

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**TOMAS TAK MIN MA**

**Quantificação do transporte longitudinal a partir de  
dados de concentração de sedimentos em  
suspensão, Tramandaí - RS**

Porto Alegre

2012

**TOMAS TAK MIN MA**

**Quantificação do transporte longitudinal a partir de dados de concentração de sedimentos em suspensão, Tramandaí - RS**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geociências.

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Luiz Emilio de Sá Brito de Almeida

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Alexandre Beluco

Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa

Prof. Dr. Luana Carla Portz

Porto Alegre – 2012

## CIP - Catalogação na Publicação

Ma, Tak Min, Tomas

Quantificação do transporte longitudinal a partir de dados de concentração de sedimentos em suspensão. Tramandaí - RS / Tomas Ma, Tak Min. -- 2013. 70 f.

Orientador: Luiz Emilio Sá Brito de Almeida.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS, 2013.

1. Transporte de sedimentos. 2. Corrente longitudinal. 3. Tramandaí (RS). 4. Transporte em suspensão. I. Sá Brito de Almeida, Luiz Emilio , orient. II. Título.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador prof. Dr. Luiz Emilio pelo suporte e apoio à execução desta dissertação, por todas as dúvidas respondidas, pelas aulas de Dinâmica Costeira, pelas lições de hidrologia, pela experiência, pelo apoio, pelos momentos de descontração e longas e boas conversas. Agradeço também ao técnico do IPH, José Carlos Nunes que muito me ajudou nas saídas de campo, informações e apoio. Aos professores que contribuíram enormemente para meu aprendizado através das disciplinas. Ao prof. Elírio Toldo, pelas aulas de Processos Costeiros, pela amizade, pela ajuda e apoio, e pelos ensinamentos durante essa minha jornada. Ao prof. Iran pelas aulas de Ambientes de Sedimentação Marinha, pela amizade e apoio. Ao prof. Dillenburg pelas aulas de Evolução Costeira, pela amizade e apoio. Aos profs. Eduardo e Ricardo Ayup pelas aulas de Sensoriamento Remoto aplicado à Geologia Marinha. A todo o pessoal da biblioteca, da secretaria de Pós (Letícia e Roberto) pela cordialidade e ajuda de sempre. Ao técnico em sedimentologia Gilberto, pela grande ajuda nas análises de granulometria. Ao prof. Nelson (*expert in Rock*) pelos bate-papos, conversas nos corredores, pela amizade e apoio. Ao colega e companheiro Lucas M. Motta pelas saídas de campo que tanto me ajudou. A todos os colegas que me acompanharam ao longo do mestrado, nos muitos momentos bons e outros, como diria “densos”: Anderson, Luciano, Heitor, Felipe (agora é professor), Leonardo, Rogério, Luana, Renato, Júlio, André, Chris, Suelen, Tiago. Aos meus pais, Manassés e Constancia, por sempre terem me amado. Por fim, mas jamais por último, à minha amada esposa Ivete e aos meus queridos filhos Gabriel e Ezequiel cujo amor, compreensão e tolerância tornaram possível este trabalho.

Muito obrigado a todos vocês.

## RESUMO

A proposta deste trabalho consiste na aplicação de dados de concentração de sedimentos em suspensão, na zona de arrebentação das ondas, para quantificar o transporte longitudinal que ocorre no Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. Os dados de suspensão foram coletados a partir de uma estrutura construída perpendicularmente à linha de praia (Plataforma de Pesca de Tramandaí). As amostragens foram feitas, de modo a cobrir a zona de arrebentação, para diferentes distâncias do fundo. Verificou-se ao longo do trabalho, que o valor médio da concentração de sedimentos em suspensão ( $C$ ) em quilogramas massa por metro linear de praia, apresentou como propriedade principal, uma forte proporcionalidade com a área da seção ( $S$ ), ao longo do perfil, ( $C_{(kg;m)} = 3,10^{-4} S^2 + 0,1173 S$ ). Utilizando esta particularidade, foi proposto um modelo utilizando as equações do perfil de equilíbrio de Dean (1977) para gerar o perfil de fundo. O limite deste foi obtido pela profundidade do ponto de arrebentação, determinada através da metodologia proposta por Herbich (2000). A área foi obtida por integração da equação de Dean, entre a linha de praia e o limite da zona de arrebentação. Através da propriedade citada acima, obteve-se a concentração total de sedimento entre a linha de praia e a arrebentação. O fluxo de sedimento foi obtido pelo produto da concentração total pela velocidade de corrente obtida pela aplicação da equação de Longuet-Higgins (1970). Os dados de ondas utilizados foram obtidos a partir de previsões fornecidas pela NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*), para o ano de 2009. Observou-se ainda, que a direção do transporte resultante foi de SW para NW, em acordo com observações geológicas. O valor encontrado foi  $314.799,10 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

**Palavras Chaves:** sedimentos, transporte, concentração.

## ABSTRACT

The purpose of this work is the application of data of suspended sediment concentration in the breaking zone waves, to quantify the longitudinal transport that occurs on the northern coast of Rio Grande do Sul - Brazil. The data of suspended sediment were collected from a structure built perpendicular to the beach line (Fishing Platform Tramandaí). The samples were taken so as to cover the breaking zone for different distances from the bottom. It was found during the study, the mean value of the suspended sediment concentration (C) in kg weight per linear meter of sand, presented as a main property, a strong proportionality to the sectional area (S) along the profile ( $C \text{ (kg/m)} = 3 \cdot 10^{-4} S^2 + 0,1173S$ ). Utilizing this characteristic, we propose a model using Dean's (1977) equations of equilibrium profile, to generate the bottom profile. The limit of this was obtained by the depth of the point of breaking, determined using the methodology proposed by Herbich (2000). The area was obtained by integrating the equation Dean between the beach line and the limit of the breaking zone. Through the property mentioned above, there was obtained a total concentration of sediment between the beach line and breaking zone. The flux of sediment was obtained by the product of total concentration and the velocity of flux obtained by applying the equation Longuets-Higgins (1970). The wave data used were obtained from forecasts provided by NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) for the year 2009. It was also observed that the direction of transport resulting from SW to NW, in agreement with geological observations. The value found was 314799,10 m<sup>3</sup>/year.

