NIWA, 2016)



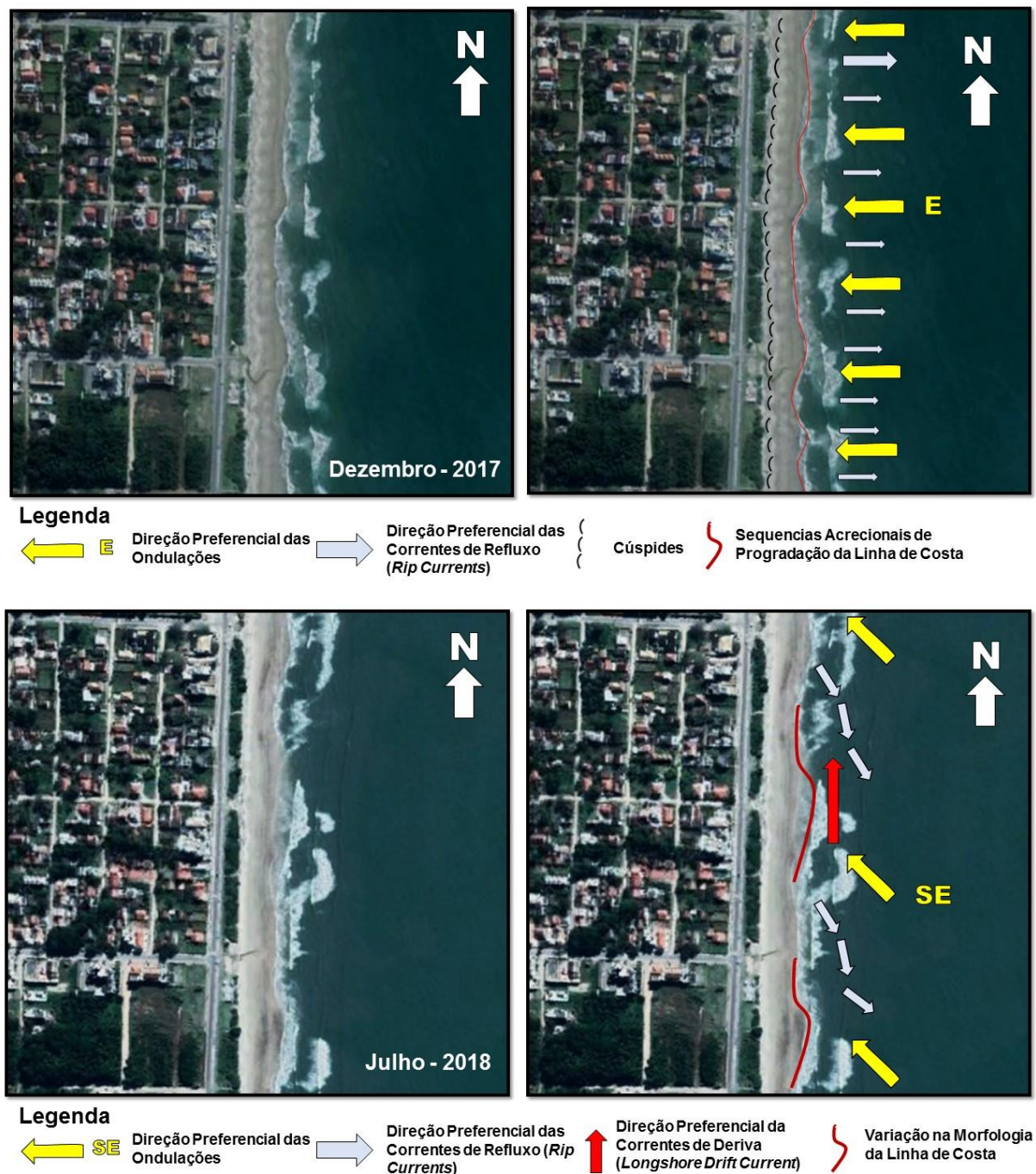
**Figura 5.3:** classificação morfodinâmica das praias Intermediárias de Praias e Barras Rítmicas (*Intermediate - Rhythmic bar and beach*) de Wright *et al.* (1984) adaptado. (NIWA, 2016)

Comparando as características dos modelos com as informações levantadas no capítulo de discussão da susceptibilidade da dinâmica costeira às variações de intensidade e direção de ondulações, é possível traçar diversas semelhanças. Durante o verão e o outono, as ondulações de baixa energia de Leste prevalecem em quantidade e frequência sobre as ondulações de Leste-Sudeste, Sudeste e Sul,

mantendo a morfologia das praias estáveis e desenvolvendo diversas feições morfológicas correspondentes à classificação de praia Intermediária de Barra Transversal com Correntes, como a alta frequência de cúspides rítmicos de menor escala, a alta frequência de canais de correntes de refluxo (*rip currents*), as feições de pós praia bem desenvolvidas com bermas, dunas frontais, escarpas, e mantendo o formato da linha de costa irregular. Essas feições também se relacionam com a maior incidência de ondulações provirem da direção Leste (E) durante as estações do verão e do outono. Ao atingirem a praia, ondulações de Leste (E) apresentam maior perpendicularidade com relação à linha de costa, o que proporciona o desenvolvimento de embaiamentos mais profundos com características refletivas relativos aos canais de refluxo e de seqüências acrecionais quando as barras se juntam a face da praia com características mais dissipativas.

Já durante o inverno e a primavera, a maior incidência de ondulações de alta energia vindas de Leste-Sudeste (E-SE) e Sudeste (SE) provoca a adaptação da morfologia costeira às novas condições energéticas. Tais adaptações consistem da erosão das feições morfológicas de pós praia de bermas, cúspides e dunas frontais, assim como na diminuição da presença de canais de refluxo (*rip currents*) e mudança na feição dos canais remanescentes, que retornam ao oceano numa linha subparalela à incidência das ondulações formando *rip currents* oblíquas e mal definidas, assim como mudanças no formato da linha de costa formando feições rítmicas onduladas assimétricas com repetição periódica na linha de costa. Essas mudanças morfológicas embasaram a classificação das praias de mar aberto de Itapoá-SC como praias Intermediárias de Praias e Barras Rítmicas. Tais adaptações morfodinâmicas estariam relacionadas à dois fatores principais: a maior energia do regime de ondas e a mudança de direção dessas ondulações para sudeste. Essa mudança de direção faz com que a ondulação incida na costa de forma oblíqua, intensificando as correntes de deriva longitudinais paralelas à linha de costa no sentido de propagação das ondulações, que gradualmente modificam o formato da linha de costa e as feições de canais de refluxo e barras arenosas. As cristas das feições onduladas assimétricas da morfologia da linha de costa apontam para a direção da corrente de deriva, e estão associadas ao final da barra e início do canal de refluxo. As adaptações sazonais da morfologia da linha de costa são nítidas ao comparar fotografias aéreas atuais de

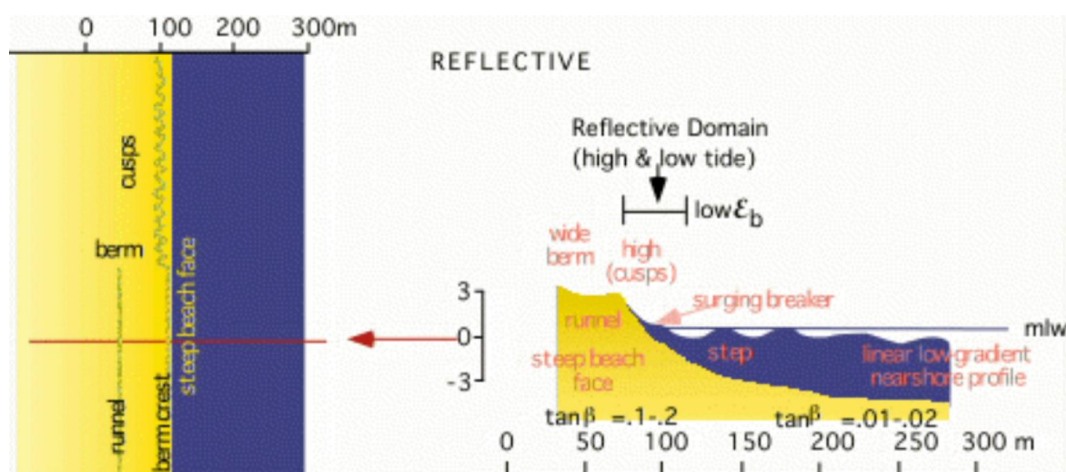
Itapoá-SC de dezembro de 2017 e julho de 2018, respectivamente do verão de 2017 e do inverno de 2018 (Figura 5.4).



**Figura 5.4:** variação morfodinâmica da costa de Itapoá-SC segundo a variação sazonal do regime de ondas da região (Google Earth, 2017 e 2018, adaptado).

As praias internas da baía da Babitonga não apresentam variações significativas na morfologia dos perfis, e foram classificadas no extremo refletivo da classificação de Wright *et al.* (1984) por conta das suas características gerais de

apresentarem alta declividade da face praial com nenhuma variação sazonal ( $6,61^\circ$ ), ausência de correntes de deriva e *rip currents*, o padrão da arrebenção é de ondas pequenas de baixa altura e baixo período, e a morfologia dos perfis costeiros não apresenta a formação de barras (Figura 5.5). Já o perfil 08, localizado no Pontal da Figueira, apresenta características específicas da dinâmica sedimentar, que além de impossibilitarem a classificação morfodinâmica dessa porção da praia, tornaram difícil a relação da variação da sua morfologia com as variações sazonais do regime de ondas da região. O Pontal da Figueira tem sua dinâmica associada principalmente às correntes de maré enchente e vazante da baía da Babitonga, e por conta disso a análise e discussão da dinâmica costeira específica desse setor do litoral será feita no próximo subcapítulo, juntamente com as discussões da influência das atividades de dragagens do canal de acesso à baía da Babitonga na dinâmica sedimentar das praias do município.



**Figura 5.5:** classificação morfodinâmica das praias do Domínio Extremo Refletivo (*Reflective domain extreme*) de Wright et al. (1984) (NIWA, 2016).

Em suma, assume-se que a morfologia das praias de mar aberto de Itapoá-SC está intimamente ligada ao regime de ondas do local. A variação da direção e do poder das ondulações durante o ano promovem o modelamento das praias e o transporte de sedimentos seguindo o sentido da corrente de deriva de sul para norte. As mudanças sazonais na morfologia das praias são decorrentes de processos naturais, mas que somente isso não explica a erosão das praias do município. O déficit de sedimentos nas praias vem ocorrendo desde a década de 90, e variações cíclicas nas condições da dinâmica costeira não sustentam esse constante recuo da linha de costa.

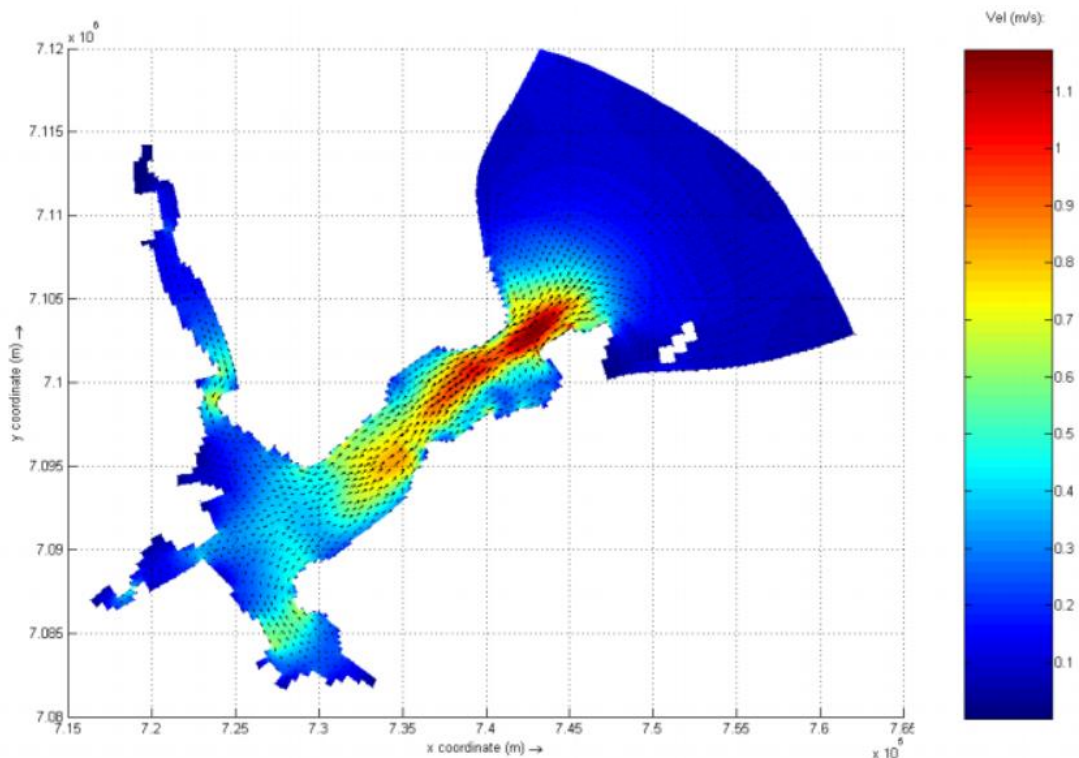
## 5.5 INFLUÊNCIA DAS DRAGAGENS DO CANAL DE ACESSO NA DINÂMICA COSTEIRA DE ITAPOÁ-SC

Na baía da Babitonga, o canal de acesso é dragado periodicamente com objetivo de manter uma profundidade segura para que as navegações acessem os portos no interior da baía. Parte do canal dragado localiza-se no lobo frontal do delta de maré vazante, onde as profundidades naturais, antes da dragagem, eram de 3 a 6 m (DHN 1979), e que atualmente chegam a 16 m de profundidade (INPH, 2015). As atividades de dragagem do canal têm duas finalidades, que tem implicações diretas no volume de sedimento dragado e na periodicidade de cada campanha: campanhas de dragagem periódica para conter o assoreamento do canal; e projetos de aprofundamento do calado do canal de acesso. O primeiro consiste na retirada periódica dos sedimentos que caem dentro do canal, que por se tratar de uma interferência antrópica em ambiente natural, consiste numa atividade rotineira para administrar a profundidade do canal e manter num nível seguro para as embarcações acessarem os terminais portuários da Baía da Babitonga. Obras de manutenção da profundidade do calado envolvem a retirada de cerca de 350,000 m<sup>3</sup> de areia do canal externo, à exemplo a campanha de dragagem de 2013 (APSFS, 2013). Já o segundo consiste em projetos de maior escala, que buscam o aprofundamento da profundidade do canal para aumentar a capacidade dos portos de receber grandes embarcações. O último projeto de aprofundamento, realizado em 2015, retirou 15.382.972,00 m<sup>3</sup> de sedimentos do canal, tornando a profundidade do canal externo no valor atual de 16 metros.