**Keywords:** sediment, transport, concentration.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Vista aérea da plataforma de pesca de Tramandaí. Fonte: Marcelo Gerin. ....	3
<b>Figura 2.</b> Localização da cidade de Tramandaí onde fica a Plataforma de pesca. ....	4
<b>Figura 3.</b> Foto mostrando uma frente de onda. Fonte: Arquivo pessoal (2011). ....	5
<b>Figura 4.</b> Zoneamento praial, mostrando antepraia superior e inferior. Fonte: Albino, 1999 (adaptada). ....	7
<b>Figura 5.</b> Foto aérea mostrando direção das correntes e transporte longitudinal de sedimentos com corrente de retorno. Fonte: Sidnei Zomer. ....	9
<b>Figura 6.</b> Modo de equilíbrio praial em função de $\omega$ . (Fonte: CALLIARI <i>et al.</i> , 2003 modificado de WRIGHT <i>et al.</i> , 1984). ....	11
<b>Figura 7.</b> Ondulações (swell) e arrebenção do tipo mista. Fonte: Arquivo pessoal (2011). ....	13
<b>Figura 8.</b> Apresenta maior intensidade da corrente longitudinal nos vetores maiores. Fonte: NOAA. ....	14
<b>Figura 9.</b> Foto aérea do canal de Tramandaí, mostrando que o transporte longitudinal de sedimentos pode ser para um sentido ou outro. Vê-se deposição na área clara. Fonte: Prefeitura de Tramandaí. ....	16
<b>Figura 10.</b> Limite oceânico ( $d_2$ ) e limite litorâneo ( $d_1$ ). Fonte: Modificado de Almeida (1999). ....	17
<b>Figura 11.</b> Localização dos pontos do levantamento topográfico e das coletas do material de fundo: Aux.6, Aux.7, Aux.8, Aux.9, Aux.10, Aux.11. ....	18
<b>Figura 12.</b> Levantamento topográfico da plataforma de pesca. O nível d'água é aproximado. ....	18
<b>Figura 13.</b> Vista da plataforma a partir da praia. Fonte: Arquivo pessoal (2011). ....	19
<b>Figura 14.</b> Dispositivo para coleta de sedimentos em suspensão. ....	20
<b>Figura 15.</b> Medição do fundo, para gerar perfil praial. ....	20
<b>Figura 16.</b> Amostrador utilizado para coleta de fundo. ....	21
<b>Figura 17.</b> Distribuição aproximada dos pontos de coleta de material de suspensão. ....	22
<b>Figura 18.</b> Gráficos das amostras de fundo e seus respectivos pontos. ....	25
<b>Figura 19.</b> Amostras de suspensão coletadas nas respectivas cotas. ....	26
<b>Figura 20.</b> Levantamento de 6 perfis ao longo de um ano com perfil de equilíbrio teórico. A linha reta é o nível d'água. ....	27
<b>Figura 21.</b> Estimativa da variação do volume do perfil em relação ao primeiro levantamento, com linha de tendência. ....	28

<b>Figura 22.</b> O histograma mostra a direção de ondas em AP para região de Tramandaí (2009). .....	30
<b>Figura 23.</b> O histograma mostra a direção de proveniência das ondas na zona de arrebentação. ....	31
<b>Figura 24.</b> Fluxograma de cálculo do transporte longitudinal.....	32
<b>Figura 25.</b> Esquema utilizado para o cálculo. ....	34
<b>Figura 26.</b> Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão ( $C_T$ ) e a área na zona de arrebentação (S). ....	34
<b>Figura 27.</b> Gráfico mostra a declividade teórica, tirada do cálculo dos perfis de equilíbrio da praia. O ângulo de aproximação da onda em relação à perpendicular à praia (positivos ondas do Norte; negativos ondas do Sul)(graus). ....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Estado praiial e valores de $\omega$ . Fonte: Wright e Short, 1984. ....	10
<b>Tabela 2.</b> Peso total dos sedimentos em suspensão coletados nas cinco saídas.....	24
<b>Tabela 3.</b> Valores da taxa de transporte.....	36
<b>Tabela 4.</b> Valores de transporte de sedimentos encontrados para cada saída. A = área total, Ct = concentração total, V = velocidade média da corrente, Qv = volume total transportado por ano, Qv = volume total transportado por dia. ....	39

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1:</b> Cálculo de $\omega$ .....	9
<b>Equação 2:</b> Perfil de equilíbrio .....	27
<b>Equação 3:</b> Altura da onda na arrebentação.....	29
<b>Equação 4:</b> Profundidade na arrebentação.....	29
<b>Equação 5:</b> Ângulo de incidência da onda no ponto de arrebentação .....	29
<b>Equação 6:</b> Concentração total de sedimentos em suspensão .....	33
<b>Equação 7:</b> Quantidade de sedimentos transportado.....	33
<b>Equação 8:</b> Velocidade longitudinal .....	33
<b>Equação 9:</b> Área molhada .....	34
<b>Equação 10:</b> Transporte sedimentar (CEM, 2001) .....	35
<b>Equação 11:</b> Transporte sedimentar (CERC,1984).....	35
<b>Equação 12:</b> Transporte sedimentar (KAMPHUIS,1991) .....	35
<b>Equação 13:</b> Transporte sedimentar (VAN RIJN, 2001).....	35
<b>Equação 14:</b> Transporte sedimentar (VAN RIJN, 2001a).....	35

## Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE EQUAÇÕES.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
<b>1.1 Considerações Iniciais</b> .....	1
<b>1.2 Área de estudo, localização e vias de acesso</b> .....	3
<b>1.3 Objetivos e Justificativas</b> .....	5
2 GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA REGIÃO .....	6
<b>2.1 Características do local de estudo</b> .....	7
<b>2.2 Clima</b> .....	8
<b>2.3 Morfodinâmica praial</b> .....	8
2.3.1 Regime de marés .....	12
2.3.2 Regime de ondas .....	12
2.3.3 Regime de correntes .....	13
2.3.4 Regime de transporte.....	15
2.3.4.1 Transporte Longitudinal.....	16
2.3.5 Limite externo, limite interno e perfil praial .....	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	18
<b>3.1 Levantamento topográfico</b> .....	18
<b>3.2 Coleta de Dados</b> .....	19
3.2.1 Levantamento dos perfis de fundo .....	19
3.2.2 Coleta do material de fundo para granulometria .....	20
3.2.3 Coleta dos sedimentos em suspensão .....	21
3.2.4 Observação dos dados de ondas .....	22
3.2.5 Medição da corrente longitudinal.....	22
<b>3.3 Técnicas de laboratório</b> .....	22
3.3.1 Granulometria- análise textural e morfoscópica para amostras de fundo .....	22

3.3.2 Amostras de suspensão .....	23
4 RESULTADOS .....	24
<b>4.1 Sedimentologia</b> .....	24
4.1.1 Amostras de fundo .....	24
4.1.2 Amostras de suspensão .....	24
<b>4.2 Perfil praial</b> .....	26
<b>4.3 Clima de ondas utilizado para o cálculo do transporte</b> .....	28
<b>4.4 Cálculo da taxa de transporte de sedimentos</b> .....	31
4.4.1 Metodologia utilizada.....	31
4.4.2 Equacionamento do problema.....	32
<b>4.5 Cálculo de ômega, e declividade do local</b> .....	39
5. ANÁLISE, DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS .....	41
<b>5.1 Perfil de fundo e material em suspensão</b> .....	41
<b>5.2 Transporte de sedimentos</b> .....	42
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
Anexo I .....	53
Anexo II .....	57
Anexo III .....	59

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

A costa do Rio Grande do Sul como em todas as regiões costeiras do mundo é um ambiente altamente dinâmico e instável. A região está em constante mudança e adaptação. As mudanças podem ser de longo período e/ou curto período numa escala geológica. Como de longo período podemos citar, como exemplo, as transformações causadas pelas costas de colisão que são aquelas associadas ao movimento de convergência de placas litosféricas. Estas costas apresentam uma zona costeira por uma topografia de alto relevo e com bacias de drenagem pequenas. Devido à pequena dimensão das plataformas continentais nestas áreas, os sedimentos carreados pelos rios ou se depositam nos estuários e baías ou são levados diretamente para o oceano profundo. Outro exemplo são as costas de afastamento. Estes são decorrentes do movimento divergente entre as placas litosféricas. A morfologia destas costas apresenta uma grande diversidade decorrente do estágio evolutivo da margem continental. Estas margens em estágios mais avançados de desenvolvimento por serem tectonicamente mais estáveis apresentam planícies costeiras extensas, plataformas continentais suaves e sistemas de drenagem bem desenvolvidos (BATISTA NETO *et al.*, 2004).