Entretanto, estudos da sedimentação da baía não apontaram para qualquer influência direta das campanhas de dragagens e de projetos de aprofundamento do canal na dinâmica costeira de Itapoá-SC (INPH, 2015). O modelo matemático desenvolvido para simular o transporte sedimentar pelas correntes de enchente e vazante aponta para o afunilamento e direcionamento das correntes de maré vazante da baía após a instalação do projeto de aprofundamento do canal. As correntes já apresentavam pico de velocidade na desembocadura antes do aprofundamento do canal, mas após a obra, as correntes passaram a fluir por um canal reduzido, aumentando sua velocidade e retificando sua direção preferencial de fluxo pelo canal. Entretanto, a maneira como isso influencia os processos costeiros de Itapoá-SC foi

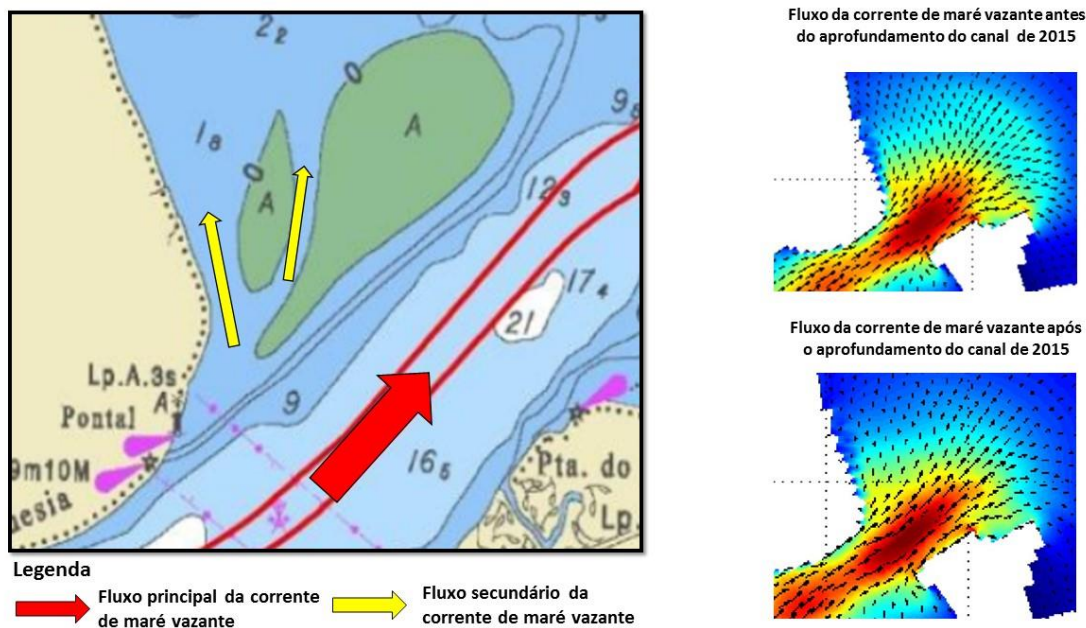
pouco aprofundada pelo INPH, que desconsiderou a rápida dinâmica de adaptação desses ambientes quando desequilibrados. O comportamento anormal do perfil 08 de Souza (1999), localizado na Ponta da Figueira, feição limite da desembocadura, pode ter relação com as obras de aprofundamento do canal de acesso à baía da Babitonga.

Praias associadas às desembocaduras estuarinas neste setor da costa brasileira são muito instáveis, podendo apresentar variações da linha de costa da ordem de centenas a milhares de metros (Angulo, 1993). Por sua vez, as variações na morfologia da costa verificadas neste setor foram relacionadas principalmente as mudanças naturais na configuração das barras e canais do delta de maré vazante, que ocorre associado à desembocadura da baía (Souza e Angulo, 2003). Percebe-se que, com exceção do perfil 09 interno à baía, o perfil 08 compreende a porção externa da costa do município que menos sofre influência com as variações sazonais do regime de ondas. Sua dinâmica costeira deve-se essencialmente às variações das correntes de marés e do aporte sedimentar provindo da baía da Babitonga (Figura 5.6). A intensificação dessas correntes a partir do aprofundamento do calado do canal interfere diretamente na dinâmica costeira local desse ponto da costa.



**Figura 5.6:** Campo de correntes na maré vazante na situação pós execução do projeto de aprofundamento do canal (INPH, 2015).

As obras de aprofundamento do canal de acesso podem estar alterando a posição das feições deltaicas submarinas de canais distributários e barras de desembocadura, alterando a distribuição dos sedimentos na desembocadura. O aumento da velocidade da corrente de maré vazante condicionado a uma calha mais estreita aumenta a pressão dirigida do fluxo da corrente, mantendo os sedimentos em suspensão por mais tempo após a desembocadura. Diminuindo a área por onde escoar o fluido, aumenta-se a velocidade, assim como a capacidade de transporte de sedimentos dessa corrente. Da mesma forma, por acúmulo de inércia, esse fluxo tende a permanecer unidirecional até perder energia, o que aconteceria numa distância um pouco maior da linha de costa de Itapoá-Sc. Como consequência, as barras feições deltaicas mais suscetíveis poderiam se deslocar para se adaptar às novas condições do meio, que por sua vez poderia afetar os canais distributários e as barras de desembocadura do delta. Isso poderia justificar as maiores taxas de erosão dos perfis de Souza (1999), Cruz (2010), Ligeski (2016) e Gineste (2018) localizados entre a Ponta da Figueira e a Ponta do Areião. O comportamento anômalo do perfil 08 de Souza (1999) também poderia estar relacionado com o deslocamento de feições da desembocadura, sendo causado por uma aproximação de alguma barra de desembocadura na praia, ou pelo deslocamento mar adentro do canal distributário mais próximo da linha de costa. Esses canais podem ser observados no detalhe da batimetria da desembocadura do canal e a situação antes e depois da instalação do projeto de aprofundamento do canal foi comparada na Figura 5.7 (INPH, 2015). Para confirmar essa tese, entretanto, seriam necessários levantamentos planialtimétricos específicos nos perfis adjacentes à desembocadura em períodos específicos de monitoramento. Estes devem compreender monitoramento periódico após a realização de alguma obra grande de aprofundamento do canal, além de batimetrias da desembocadura a fim de verificar a variação das feições submarinas com o aprofundamento do canal. Portanto, novos estudos devem ser feitos na desembocadura da baía a fim de definir quais parâmetros costeiros atuam na morfodinâmica específica deste ponto da costa de Itapoá-SC.



**Figura 5.7:** Detalhe da batimetria da desembocadura da baía da Babitonga, destacando canais secundários das correntes de maré situados na feição deltaica submarina comparados com o modelamento matemático das correntes de maré vazante da baía da Babitonga (INPH, 2015 adaptado).