As mudanças de curto período, como exemplo, no ambiente costeiro existem transformações que ocorrem em questão de semanas, dias ou até mesmo de horas. Estas mudanças rápidas devem-se a vários fatores, entre os quais, os mais importantes são os climáticos e oceanográficos. Nos ambientes costeiros a forma e a topografia estão em constante mudança. Nesses ambientes temos que destacar os agentes que causam essas mudanças. Os agentes mais conhecidos são as ondas, as correntes e as marés. As ondas e as correntes transmitem significativas alterações na capacidade de transporte, o que, conseqüentemente conduz a modificações mais ou menos irregulares dos fundos e da geometria das costas (CARMO; MARQUES, 2003). As ondas são agentes que transportam energia transferida dos ventos que sopram ao largo. As ondas ao chegarem a lugares de baixa profundidade perto da praia sofrem refração, empolam e se “quebram” mobilizando os sedimentos de fundo. Conforme a direção de chegada destas ondas, elas geram correntes paralelas à praia, e desta maneira os sedimentos mobilizados são transportados para outros lugares. Este transporte de sedimentos é também conhecido como deriva litorânea. As marés também mobilizam sedimentos, porém o litoral do Rio Grande do Sul não apresenta

grande influência da maré. As ondas e correntes por serem os mais importantes causadores de mudanças da forma e topografia da região, serão usadas como instrumentos básicos no nosso estudo.

O objetivo do trabalho visa estimar o volume de sedimentos não coesivos carreados pelas correntes paralelas à costa, pois são elas as responsáveis pelas mudanças geomorfológicas de curto período. Estes agentes, as ondas e as correntes, provocam e iniciam um movimento que chamamos de transporte de sedimentos em suspensão por correntes longitudinais. Este tipo de transporte sedimentar, como havíamos dito, fornece as mudanças das feições morfológicas e topográficas de um litoral. Este litoral pode estar em erosão, deposição ou em equilíbrio. Trata-se de um movimento unidirecional ou bidirecional. Se for bidirecional apresenta uma resultante de transporte com sentido predominante, perfeitamente definido (FONTOURA, 2004). O transporte de sedimentos paralelo à linha de praia é função da altura da onda, da declividade da praia, do tamanho médio do grão, e do ângulo de incidência da onda (KAMPHUIS, 1991).

Conhecendo-se estes mecanismos de transporte na região costeira, podem-se estabelecer cenários e modelos acerca do comportamento da linha de costa. A compreensão destas mudanças pode fornecer importantes indicações para a inferência de projetos de engenharia e da evolução futura (MUEHE, 1994). Desta forma é indispensável que o gerenciador costeiro conheça o modo e a intensidade com que se processa o transporte dos sedimentos nas praias. Se assim acontecer, ele escolherá uma solução mais segura e adequada e ainda evitará ou resolverá com maior eficiência os problemas resultantes da quebra de equilíbrio de um ambiente costeiro provocada pelo homem ou pela natureza (CASTANHO, 1966).

Em pesquisas sobre o estudo de transportes de sedimentos em suspensão por correntes longitudinais temos trabalhos de Araújo e Alfredini (2001) para as praias de Suarão e Cibratel no litoral de São Paulo, de Lisniowski (2009), no litoral do Paraná; de Soares (2005), para praia de Camburi no litoral do Espírito Santo. No litoral do Rio Grande do Sul, tem se encontrado poucos estudos a respeito do tema. Os primeiros trabalhos, numa tentativa de avaliação do transporte litorâneo se devem aos pesquisadores Vitor Freire Motta (1964) e Erasmo Pitombeira (1975). Mais recentemente temos trabalhos de Lima *et al.* (2001); Fontoura (2004); Perotto *et al.* (2006), de Almeida na estimativa do transporte litorâneo do litoral médio do Rio Grande do Sul (TOLDO *et al.*, 2006). A nível mundial encontramos um trabalho bem significativo que levou 25 anos para ser concluído. O trabalho é de Splinter *et al.* (2010), começou em 1985 e terminou em 2009 em *Gold Cost* na Austrália.

## 1.2 Área de estudo, localização e vias de acesso

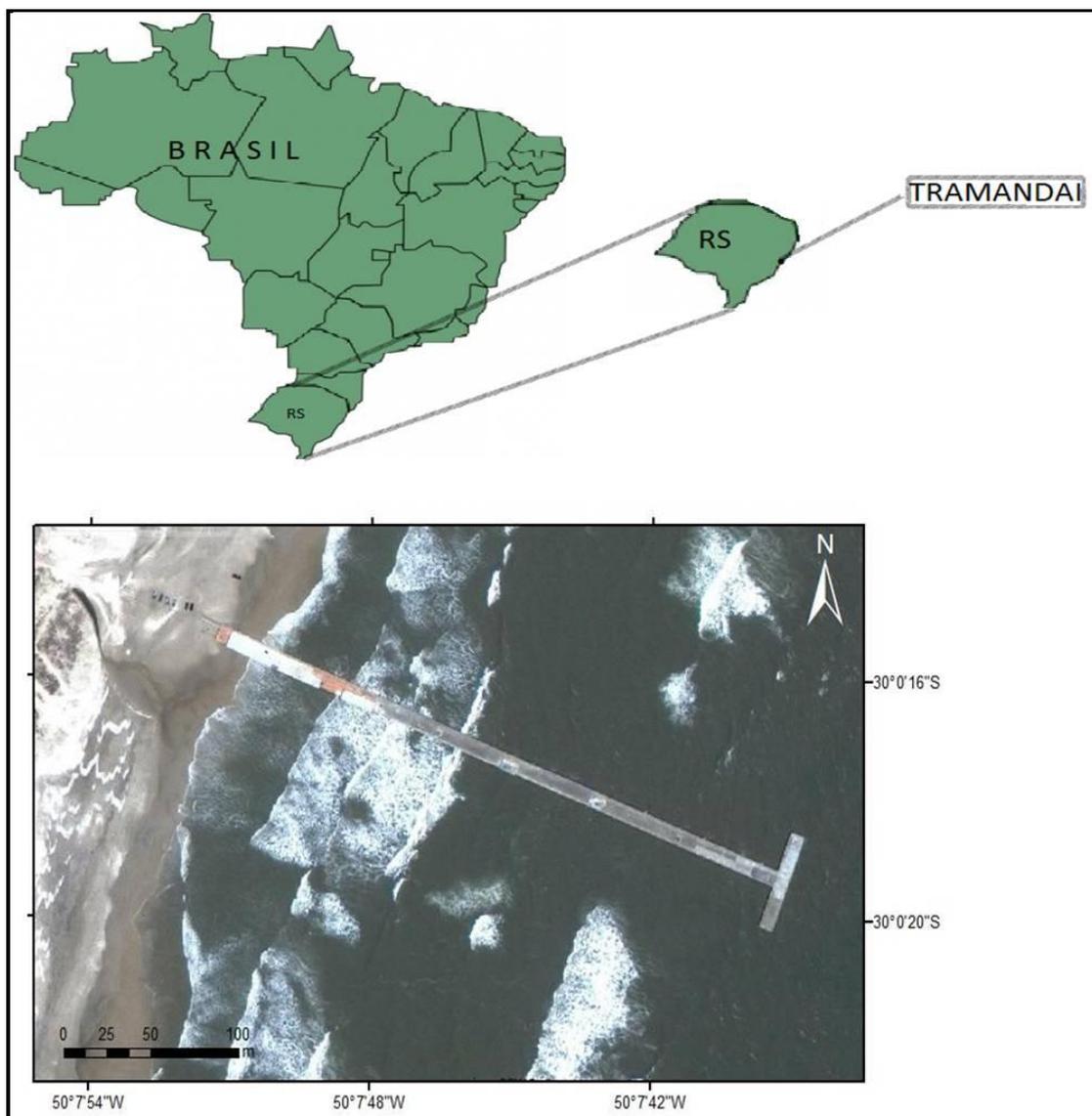
A costa gaúcha é dividida em litoral sul, médio e norte. Neste último se localiza nosso local de trabalho, mais precisamente na Plataforma de Pesca de Tramandaí (Figura 1).