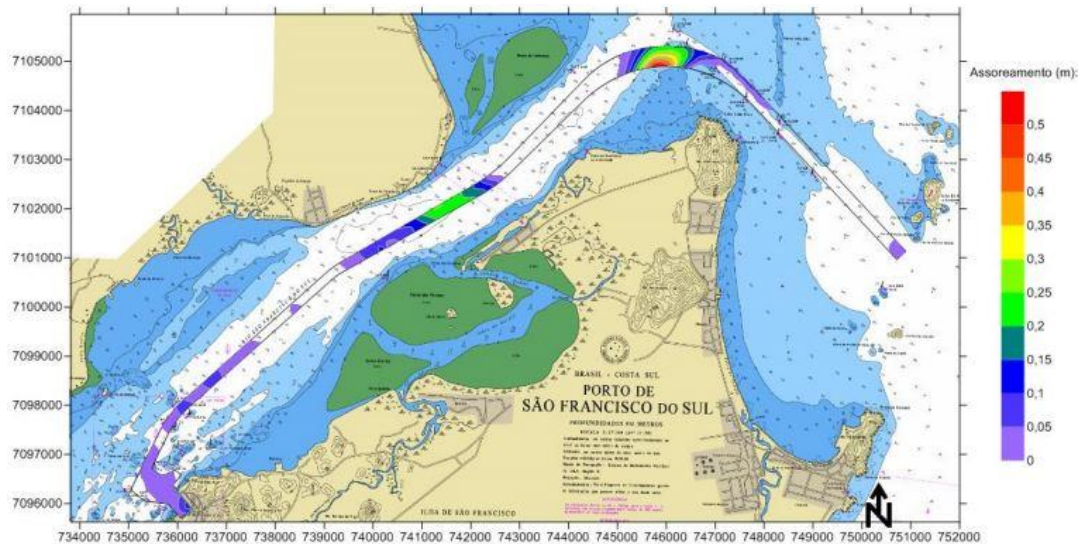
Já as campanhas periódicas de dragagem, utilizadas para conter o assoreamento e manter a profundidade mínima de segurança do calado, podem ter relações diretas com o déficit de sedimentos que está causando a erosão ininterrupta das praias de Itapoá-SC. A dinâmica costeira de Itapoá-SC varia sazonalmente conforme o regime de ondas intensifica sua energia nas estações do inverno e da primavera, e as ameniza durante o verão e o outono. Essas variações promovem alterações na morfologia da costa, que assumem padrões mais refletivos ou dissipativos conforme acontecem. Entretanto, numa situação de equilíbrio do ambiente costeiro seria esperado que o saldo total do balanço sedimentar dos levantamentos planialtimétricos fosse próximo a zero, mesmo que variando as taxas de erosão e sedimentação conforme varia o ano, sendo que essa situação não acontece em Itapoá-SC (Ligeski, 2016). Ligiski (2016) apontou o déficit de sedimentos como sendo o principal agente causador da erosão costeira de Itapoá-SC, sendo o aporte sedimentar insuficiente para manter a estabilidade da linha de costa do município. Para justificar, Ligiski (2016) aponta que o litoral de Itapoá-SC apresenta processos erosivos, mesmo que em diferentes escalas, tanto em condições meteorológicas normais, como no trabalho de Cruz (2010), quanto em condições

anômalas sob influência de fenômenos climáticos globais (La Niña e El Niño), como é o caso de Souza (1999).

Já com relação aos processos de dragagem, que entre 1979 até 1991 retiraram um total de 2.234.057 m<sup>3</sup> do canal (INPH, 2015), entre 1996 e 2002, a perda de sedimentos em Itapoá-SC foi estimada por Souza (1999) próximo a 100.000 metros cúbicos de sedimentos por ano, que provocou um recuo de 2,3 metros na linha de costa. Angulo (2006) relaciona as atividades de dragagem dos canais de acesso aos portos da região sul do Brasil à intensificação dos processos erosivos nas praias desse ambiente costeiro. Para o autor, os sedimentos transportados pela corrente de deriva e pelas ondulações que atingem a costa são trapeados no canal. Conforme são dragados e retirados do sistema costeiro, essa situação cria um *déficit* de sedimentos que alimentam as praias e o resto do sistema costeiro, e causa a diminuição dos deltas e das linhas de costa por erosão. Angulo (2006) ainda ressalta que este processo pode ter diferentes escalas de intensidade e tempo de atuação, dependendo de quão dependente forem os deltas e as planícies costeiras à sedimentação via corrente de deriva e ondulações.

Relacionando as conclusões de Ligeski (2016) com os resultados deste trabalho, observa-se que, embora o regime de ondas varie constantemente na área de estudo, esta variação é natural, e sua interação com o sistema costeiro deveria se manter em equilíbrio numa situação normalizada. Entretanto, independente da ondulação que incide na costa e da intensidade, no geral a linha de costa ainda está recuando e a costa sendo erodida. As causas desse desequilíbrio não podem apenas ser variações naturais da dinâmica costeira, pois acompanhariam algum padrão periódico. As taxas de assoreamento do canal externo apresentam valor muito parecido com as taxas de erosão costeira estimadas por Souza (1999), Cruz (2010), Ligeski (2016) e, atualmente, mantiveram-se constantes nos levantamentos de Gineste (2018), variando entre 100.000 a 120.000 m<sup>3</sup> de areia por ano erodidos na linha de costa de Itapoá-SC desde que começaram as medições na década de 1990. A Figura 5.8 ilustra o assoreamento verificado com o emprego da modelagem matemática para a situação de projeto (INPH, 2015). A batimetria realizada pela empresa DTA (2015) proporcionou a interpretação de nítidas feições provocadas por clara remobilização de sedimentos arenosos de fundo, que adentram o canal atual de 16m, assoreando-o e deixando-o com profundidades que podem chegar aos 13m,

fruto de intenso processo hidrodinâmico na área (INPH, 2015). Nota-se que a diferença mais marcante com relação à distribuição na deposição dos sedimentos se deu na curva do canal externo. Os valores de assoreamento do canal externo e interno estão dispostos na Tabela 5.3.



**Figura 5.8:** Assoreamento determinado ao longo do canal de navegação na situação de projeto através da modelagem matemática (INPH, 2015).

**Tabela 5.3:** Valores de assoreamento determinados a partir das análises das três batimetrias, e as estimativas de assoreamento anual para o canal externo. (INPH, 2015).

Canal Externo (cota -16)		
Período	Assoreamento total (m <sup>3</sup> )	Estimativa anual (m <sup>3</sup> )
2012-2013 (15 meses)	248.929,92	199.143,94
2013-2015 (21 meses)	526.498,05	300.856,75
2012-2015 (36 meses)	775.427,97	258.475,99

Observa-se que a curva do canal externo condiciona uma armadilha física para os sedimentos transportados pela corrente de deriva, interpretada pelas feições progradantes de assoreamento. Nota-se, entretanto, que os valores da taxa anual de assoreamento são relativamente maiores que o déficit de sedimentos no litoral de Itapoá-SC. O aumento do volume de assoreamento está condicionado não apenas ao aporte sedimentar da corrente de deriva, mas também aos sedimentos provindos do interior da baía, e que são transportados para as feições deltaicas pelas correntes de maré vazante da desembocadura. Tais correntes estão cada vez mais intensas e com fluxo cada vez mais direcionado na calha do canal, sendo a curva do canal a primeira feição submarina que impede o fluxo unidirecional das correntes de vazante. Ao atingi-

la, o fluxo perde energia e deposita o sedimento mais grosso, assoreando o canal externo e formando as feições progradantes da Figura 5.8. Por sua vez, os sedimentos da deriva acabam trapeados pela mesma armadilha na curva do canal externo. Como consequência, durante o inverno e a primavera, quando a corrente de deriva é intensificada pela incidência de ondulações de alta energia na costa de Itapoá-SC, nota-se o aumento das taxas de erosão nos levantamentos planialtimétricos pelo incremento de energia na corrente de deriva. Esse incremento de energia seria acompanhado de um aumento na taxa de transporte de sedimentos da corrente antes de atingir a costa oceânica de Itapoá-SC. Entretanto, o sedimento acaba sendo depositado antes, na calha do canal, fazendo com que a corrente de deriva atinja a costa insaturada de sedimentos, promovendo o aumento da erosão das praias do município.

Conclui-se, portanto, que a interferência antrópica na construção e posterior aprofundamento do canal que dá acesso ao interior da baía da Babitonga condiciona o principal agente que impede os sedimentos da deriva natural a chegarem às praias oceânicas de Itapoá-SC, causando o déficit de sedimentos observado nos levantamentos planialtimétricos realizados desde 1996 até a atualidade na área de estudo. Esta armadilha faz com que a corrente de deriva atinja a costa à norte da desembocadura da baía da Babitonga insaturada de sedimentos, o que gera a remobilização de sedimentos e erosão das feições costeiras. Nota-se, por fim, que a intensificação da corrente de deriva como consequência da incidência de ondulações de alta energia providas do quadrante Sudeste (SE) proporciona uma situação dúbia com relação à saturação de sedimentos. Quando saturada, a deriva também intensifica processos morfodinâmicos costeiros, mas a taxa de erosão é baixa devido à capacidade de transporte de sedimentos por esse fluido já estar no limite. Como consequência, o potencial dessa corrente de promover a manutenção da linha de costa é maior. Por outro lado, quando insaturada, a deriva apresenta maior energia disponível para movimentar e transportar sedimentos, que serão captados na linha de costa intensificando processos de erosão. Este processo causa um déficit de sedimentos regressivo nas praias de Itapoá-SC, sendo que as porções das praias mais próximas ao canal e à desembocadura apresentam um déficit de sedimentos maior que o das praias no limite norte do município. Isso se dá pela própria corrente

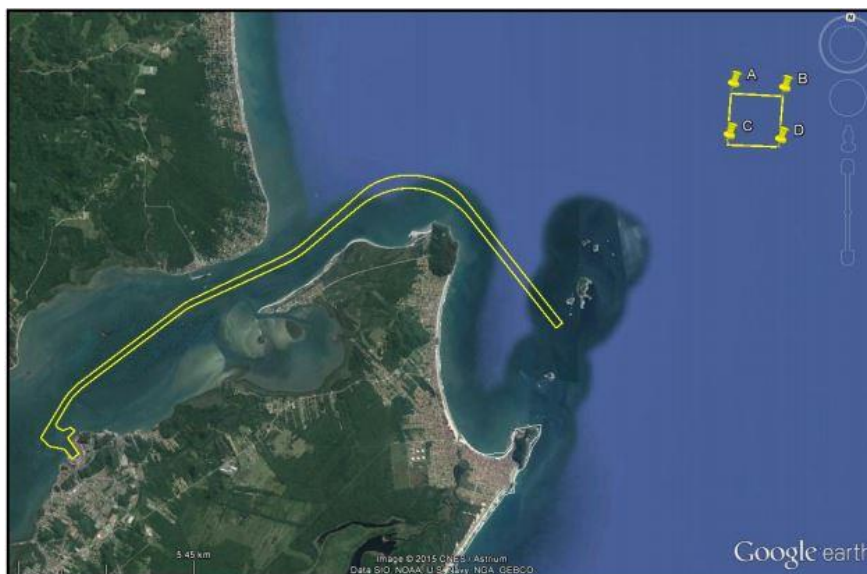
de deriva atingir as praias do norte mais saturada de sedimentos, mantendo as taxas de erosão e deposição mais próximas do equilíbrio morfodinâmico.

## **6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Na situação de Itapoá, os sedimentos transportados pela corrente de deriva e pelas ondulações que atingem a costa são trapeados no canal, e conforme são dragados e retirados do sistema costeiro, criam um déficit de sedimentos em todo o sistema costeiro. Em contraste, os projetos de aprofundamento do canal de acesso aos portos da baía da Babitonga criaram outro passivo ambiental erosivo com relação às praias cujo aporte sedimentar provem das correntes de maré vazante da baía. A retificação e aprofundamento do canal modifica a maneira com que o canal principal alimenta os canais distributários das feições deltaicas submarinas, diminuindo significativamente o aporte sedimentar desses canais, e possivelmente deslocando-os mar adentro. Praias associadas às desembocaduras estuarinas neste setor da costa brasileira são muito instáveis, podendo apresentar variações da linha de costa da ordem de centenas a milhares de metros (Angulo, 1993). Portanto, alterações na disposição das morfologias associadas ao sistema deltaico da desembocadura da baía da Babitonga provocadas por atividades de dragagens no canal de acesso podem estar criando um déficit de sedimentos que alimentam as praias à norte, contribuindo para o recuo da linha de costa por erosão. Essas alterações proporcionam mudanças muito rápidas na disposição dos canais e barras de desembocadura, cuja relação com o Pontal da Figueira pode ser a causa do comportamento anômalo do perfil 08 de Souza (1999).

Por sua vez, a Administração do Porto de São Francisco do Sul já apresenta um local licenciado para o bota fora dos sedimentos dragados nas campanhas de dragagem, mas que destinam esse sedimento para fora do sistema costeiro, como mostra a Figura 6.1. Em contraste, Souza e Angulo (2003) propõe que estes sedimentos dragados sejam destinados à locais dentro do sistema costeiro ao invés dos locais de despejo na plataforma, sendo captados e dispersos pela corrente de deriva e pelas ondulações durante as estações mais energéticas, nutrindo todo o

sistema costeiro e mantendo-o equilibrado em projetos que são denominados Projetos de Engorda de Praia.



**Figura 6.1:** Localização das áreas de despejo delimitado pelos pontos A, B, C e D em relação ao canal de acesso (INPH, 2015).

Nessa pauta, um dos projetos de engorda de praia mais inovadores no mundo sob o ponto de vista tecnológico e científico é o projeto de *bypassing* de areia aplicado na desembocadura do Rio *Tweed*, ao sul do município de *Gold Coast (Australia)* denominado *Tweed River Entrance Sand Bypassing Project*. A problemática relacionada à erosão costeira da *Gold Coast (Aus)* apresenta nítidas similaridades com o passivo ambiental de *Itapoá-SC*, sendo que em ambos os casos a maior causa de erosão se relaciona com a intervenção antrópica no sistema costeiro, que barrou a corrente de deriva e força a sedimentação do seu aporte sedimentar, promovendo um déficit de sedimentos no sentido da corrente. Na *Gold Coast (Aus)*, a situação tinha causas diferentes, embora produzisse o mesmo problema geral. A solução encontrada pelo governo australiano considera todas as variáveis presentes no contexto local, e utiliza da energia das ondulações e das variações sazonais da energia dessas ondulações para planejar e organizar as campanhas de dragagem, que tem o objetivo de fazer a manutenção da linha de costa nas praias do município durante as estações de maior energia do regime de ondas. Nesses períodos são despejados nas praias volumes grandes de sedimento nos pontos críticos de erosão de cada praia. Com a incidência de ondulações poderosas, a deriva capta esses sedimentos e promove a

manutenção de toda a linha de costa da porção sul do município, mantendo o aporte sedimentar para até 7 km dos locais de despejo dos sedimentos dragados (TRESBP, 1997).

Concomitantemente com esses projetos de monitoramento e de dragagens sazonais, o TRESBP ainda engloba uma draga fixa de bypassing de areia alojada diretamente onde a corrente de deriva é barrada e deposita seus sedimentos. Diariamente durante a madrugada essa draga é ligada, captando a quantidade de sedimentos que a corrente de deriva teria transportado naquele dia e despejando na primeira praia a norte da desembocadura do rio Tweed. A combinação das dragas móveis com o monitoramento periódico das praias da cidade de Gold Coast (Aus), somada com essa draga fixa, compõe o TRESBP.

Quanto à quantificação do volume de sedimentos erodido na costa de Itapoá-SC anualmente, os valores estimados por Souza (1999), Cruz (2010), Ligeski (2016) e mais atualmente por Gineste (2018) variam pouco, na casa dos 100.000 até os 120.000 m<sup>3</sup> por ano, sendo muito próximos das taxas de assoreamento estimadas para o canal externo. Dessa forma, seguindo as recomendações de Souza e Angulo (2003), seria possível diminuir consideravelmente os problemas costeiros relacionados à erosão escolhendo locais melhores para o bota fora dos sedimentos dragados no canal externo da desembocadura da baía da Babitonga. Esses sedimentos, se alocados após as feições deltaicas, seriam captados novamente pela corrente de deriva fazendo a manutenção de toda a faixa litorânea à norte.

Entretanto, as praias cuja sedimentação é controlada pelo aporte sedimentar dos canais distributários do delta de maré vazante da baía da Babitonga não seriam afetadas pela simples escolha de um novo bota fora para os sedimentos das dragagens. Estas praias se encontram protegidas das ondulações de maior energia pelas feições submarinas do delta assim como pela ilha de São Francisco do Sul. Entretanto, as discussões presentes neste trabalho necessitam de mais amparo de dados para poder representar com precisão a realidade da morfodinâmica nesse setor da costa do município. Para definir propostas de remediação para as praias de desembocadura de Itapoá-SC é preciso, primeiramente, entender, as relações diretas e indiretas das atividades de dragagem na dinâmica costeira desses setores da costa.