**Figura 1.** Vista aérea da plataforma de pesca de Tramandaí. Fonte: Marcelo Gerin.

O local de monitoramento se localiza no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, município de Tramandaí, na latitude  $30^{\circ}00'13''$  S e longitude  $50^{\circ}07'34''$ . A principal via de acesso se dá pela BR 101 e, depois, entrando na RS 030, que percorre a cidade de Tramandaí (Figura 2).

A plataforma de pesca é perpendicular à linha de praia, com estrutura em forma de T. Seu comprimento é de 365 m, 8 m de largura e frente de 52 m. A plataforma permite o acesso, ao longo do perfil praiar possibilitando a aquisição de dados instantâneos de velocidades e direção da corrente longitudinal e material em suspensão. Sob condições normais de ondulação o local dispõe de facilidades para o fundeio de equipamentos na zona de surfe, a partir da estrutura que atravessa toda a zona de surfe (Figura 1).



**Figura 2.** Localização da cidade de Tramandaí onde fica a Plataforma de pesca.

A antepraia é ampla e rasa, com limite externo na profundidade de 10 m (Figura 3) onde predominam depósitos arenosos (JUNG, 2010).

A praia de Tramandaí possui um alinhamento aproximadamente nordeste – sudoeste, com o mar a leste (aproximadamente 204 graus).



**Figura 3.** Foto mostrando uma frente de onda. Fonte: Arquivo pessoal (2011).

### **1.3 Objetivos e Justificativas**

O estudo do transporte de sedimentos em suspensão na plataforma de pesca de Tramandaí é uma iniciativa em contribuir na investigação da dinâmica dos processos costeiros. Um motivo de curiosidade científica nos levou a aplicação de um método de pesquisa visando aprimorar os estudos dos processos da dinâmica sedimentar. Aplicando uma metodologia diferenciada queremos poder subsidiar novas informações na investigação do transporte de sedimentos em ambientes costeiros.

#### **Objetivo principal**

- Avaliação do transporte de sedimentos longitudinal anual, a partir de dados de concentração de sedimentos em suspensão e dados de ondas.

#### **Objetivos secundários**

- Avaliação das alterações do perfil de fundo ao longo do trabalho.
- Distribuição da concentração dos sedimentos de suspensão na coluna d'água.
- Distribuição dos sedimentos em suspensão ao longo do perfil.
- Comparação entre a granulometria dos sedimentos de fundo e em suspensão.

## 2 GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA REGIÃO

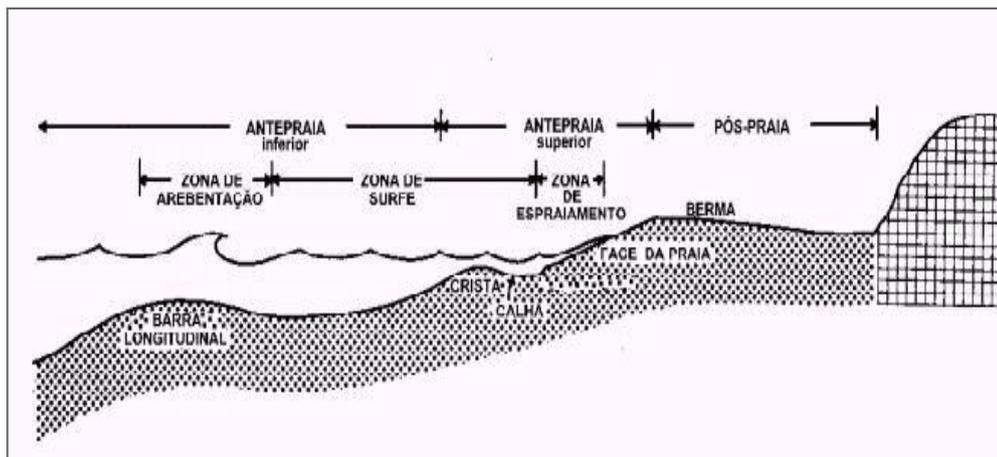
A região de estudo está situada na Planície Costeira do Rio Grande do Sul na unidade geológica chamada Bacia de Pelotas que é uma bacia relacionada com eventos tectônicos. Este detalhe geológico tem a ver com a separação das placas Africana e Sul-Americana, sistemas de *riffts* (fendas, fraturas), lagos e mares rasos, soerguimentos e derrames de basalto, enfim terras altas que posteriormente alimentaram os sedimentos da bacia de Pelotas. A explicação está nos trabalhos de Villwock (1994, 2002).

A atual linha de praia constitui a face marinha da barreira IV, gerada no último episódio transgressivo-regressivo que ocorreu no Holoceno (MARTIN *et al.*, 1988). Os depósitos sedimentares da costa são representados por areias finas a muito finas, com pouca presença de matéria orgânica. As areias são geralmente silicosas, resultado da alteração das rochas ígneas. A origem destas areias deve-se a ação de diversos agentes geológicos, envolvendo fatores meteorológicos e transporte.

As praias arenosas oceânicas apresentam-se como sistemas transicionais altamente dinâmicos e sensíveis, que constantemente se ajustam a flutuações dos níveis de energia locais e sofrem retrabalhamento por processos eólicos, biológicos e hidráulicos. Estes últimos são relativamente muito mais importantes e ocorrem em escalas temporais variadas. Abrange também um amplo espectro de modos de movimento, entre os quais se destacam as ondas geradas pelo vento, as correntes litorâneas, as oscilações de longo período e as marés. Respondendo àquelas flutuações dos níveis de energia através de mudanças morfológicas e trocas de sedimentos com regiões adjacentes, as praias atuam como zonas tampão e protegem a costa da ação direta da energia do oceano, sendo esta a sua principal função ambiental (HOEFEL, 1995).

No sentido estrito, a praia é uma acumulação de sedimento não consolidado (areia ou cascalho), que é compreendida da linha de baixa-mar até uma mudança fisiográfica, como um campo de duna, por exemplo. Mas a praia pode incluir segundo alguns geólogos, a área costeira abaixo do nível do mar (a profundidade de 10 a 20 m), a qual é ativa sob a influência das ondas de superfície (KOMAR, 1977 *apud* KENNETT, 1982). Sendo as praias ambientes variáveis espaço-temporalmente, qualquer tentativa de delimitar seus subambientes deve levar em consideração os processos hidrodinâmicos que promovem tais mudanças. Um ambiente praiado oceânico típico pode ser dividido nos seguintes ambientes: pós-praia (*backshore*), antepraia superior (*foreshore*), antepraia intermediária (*nearshore*) e antepraia inferior (*shoreface*).

O zoneamento da praia pode variar de autor para autor, isso depende do que vai se estudar ou se dar maior enfoque. Segundo Albino (1999) (Figura 4), na antepraia intermediária ocorre a arrebentação da onda e encontra-se a zona de surf. A realização de perfis topográficos praias sazonais e também durante diferentes condições de mar é fundamental para o reconhecimento da dinâmica de transporte sedimentar em uma determinada região costeira.



**Figura 4.** Zoneamento praiial, mostrando antepraia superior e inferior. Fonte: Albino, 1999 (adaptada).

## 2.1 Características do local de estudo

A praia de Tramandaí é classificada como sistema deposicional costeiro dominado por ondas. É uma praia dissipativa segundo a classificação proposta por Wright e Short (1984). Apresenta baixa declividade no perfil, com extensa largura da zona de surf e presença de ondas de alta energia, a arrebentação pode ser classificada como mistas (mergulhante/deslizante). As areias são de granulometria fina, que permite o transporte de sedimentos pela ação do vento e a formação de dunas frontais. A antepraia proporciona grande estoque de areia e é formada por grandes bancos paralelos (SHORT; HESP, 1982).