Apenas soluções que contemplem a complexidade do contexto local deveriam ser consideradas para que seja desenvolvida uma solução eficiente a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

ALBINO, J. Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES. Tese de doutoramento. Programa de Pós Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências USP. 1999.

ANGULO, R. J. 1992. Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná. São Paulo, Inst. Geoc. Univ. S. Paulo. Tese de Doutorado (inéd.). 334p.

ANGULO, R. J. 1993. Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas. Boletim Paranaense Geociências, Curitiba, 41:52-72.

ANGULO, R. J. 1995. Caracterização e reavaliação da Formação Alexandra (Terciário) e de sedimentos continentais associados a vertentes no litoral do Estado do Paraná, Brasil. Anais Acad. Bras. Ciên. Rio de Janeiro.67(4):443-463.

ANGULO, R. J.; SOUZA M. C. de; LAMOUR M. R. 2002. Efeito das dragagens nos canais de acesso aos portos de Paranaguá e São Francisco no transporte de sedimentos nas praias e deltas de maré do litoral paranaense e norte catarinense. In: Simpósio Brasileiro de Oceanografia, Instituto Oceanográfico da USP, São Paulo, CD Rom.

APSFS – ADMINISTRAÇÃO DO PORTO DE SÃO FRANCISCO DO SUL, 2018. <http://www1.apsfs.sc.gov.br> acessado em 26/05/2018.

BARSUGLI, J. J., J. S. WHITAKER, A. F. LOUGHE, P. D. SARDESHMUKH, Z. TOTH, 1999. Effect of the 1997–98 El Niño on individual large-scale weather events, Bull. Am. Meteorolog. Soc., 80, 1399 – 1412.

BASEI, M.S.A.; SIGA JR., O.; MACHIAVELLI, A.; MANCINI, F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). Rev. Brasileira de Geociências, 22(2):216-221

BIGARELLA, J.J.; MARQUES Fo, P.L.; AB'SABER, A.N. 1961. Ocorrência de pedimentos nas fraldas da Serra do Iquererim (Garuva, SC). Bol. Par. Geogr. Curitiba, 4 e 5:82-93.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D. (eds.) 1975. International symposium on the Quaternary. Topics for discussion. Bol. Par. Geoc., Curitiba, 33:169-276.

BOOIJ, N. and L.H. HOLTHUIJSEN, 1987: Propagation of ocean waves in discrete spectral wave models. *J. Comput. Phys.*, **68**, 307-326.

CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. A. M.; KLEIN, A. H. F. 1996. Erosão associada a marés meteorológicas na costa sul-riograndense (CODEMIR/OSNLR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Anais... Salvador, SBG, IV:430-434

CASTRO, B. M; MIRANDA L. B. 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4°N and 34°S - Coastal segment (4,W). In: ROBINSON A. R.; BRINK K. H. (Ed.). *The Sea*. New York: J. Wiley & Sons, v. 11, p. 209-251.

CHALIKOV, D.V. and BELEVICH, M.Y., 1993: One-dimensional theory of the boundary layer. *Boundary-Layer Meteor.*, 63, 65-96.

CRUZ, C. R., 2010, Variação da linha de costa e do balanço sedimentar das praias do município de Itapoá, Santa Catarina, Brasil. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, UFPR, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 160 p.

DAVIS Jr, R. A. *Coastal Sedimentary Environments*. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1985.

DEAN, R. G., 2003, *Beach Nourishment Theory and Practice*, chapter of *Advanced Series on Ocean Engineering: Volume 18*. University of Florida, USA.

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação. 1979, 1994, 2016 Carta Náutica no 1804, Porto de São Francisco.

DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1995. Tábuas das marés, Porto de São Francisco do Sul para 1996. 33ª edição. Rio de Janeiro. Marinha do Brasil. p. 141-143.

DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1996. Tábuas das marés, Porto de São Francisco do Sul para 1997. 34ª edição. Rio de Janeiro. Marinha do Brasil. p. 141-143.

DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1997. Tábuas das marés, Porto de São Francisco do Sul para 1998. 35ª edição. Rio de Janeiro. Marinha do Brasil. p. 141-143.

ELLIOTT, J.R., S.P. JEWSON, and R.T. SUTTON, 2000: *The Impact of the 1997/98 El Niño Event on the Atlantic Ocean*. Centre for Global Atmospheric Modelling, Department of Meteorology, University of Reading, Reading, United Kingdom Publicado no *Journal of Climate*, Vol. 14, p. 1069–1077.

GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface cyclogenesis over South America. American Meteorological Society, 1991. v. 119, p. 1293-1302.

HORN Fº, N.O. 1997. O Quaternário costeiro da Ilha de São Francisco do Sul e arredores, Nordeste do Estado de Santa Catarina – aspectos geológicos, evolutivos e ambientais. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Tese de Doutorado. 312p.

INPH - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS. 2015. Estudo de Sedimentação no Canal de Acesso ao Complexo Portuário de São Francisco do Sul-SC, INPH, São Francisco do Sul-SC, 92 p.

KLEIN A. H. F., MENEZES J. T., DIEHL F. L., ABREU J. G. N., POLETTE M., SPERB R. M., SPERB R. C. 2012. Erosão e progradação do litoral brasileiro – Estado de Santa Catarina. 401-412.

KOMAR, P. D., 1998. Beach processes and sedimentation. Second edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 544 p.

LEÃO, C. 2005 Variação Espacial e Temporal das Cúspides da Praia de Camburi, Vitória - ES. Graduação em Oceanografia. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo. 60 p.

LECOST – LABORATÓRIO DE ESTUDOS COSTEIROS, 2002. Diagnóstico sobre os problemas de erosão costeira no município de Itapoá, litoral norte do estado de Santa Catarina. Laudo técnico solicitado pela prefeitura do município de Itapoá/SC ao setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. 19 p.

LIGESKI, M. L. M. 2016. Quantificação da erosão costeira e balanço sedimentar das praias do município de Itapoá-SC. Trabalho de conclusão de curso. Graduação em Geologia, departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, trabalho de conclusão de curso, 46 p.

LIMA, M.R. de; ANGULO, R.J. 1990. Descoberta de microflora em um nível linhítico da Formação Alexandra, Terciário do Estado do Paraná, Brasil. Anais Acad. Bras. Ciên., Rio de Janeiro.

LUO S., LIU Y., JIN R., ZHANG J., WEI W., 2016: A guide to coastal management: Benefits and lessons learned of beach nourishment practices in China over the past two decades. *Ocean & Coastal Management*, 134:207-215.

MARONE, E.; CAMARGO, R. 1994. Marés meteorológicas no litoral do estado do Paraná. O evento de 18 de agosto de 1993. *Nerítica*, 8(1-2):73-85.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L; SUGUIO, K.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; FLEXOR, J.M. 1983: Schéma de la sédimentation quaternaire sur la partie centrale du littoral brésilien. *Cahier ORSTOM, Sér. Geól. Paris*. XIII(1):59-81

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. 1988. Mapa geológico do Quaternário costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina. *Série Geol. DNPM. Brasília*, n.28. 40p. 2 mapas.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da (orgs). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos (capítulo 6)*. Bertrand Brasil, RJ. p.253-308. 2001.

NCEP – NATIONAL CENTER FOR ENVIRONMENTAL PREDICTIONS, 1999, SIGNIFICANT CHANGES FROM LAST BULLETIN ON THIS SUBJECT, Series No. 453, <http://www.ncep.noaa.gov/> acessado em novembro de 2018.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. 2nd ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421p.