O local de estudo possui maré astronômica semi-diurna, com amplitudes não ultrapassando 0,35 m. A maré meteorológica quando ocorre pode atingir aproximadamente 1,20 m (ALMEIDA et al., 1997).

As ondulações que ocorrem são geradas, principalmente, pelos ventos de sudeste do cinturão subpolar do Atlântico sul, e as correntes litorâneas propiciam uma deriva resultante para nordeste. Os ventos predominantes são originados de nordeste entre os

meses de setembro a fevereiro e de abril a agosto prevalecem os ventos de sudeste (CALLIARI; FACHIN, 1993).

## **2.2 Clima**

O clima da região sul rio-grandense caracteriza-se como mesotérmico úmido, com umidade relativa média do ar em torno de 82,1%. A temperatura média anual é de 19,1°C, permanecendo a temperatura média das máximas de 24,6°C e das mínimas de 14°C. As maiores temperaturas ocorrem próximo ao litoral, diminuindo gradativamente em direção a oeste.

O litoral riograndense de acordo com Nimer (1979) tem influência do Anticiclone do Atlântico e do Anticiclone Migratório Polar Atlântico. O primeiro constitui-se na fonte geradora da Massa Tropical Atlântica e o segundo da Massa Polar Atlântica. A Frente Polar Atlântica, resultado do contato entre as duas massas é a responsável por parte da precipitação do litoral. As precipitações totais anuais são maiores no litoral norte 1.800 mm (área de estudo) e menores a sul 1.400 mm.

## **2.3 Morfodinâmica praial**

A zona costeira é um ambiente altamente dinâmico e sensível. Para entendermos os ambientes costeiros precisamos, antes, compreender de que forma a evolução ocorre nestes ambientes. A morfodinâmica costeira é definida como o “ajuste mútuo da topografia e dinâmica de fluidos envolvendo o transporte de sedimentos” (WRIGHT; THOM, 1977). O transporte de sedimentos fornece o mecanismo de acoplamento pelo qual o ajuste ocorre. O transporte por suspensão é o modo mais importante de movimentação dos sedimentos dentro da zona de surfe, no qual os sedimentos colocados em suspensão pelas correntes de fundo e pela ação mecânica e turbulência, geradas pela quebra das ondas, são transportados pela corrente longitudinal.

Mudanças progressivas da topografia alteram as condições de contorno para a dinâmica de fluidos, produzindo modificações nos padrões de sedimentos e seus produtos deposicionais (CARTER; WOODROFFE, 1994).

Através de estudos oceanográficos foram identificadas diversos tipos de correntes na zona de surfe, de modo que as principais são: as longitudinais e as de retorno (Figura 5). Essas correntes estão sujeitas, ao ângulo de incidência das ondas, tipo de sedimento,

energia, vento, profundidade e declividade. As maiores velocidades de propagação das correntes ocorrem associadas aos ângulos de incidência das ondas próximos aos 45 graus.



**Figura 5.** Foto aérea mostrando direção das correntes e transporte longitudinal de sedimentos com corrente de retorno. Fonte: Sidnei Zomer.

A hidrodinâmica da praia depende da variabilidade do clima de ondas, da maré, do vento e das características dos sedimentos. Uma praia pode variar amplamente de configuração em relação ao seu estado morfodinâmico mais frequente ou modal. O estado modal de uma determinada praia é caracterizado pelas condições mais frequentes, em resposta aos tipos de arrebentação e de sedimento predominantes. E, tanto o estado modal quanto a amplitude de variação em relação a este estado, são justamente o que diferenciam as praias no tocante à sua morfodinâmica (FONTOURA, 2004), conforme tabela 1.

A relação entre o estado modal de uma praia e as características das ondas e dos sedimentos foi estabelecida por Wright e Short (1984), utilizando o parâmetro adimensional ômega ( $\Omega$ ) de Dean (1973).

**Equação 1:** 
$$\Omega = \frac{H_b}{T W_s}$$

onde:

$H_b$  = altura significativa da onda na arrebentação (m);

$T$  = período médio das ondas (s);

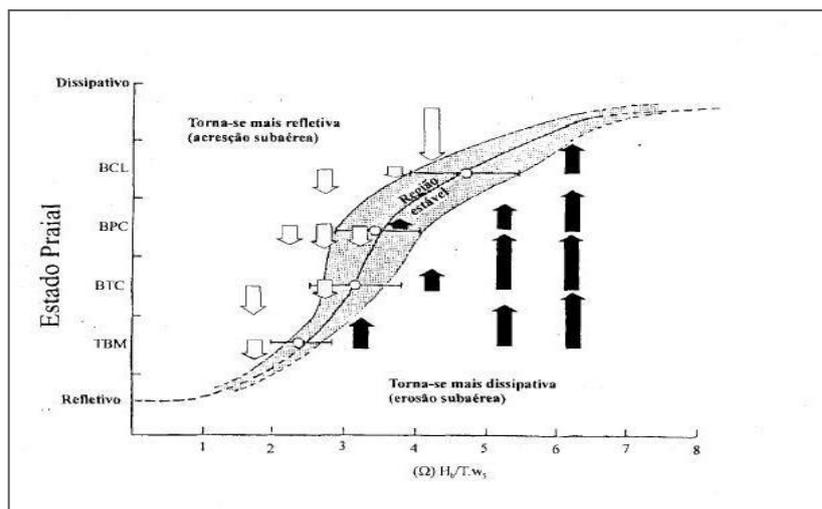
$W_s$  = velocidade de queda dos grãos (m/s).

**Tabela 1.** Estado praias e valores de  $\Omega$ . Fonte: Wright e Short, 1984.

Estado	$\Omega$
Dissipativo	>5,50
Banco e Cava Longitudinal (BCL)	4,70
Banco e Praia Rítmicos (BPR)	3,50
Banco Transversal e Corrente de Retorno (BTR)	3,15
Terraço de Maré Baixa (TMB)	2,40
Reflectivo	<1,50

O significado físico do parâmetro adimensional demonstrado por Dean (1973) indica que se um grão de areia é colocado em suspensão pela passagem de uma onda, pode, ou não, se sedimentar durante o tempo em que o fluxo de água, induzido pela propagação da onda é em direção a praia. Se isto acontecer, o sedimento vai se mover da zona de arrebatamento para a praia, produzindo um perfil de acresção (*swell*). Em situação contrária, se o grão ficar em suspensão por um período mais longo, tende a se deslocar em direção ao mar, desenvolvendo, assim, um perfil de erosão (CALLIARI *et al.*, 2003).

A figura 6 mostra o equilíbrio dos estágios praias e a taxa de mudança associada. Praias íngremes são passíveis de sofrerem erosão subaérea sob condições de ondulação moderada (*swell*), sendo o espraiamento da onda na face o mecanismo predominante. Maior energia é necessária para erodir praias dissipativas, nas quais o mecanismo atuante é o elevado "set-up", associado a oscilações de infragravidade (período elevado), o qual permite que ondas reformadas cheguem a alcançar o pós-praia. Praias intermediárias são sujeitas à erosão pelos dois mecanismos, como também pela erosão localizada em pequenas baías existentes no estágio banco transversal e corrente de retorno (*transverse bar and rip*) quando, apesar da praia estar sofrendo acresção, ocorre uma erosão acentuada nestes locais (CALLIARI *et al.*, 2003).



**Figura 6.** Modo de equilíbrio praiado em função de ômega. (Fonte: CALLIARI *et al.*, 2003 modificado de WRIGHT *et al.*, 1984).

Os bancos arenosos são uma das feições mais notáveis dos ambientes praiados. Por armazenarem grandes volumes de sedimento, os mesmos desempenham importante papel no balanço sedimentar dos sistemas praiados e na determinação do espectro de energia que alcança a face praiada, uma vez que são responsáveis pela dissipação de uma parte considerável da energia de ondas provenientes de mar aberto. Embora os bancos arenosos possuam características universais, seu comportamento e ocorrência variam largamente, dependendo das condições ambientais.

Em costas oceânicas caracterizadas pela alternância de ondas de tempestade, ou de ondulações de alta energia com períodos de ondulações de baixa energia, os bancos aparecem como feições muito dinâmicas, migrando em direção ao mar durante tempestades e em direção à costa durante regimes de menor energia (**e.g.** LIPMANN *et al.*, 1993). Por outro lado, em costas protegidas de ondulações, sistemas de múltiplos bancos, muito estáveis, podem desenvolver-se (**e.g.** DAVIDSON-ARNOTT; MCDONALD, 1989). Nestes sistemas são evidentes as diferenças dinâmicas e morfológicas apresentadas pelos bancos que os compõe. Geralmente os bancos proximais são mais móveis e instáveis do que os distais, pois estes requerem níveis de energia mais elevados para serem mobilizados. Condições alcançadas geralmente durante e logo após tempestades (**e.g.** LIPMANN *et al.*, 1993; BIRKEMEIER, 1984; AAGAARD; MASSELINK 1999).

### 2.3.1 Regime de marés

Nesta região as marés astronômicas não são significativas, pelo contrário, as variações importantes do nível da água dependem quase que exclusivamente das chamadas marés meteorológicas (irregulares), podendo estas, de acordo com Villwock e Tomazelli (1995) ultrapassarem as primeiras em até um metro. A costa gaúcha é classificada como sendo do tipo micromarés, com amplitude inferior a dois metros. As baixas amplitudes devem-se a proximidade de um ponto anfidrômico e à monotonia da costa, retilínea e aberta, sem acidentes capazes de amplificar as marés seja por ressonância, seja por convergência (VILLWOCK; TOMAZELLI, *op cit.*).

Durante as tempestades, os ventos que sopram na direção da costa ou ao longo desta de sul para norte, arrastam para a praia grandes massas d'água, que associadas com a migração dos centros de pressão tornam-se responsáveis pela elevação do nível do mar na costa. Estas elevações podem chegar rapidamente a um ou dois metros, provocando grandes alterações na morfologia das praias (CALLIARI *et al.*, 1998).

### 2.3.2 Regime de ondas

As ondas, no sul do Brasil, são ondas de gravidade geradas por vento na superfície e são caracterizadas pela intensidade das forças geradoras e pela distância do ponto de geração. O centro de geração das ondulações que alcançam o sul do Brasil é o cinturão de tempestades subpolar do Atlântico Sul (NIMER, 1979). São classificadas como ondulações (*swell*), vagas (*sea*) e ondas de tempestades (*storm surges*). As ondulações são formadas fora do centro de geração, assumem formato regular, cristas arredondadas, longos períodos e baixa esbeltez. Na região de Tramandaí, a arrebentação das ondas pode ser classificada como do tipo mista (mergulhante/deslizante) (Figura 7).

As vagas são ondas geradas por ventos locais e têm o seu ponto de geração muito próximo do ponto de observação. Geralmente são ondas irregulares com características complexas e confusas, elevada esbeltez e cristas agudas. Normalmente, ocorrem cavalgando as ondulações e são oriundas de variados sistemas de ventos locais.



**Figura 7.** Ondulações (swell) e arrebentação do tipo mista. Fonte: Arquivo pessoal (2011).

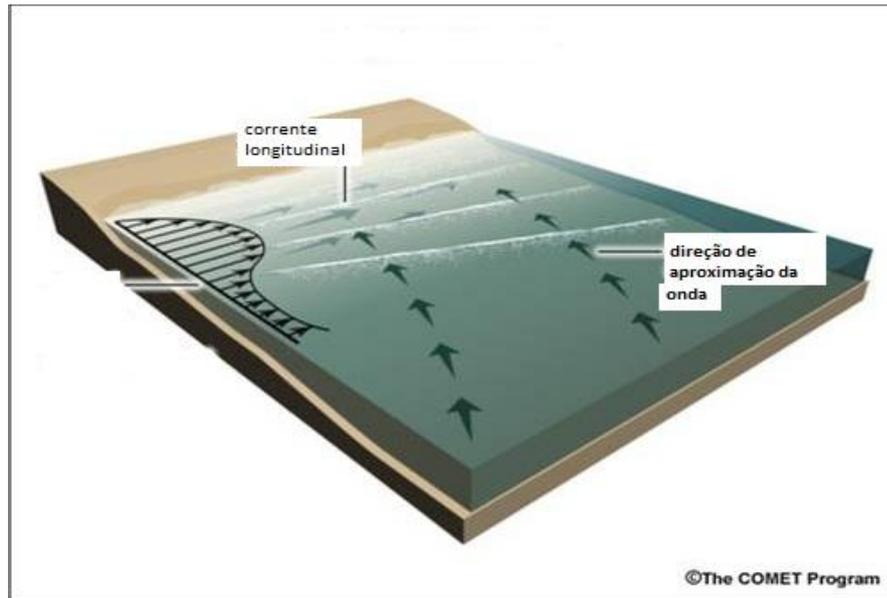
Ondas de tempestades são eventos de grande energia, que acompanham a passagem de frentes frias e assolam a costa com regularidade durante o ano, porém com maior frequência no outono e inverno. A estas ondas estão associadas grandes elevações do nível do mar, empilhamento de água na costa e expressivos processos erosivos com mobilização e transporte de grandes quantidades de sedimentos. O estoque de areia é grande e são oriundas da deriva litorânea e do transporte da plataforma interna pelas ondas (DAVIS; HAYES, 1984).

O litoral do Rio Grande do Sul está inserido em uma região costeira dominada pela ação das ondas predominando sobre a ação das marés, sendo o regime determinado como micro maré. As ondas possuem energia alta a moderada.

As alturas de ondas ocorrentes em Tramandaí não apresentam variações sazonais, e assim não há diferenciação notável entre os registros de ondas em dezembro (verão) e agosto (inverno) (STRAUCH *et al.*, 2007).

### **2.3.3 Regime de correntes**

Dentre os fluxos costeiros, são as correntes longitudinais (Figura 8) geradas na zona de surfe por ventos e arrebentação de ondas, o principal agente de transporte lateral de sedimentos e, por consequência, o concorrente mais importante para as transformações morfológicas das praias e dos ambientes litorâneos nesta região (TOMAZELLI; VILLWOCK, 1992).



**Figura 8.** Apresenta maior intensidade da corrente longitudinal nos vetores maiores. Fonte: NOAA.

Jung (2010) realizou medições da corrente litorânea na praia de Tramandaí, constatando elevada variabilidade na direção das correntes.

Fluxos paralelos à linha de praia, ou correntes longitudinais, são formados a partir da incidência oblíqua das ondas e por diferenças na altura das cristas, que formam gradientes no *setup* de água na costa, provocando um gradiente de pressão horizontal. O fator de atrito da água com o fundo estabiliza a corrente (WRIGHT, 1985).

O equilíbrio na natureza é em geral um equilíbrio dinâmico. O fato das praias e linhas costeiras que conhecemos apresentarem durante longos períodos a mesma disposição morfológica, não significa que os sedimentos se encontrem em repouso todo este tempo.