NIWA – NATIONAL INSTITUTE OF WATER AND ATMOSPHERIC RESEARCH (NEW ZEALAND), 2016, Electronic publishing at NIWA's website. Disponível em: <https://www.niwa.co.nz/coasts-and-oceans/nz-coast/learn-about-coastal-environments/beach-types>, acessado em novembro de 2018.

NWS - NATIONAL WEATHER SERVICE – USA, 2018. Site do projeto Americano NCEP/NOAA WAVEWATCH III CFSR Reanalysis Hindcasts. [http://polar.ncep.noaa.gov/waves/CFSR\\_hindcast.shtml](http://polar.ncep.noaa.gov/waves/CFSR_hindcast.shtml) acessado em junho de 2018.

ORSELLI, J., 1986. Climatologia. In: GAPLAN-SC. Atlas de Santa Catarina, p. 38-39.

QUADROS C. J. L., MARONE E., ANGULO R. J., MARTINS G. J., NETTO JR. J. P. B., 2007, Dinâmica morfosedimentar associada à incidência de sistemas frontais em duas praias do litoral paranaense. Universidade Federal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Pontal do Sul (PR). Boletim Paranaense de Geociências, n. 60-61, p. 65-74.

RODRIGUES, A. M. T., ZIMMERMANN, C. E., BRANCO, E. J., RIBEIRO, G. C., BRANCO, J. O., KUROSHIMA, K. N., CLEZAR, L., BRUTTO, L. F., PEREIRA, M. T., CREMER, M. J., SOUZA FILHO, M. A. C., SILVA, M. H., TOGNELLA, M. M. P., ALVES, S. & BELLOTO, V. R., 1998. Proteção e controle de ecossistemas costeiros: manguezal da Baía de Babitonga. Brasília, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

SALTER, S. H. 1974. Wave power. *Nature*, 249(5459), 720-724.

SHORT, A.D. 1979. Three dimensional beach stage model. *Journal of Geology*. 87:553-571.

SIGA Jr., O; BASEI, M.A.S.; MACHIAVELLI, A. 1993. Evolução geotectônica da porção NE de Santa Catarina e SE do Paraná, com base em interpretações geocronológicas. *Rev. Bras. Geociências*. 23(3):215-223.

SOUZA, M.C. 1999. Mapeamento da planície costeira e morfologia e dinâmica das praias do Município de Itapoá, Estado de Santa Catarina: subsídios à ocupação.

Curso de PósGraduação em Geologia Ambiental, Departamento de Geologia, UFPR, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 196 p.

SOUZA, M. C. & ANGULO, R. J. 2003. Decadal and interannual variations of coastline and beach volumes in Itapoá (Santa Catarina, Brazil). *Journal of Coastal Research*, Florida, v.17.

STECH, J. L. 1990. Um estudo comparativo da dinâmica da circulação de inverno entre as plataformas continentais das costas sudeste do Brasil e dos Estados Unidos utilizando um modelo numérico. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.

STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. 1992. Response of the South Brazil Bight to the passage of Wintertime cold fronts. *J. geophys. Res.*, v. 97(C6), p. 9507-9520.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. de. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo, 5(4):273-286.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. 1987. Classificação de costas e evolução geológica das planícies litorâneas quaternárias do sudeste e sul do Brasil. In: Simpósio sobre ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira, 1, Cananéia. *Anais... Academia de Ciências do Estado de São Paulo*, São Paulo, 2:1-28.

TOLMAN, H.L. and D. CHALIKOV, 1996: Source terms in a third-generation wind-wave model. *J. Phys. Oceanogr.*, 26, 2497-2518.

TOLMAN, H. L., 1999: User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / Technical Note 166, 110 pp.

TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A.; DILLENBURG, S.R.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A. 1996. A erosão costeira no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Salvador. *Anais... Salvador, SBG*, IV:435-438. GOBBI, E.F. 1997. Gerenciamento costeiro: análise de casos do litoral do Paraná sob a perspectiva da engenharia costeira. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. 277p.

TRESBP – TWEED RIVER ENTRANCE SAND BYPASSING PROJECT, 1997. Tweed River Entrance Sand Bypassing Project Permanent. Bypassing System Environmental Impact Statement / Impact Assessment Study. Queensland Department of Environment, Australia. 462 p.

TRUCCOLO, E. C., e SCHETTINI, C. A. F. 1999. Mares Astronômicas na Baía da Babitonga, SC. Notas Tec. Facimar, 3: 57–66.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. 1983. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: KOMAR, P.D. CRC Handbook of coastal processes and erosion. CRC Press, Inc. Flórida. p. 35-64

WRIGHT, L.D. e SHORT, A.D., 1984. Morphodynamics variability of surf zones and beaches: a synthesis. Marine geology, 56, 93-118.

## **ANEXO I**

TABELAS DA VARIAÇÃO SAZONAL DO REGIME DE ONDAS  
SEPARADAS POR ANO

Tabela I: Tabela dos dados de ondas do WWIII® cada ano do intervalo de 1996 até 2001 para o verão e primavera.

Energia da Onda (W/m)		0,50 - 4,00	4,00 - 8,00	8,00 - 12,00	12,00 - 16,00	16,00 - 20,00	20,00 - 24,00	Total	Energia da Onda (W/m)		0,50 - 4,00	4,00 - 8,00	8,00 - 12,00	12,00 - 16,00	16,00 - 20,00	20,00 - 24,00	24,00 - 28,00	28,00 - 32,00	>= 32,00	Total		
<b>Direção</b>		<b>VERÃO 1996</b>								<b>Direção</b>		<b>PRIMAVERA 1996</b>										
E	78,75 - 101,25	260	22	0	0	0	0	282	E	78,75 - 101,25	135	201	50	8	0	0	0	0	0	0	394	
E-SE	101,25 - 123,75	164	159	28	17	0	0	368	E-SE	101,25 - 123,75	67	118	46	11	3	2	0	0	0	0	247	
SE	123,75 - 146,25	21	25	16	0	0	0	62	SE	123,75 - 146,25	29	32	5	3	3	2	0	0	0	0	74	
SE-S	146,25 - 168,75	3	4	1	0	0	0	8											<b>SUBTOTAL</b>	715		
		<b>SUBTOTAL</b>							720	<b>Direção</b>		<b>PRIMAVERA 1997</b>										
<b>Direção</b>		<b>VERÃO 1997</b>								E	78,75 - 101,25	195	45	20	7	2	1	2	0	0	0	272
E	78,75 - 101,25	286	125	14	1	0	0	426	E-SE	101,25 - 123,75	55	114	79	21	11	8	1	0	0	0	289	
E-SE	101,25 - 123,75	82	95	15	5	0	0	197	SE	123,75 - 146,25	34	45	12	5	3	8	3	0	0	0	110	
SE	123,75 - 146,25	16	35	18	0	0	0	69	SE-S	146,25 - 168,75	22	13	3	0	0	0	0	0	0	0	38	
SE-S	146,25 - 168,75	9	14	1	0	0	0	24											<b>SUBTOTAL</b>	709		
		<b>SUBTOTAL</b>							716	<b>Direção</b>		<b>PRIMAVERA 1998</b>										
<b>Direção</b>		<b>VERÃO 1998</b>								E	78,75 - 101,25	98	147	73	4	0	0	0	0	0	0	322
E	78,75 - 101,25	295	36	0	0	0	0	331	E-SE	101,25 - 123,75	50	131	64	23	13	20	0	0	0	0	301	
E-SE	101,25 - 123,75	103	93	46	11	6	2	261	SE	123,75 - 146,25	12	45	18	11	0	0	0	0	0	0	86	
SE	123,75 - 146,25	30	25	30	12	1	1	99											<b>SUBTOTAL</b>	709		
SE-S	146,25 - 168,75	3	12	7	0	0	0	22	<b>Direção</b>		<b>PRIMAVERA 1999</b>											
		<b>SUBTOTAL</b>							713	E	78,75 - 101,25	148	180	58	14	0	0	0	0	0	0	400
<b>Direção</b>		<b>VERÃO 1999</b>								E-SE	101,25 - 123,75	46	35	70	17	3	4	2	3	6	186	
E	78,75 - 101,25	286	67	5	0	0	0	358	SE	123,75 - 146,25	34	51	14	4	2	5	1	0	0	0	111	
E-SE	101,25 - 123,75	88	115	45	10	0	0	258	SE-S	146,25 - 168,75	6	14	5	0	0	0	0	0	0	0	25	
SE	123,75 - 146,25	34	53	0	0	0	0	87											<b>SUBTOTAL</b>	722		
SE-S	146,25 - 168,75	6	6	0	0	0	0	12	<b>Direção</b>		<b>PRIMAVERA 2000</b>											
		<b>SUBTOTAL</b>							715	E	78,75 - 101,25	202	148	52	5	0	0	0	0	0	0	407
<b>Direção</b>		<b>VERÃO 2000</b>								E-SE	101,25 - 123,75	87	44	37	0	0	0	0	0	0	0	168
E	78,75 - 101,25	198	101	0	0	0	0	299	SE	123,75 - 146,25	52	35	24	9	5	0	0	0	0	0	125	
E-SE	101,25 - 123,75	82	77	28	12	3	0	202	SE-S	146,25 - 168,75	7	12	1	0	0	0	0	0	0	0	20	
SE	123,75 - 146,25	69	97	28	7	2	0	203											<b>SUBTOTAL</b>	700		
		<b>SUBTOTAL</b>							704	<b>Direção</b>		<b>PRIMAVERA 2001</b>										
<b>Direção</b>		<b>VERÃO 2001</b>								E	78,75 - 101,25	264	103	42	24	2	0	0	0	0	0	435
E	78,75 - 101,25	327	13	0	0	0	0	340	E-SE	101,25 - 123,75	76	34	27	21	11	6	1	0	0	0	176	
E-SE	101,25 - 123,75	134	57	20	16	0	0	227	SE	123,75 - 146,25	69	7	7	3	0	0	0	0	0	0	86	
SE	123,75 - 146,25	84	40	3	1	0	0	128											<b>SUBTOTAL</b>	697		
SE-S	146,25 - 168,75	10	7	1	0	0	0	18											<b>SUBTOTAL</b>	4252		
		<b>SUBTOTAL</b>							713	<b>TOTAL</b>												
<b>TOTAL</b>		<b>TOTAL</b>							4281													