Pelo contrário, esta morfologia é mantida pela entrada e saída de sedimentos. Esta constante do sistema, no mesmo período de tempo, de quantidades médias iguais é a noção correta do equilíbrio dinâmico de uma linha de costa (FONTOURA, 2004).

Para que esse equilíbrio seja rompido é necessário que se componha uma nova disposição para as forças envolvidas no processo, destruindo o status anterior. Este rompimento geralmente ocorre por conta ou de fenômenos naturais, fruto de modificações intrínsecas da própria natureza, ou pela ação do homem que através de obras de engenharia costeira altera o livre caminho dos sedimentos. A erosão e a acresção de sedimentos ao longo das linhas de praia são fenômenos oriundos deste desequilíbrio de forças (FONTOURA, 2004).

É aqui na zona da arrebentação e do surfe que se encontra o transporte sedimentar mais importante de toda a zona litorânea. Movimentos extraordinariamente complexos ocorrem dentro da arrebentação e depois dela, promovendo a mobilização de grandes quantidades de areia responsáveis por resultantes de transporte de elevada intensidade. Esta questão cresce em importância quando sabemos que é nesta zona que são edificadas as principais obras de engenharia costeira. O estresse longitudinal causado pelas ondas é relacionado à taxa local de dissipação de energia da onda, independente de ser devido à quebra ou à fricção com o fundo. Portanto, usando a relação da altura de quebra da onda com a profundidade local na zona de surfe, pode-se estimar o estresse longitudinal causado pelas ondas (LONGUET-HIGGINS, 1970). Variações batimétricas longitudinais são comumente observadas na região *nearshore*, podendo causar variações na altura (H) e direção das ondas, e no *setup*. Simulações matemáticas e observação em laboratório mostram que essas variações podem alterar significativamente as correntes nessa região, principalmente nas cavas (RUESSINK *et al.*, 2001).

#### **2.3.4 Regime de transporte**

Vários são os indicadores geomorfológicos e morfodinâmicos que apontam o sentido da deriva litorânea resultante. Uma forma de se fazer observação é através de considerações do clima de ondas. A observação do deslocamento cíclico e o estudo da morfodinâmica em modelos costeiros reduzidos foram algumas das formas encontradas pelos pesquisadores para inferir que, na costa gaúcha, existe um transporte resultante para nordeste.

Vale constatar que a eficácia do transporte não é maior devido às características morfológicas da plataforma continental. A configuração ampla e rasa da plataforma promove uma acentuada refração nas ondulações de sudeste de forma que a sua incidência, na maioria das vezes, se dá em ângulos muito baixos o que diminui sensivelmente o processo de deriva litorânea (FONTOURA, 2004). Até agora não foi conduzida nenhuma pesquisa capaz de estabelecer com dados de campo os verdadeiros números da deriva litorânea de sedimentos na costa do Rio Grande do Sul (Figura 9).



**Figura 9.** Foto aérea do canal de Tramandaí, mostrando que o transporte longitudinal de sedimentos pode ser para um sentido ou outro. Vê-se deposição na área clara. Fonte: Prefeitura de Tramandaí.

#### 2.3.4.1 Transporte Longitudinal

O transporte longitudinal é estritamente associado com as correntes geradas por ondas (FREDSOE; DEIGAARD, 1992), e muitas fórmulas são usadas para calcular o fluxo de partículas transportado por estas correntes. Estas equações se baseiam em argumentos de que os sedimentos são mobilizados do fundo pelas ondas e transportados ao longo da costa pelas correntes longitudinais (LONGUET-HIGGINS, 1972; INMAN; BAGNOLD, 1963).

A avaliação do transporte longitudinal pode ser feita sob dois aspectos básicos:

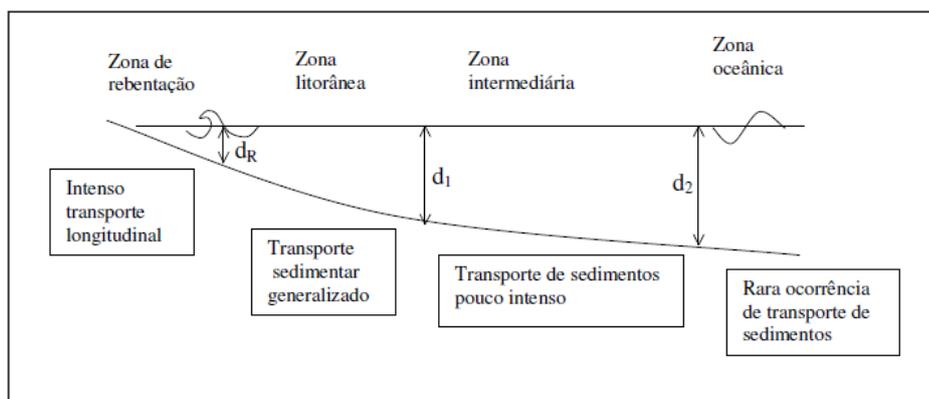
a) Quando se possui uma distribuição estatística anual das ondas, ou seja, é conhecido o Regime de Ondas, também chamado Clima de Ondas, sendo muito utilizado para determinar o balanço anual ou num período determinado;

b) Para determinar o efeito causado por uma situação conhecida.

A partir do momento que existe uma distribuição estatística representativa do regime de ondas da região, é possível avaliar o transporte de sedimentos que se processa paralelamente à praia, em termos de taxas anuais.

### 2.3.5 Limite externo, limite interno e perfil praia

Podemos definir o limite oceânico ( $d_2$ ) como sendo a máxima profundidade onde o transporte de sedimentos sob ação de ondas é praticamente nulo, não gerando, portanto, alteração na cota de fundo; e podemos definir como limite litorâneo ( $d_1$ ) aquela profundidade onde os transportes de sedimentos longitudinal e perpendicular, já podem ser considerados como generalizados. O limite litorâneo é normalmente chamado de profundidade de fechamento (ALMEIDA *et al.*, 1999) (Figura 10).



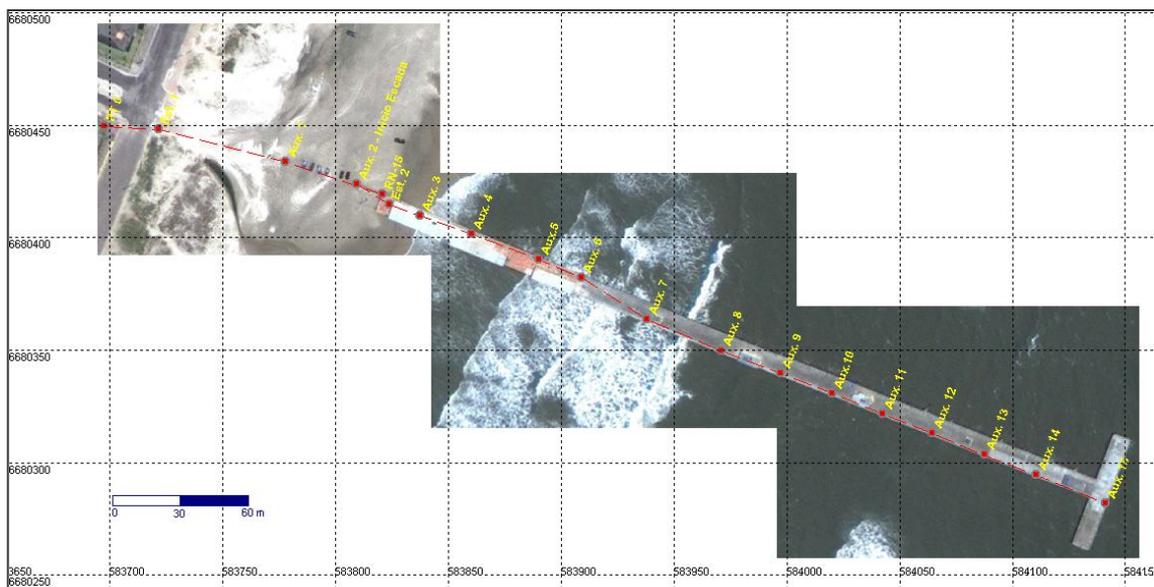
**Figura 10.** Limite oceânico ( $d_2$ ) e limite litorâneo ( $d_1$ ). Fonte: Modificado de Almeida (1999).