Tabela II: Tabela dos dados de ondas do WWIII® cada ano do intervalo de 1996 até 2001 para o outono e inverno.

Energia da Onda (W/m)		0,50 - 4,00	4,00 - 8,00	8,00 - 12,00	12,00 - 16,00	16,00 - 20,00	20,00 - 24,00	Total	Energia da Onda (W/m)		0,50 - 4,00	4,00 - 8,00	8,00 - 12,00	12,00 - 16,00	16,00 - 20,00	20,00 - 24,00	24,00 - 28,00	Total
<b>Direção</b>		<b>OUTONO 1996</b>							<b>Direção</b>		<b>INVERNO 1996</b>							
E	78,75 - 101,25	147	11	8	3	1	0	170	E	78,75 - 101,25	243	75	2	0	0	0	0	320
E-SE	101,25 - 123,75	168	105	51	33	8	0	365	E-SE	101,25 - 123,75	95	26	10	1	0	0	0	132
SE	123,75 - 146,25	83	79	22	2	1	0	187	SE	123,75 - 146,25	99	77	42	11	4	0	0	233
SE-S	146,25 - 168,75	9	2	0	0	0	0	11	SE-S	146,25 - 168,75	35	7	1	0	0	0	0	43
							<b>SUBTOTAL</b>	<b>733</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>728</b>	
<b>Direção</b>		<b>OUTONO 1997</b>							<b>Direção</b>		<b>INVERNO 1997</b>							
E	78,75 - 101,25	200	23	0	0	0	0	223	E	78,75 - 101,25	172	39	0	0	0	0	0	211
E-SE	101,25 - 123,75	135	56	1	0	0	0	192	E-SE	101,25 - 123,75	105	110	26	9	5	9	3	267
SE	123,75 - 146,25	92	107	39	15	9	3	265	SE	123,75 - 146,25	72	59	14	5	10	2	0	162
SE-S	146,25 - 168,75	28	15	1	0	0	0	44	SE-S	146,25 - 168,75	26	5	0	0	0	0	0	31
							<b>SUBTOTAL</b>	<b>724</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>671</b>	
<b>Direção</b>		<b>OUTONO 1998</b>							<b>Direção</b>		<b>INVERNO 1998</b>							
E	78,75 - 101,25	226	20	1	4	0	0	251	E	78,75 - 101,25	195	131	38	8	5	3	0	380
E-SE	101,25 - 123,75	90	44	9	13	6	0	162	E-SE	101,25 - 123,75	60	70	18	4	1	0	0	153
SE	123,75 - 146,25	92	105	54	18	5	1	275	SE	123,75 - 146,25	95	55	12	9	1	1	0	173
SE-S	146,25 - 168,75	28	11	2	0	0	0	41	SE-S	146,25 - 168,75	16	6	2	0	0	0	0	24
							<b>SUBTOTAL</b>	<b>729</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>730</b>	
<b>Direção</b>		<b>OUTONO 1999</b>							<b>Direção</b>		<b>INVERNO 1999</b>							
E	78,75 - 101,25	158	34	1	0	0	0	193	E	78,75 - 101,25	233	126	13	3	8	0	0	383
E-SE	101,25 - 123,75	125	148	39	1	0	0	313	E-SE	101,25 - 123,75	83	41	11	0	0	0	0	135
SE	123,75 - 146,25	32	103	28	1	0	0	164	SE	123,75 - 146,25	78	38	39	7	4	2	0	168
SE-S	146,25 - 168,75	30	5	0	0	0	0	35	SE-S	146,25 - 168,75	10	15	6	4	1	0	0	36
							<b>SUBTOTAL</b>	<b>705</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>722</b>	
<b>Direção</b>		<b>OUTONO 2000</b>							<b>Direção</b>		<b>INVERNO 2000</b>							
E	78,75 - 101,25	162	78	0	0	0	0	240	E	78,75 - 101,25	306	20	0	0	0	0	0	326
E-SE	101,25 - 123,75	130	49	4	0	0	0	183	E-SE	101,25 - 123,75	92	13	0	0	0	0	0	105
SE	123,75 - 146,25	140	110	29	5	0	0	284	SE	123,75 - 146,25	146	68	15	0	0	0	0	229
							<b>SUBTOTAL</b>	<b>707</b>	SE-S	146,25 - 168,75	24	10	1	0	0	0	0	35
							<b>SUBTOTAL</b>	<b>695</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>695</b>	
<b>Direção</b>		<b>OUTONO 2001</b>							<b>Direção</b>		<b>INVERNO 2001</b>							
E	78,75 - 101,25	237	9	0	0	0	0	246	E	78,75 - 101,25	200	143	27	4	0	0	0	374
E-SE	101,25 - 123,75	120	33	62	4	0	0	219	E-SE	101,25 - 123,75	70	58	35	19	2	0	0	184
SE	123,75 - 146,25	113	66	34	31	9	0	253	SE	123,75 - 146,25	60	62	21	1	1	0	0	145
SE-S	146,25 - 168,75	3	8	2	0	0	0	13	SE-S	146,25 - 168,75	17	5	0	0	0	0	0	22
							<b>SUBTOTAL</b>	<b>731</b>								<b>SUBTOTAL</b>	<b>725</b>	
<b>TOTAL</b>								<b>4329</b>	<b>TOTAL</b>								<b>4271</b>	