O perfil de uma praia é definido como a variação da profundidade mar-a-dentro, perpendicularmente à linha de praia, limitado pela profundidade de fechamento. O perfil de equilíbrio é conceitualmente o resultado do balanço entre as forças destrutivas e construtivas.

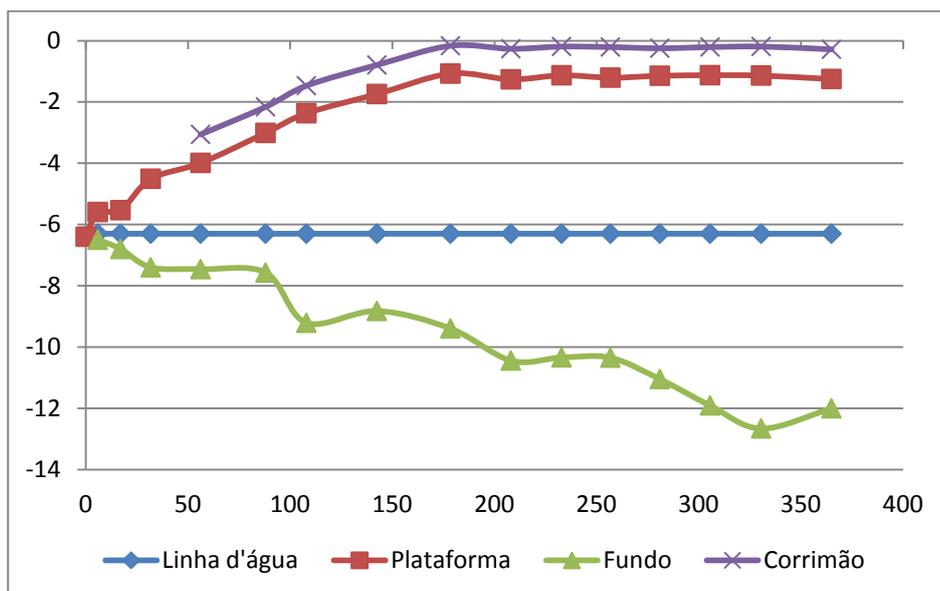
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Levantamento topográfico

Um levantamento topográfico da plataforma de pesca foi realizado (Figura 11, 12 e 13) para posteriormente fazermos as devidas correções dos perfis praiais e escolhida arbitrariamente um nível de referência (RN). O ponto Aux. 2 é o início da escada e o começo da plataforma (Figura 11).



**Figura 11.** Localização dos pontos do levantamento topográfico e das coletas do material de fundo: Aux.6, Aux.7, Aux.8, Aux.9, Aux.10, Aux.11.



**Figura 12.** Levantamento topográfico da plataforma de pesca. O nível d'água é aproximado. As distâncias são em metros.



**Figura 13.** Vista da plataforma a partir da praia. Fonte: Arquivo pessoal (2011).

## **3.2 Coleta de Dados**

### **3.2.1 Levantamento dos perfis de fundo**

As medidas de batimetria foram feitas para traçar os perfis praiais ao longo de um período de um ano e verificar as variações.

As medidas foram feitas com uma trena presa a um cabo e amarrado a um peso (Figura 14 e 15). O levantamento dos perfis foram realizados nos meses de abril, julho, setembro, outubro, novembro e dezembro, em uma área que se estende desde o início da zone de surfe até a extremidade final da plataforma. Para cada levantamento foram realizadas vinte medições e espaçadas uma da outra de aproximadamente 15 metros.



**Figura 14.** Dispositivo para coleta de sedimentos em suspensão.



**Figura 15.** Medição do fundo, para gerar perfil praiar.

### **3.2.2 Coleta do material de fundo para granulometria**

A coleta do material de fundo foi feito em seis pontos distintos ao longo do perfil, conforme figura 11. As amostras de sedimentos de fundo serviram para determinação da granulometria e análise morfológica. Também foram coletados sedimentos na linha

d'água. Para as coletas de fundo usou-se um amostrador de fundo do tipo "Dietz-Lafond" (Figura 16).

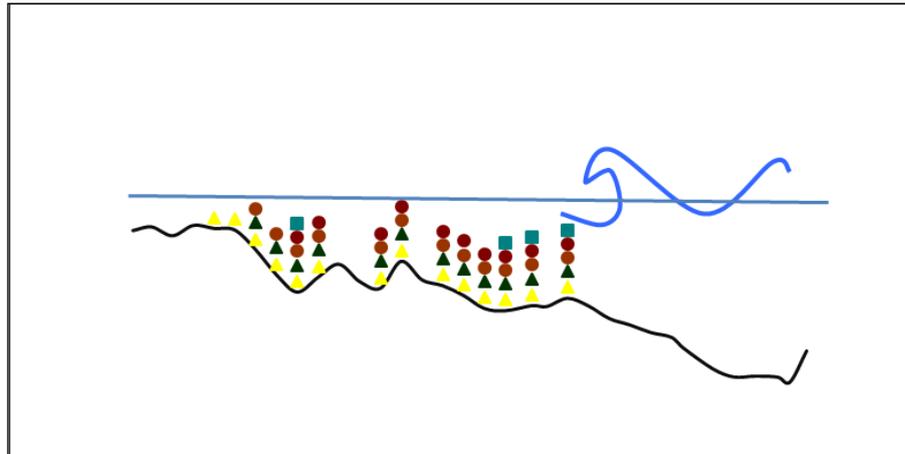


**Figura 16.** Amostrador utilizado para coleta de fundo.

### **3.2.3 Coleta dos sedimentos em suspensão**

As amostras de suspensão foram coletadas dentro do campo dos sedimentos suspensos em várias verticais, ao longo do perfil. A figura 17 mostra o esquema utilizado na saída de abril mostrando os pontos de coleta de material de suspensão na zona de surfe, este esquema foi utilizado nas saídas subsequentes.

As coletas de amostras de suspensão foram feitas a partir da Plataforma de Pesca, utilizando garrafas de plástico de 500 ml. O tempo de enchimento das garrafas foi programado em 60 segundos, garantindo a integração de um grupo de aproximadamente 9 ondas (período médio de 7 segundos). As coletas foram feitas utilizando, na vertical, 5 amostradores, número suficiente para as amostragens dentro do campo dos sedimentos suspensos, colocados a 40 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm e 250 cm a partir do fundo (Figura 14).



**Figura 17.** Distribuição aproximada dos pontos de coleta de material de suspensão.

### 3.2.4 Observação dos dados de ondas

Para uma avaliação precisa dos parâmetros de onda (altura, período e direção de incidência) seria necessária a instalação de um ondógrafo direcional. Nesta pesquisa esses parâmetros foram avaliados através de dados de ondas da NOAA. Os dados adquiridos são de águas profundas, sendo analisados e trabalhados com o objetivo de determinar o clima de ondas na arrebentação; altura ( $H_a$ ), período ( $T_a$ ), e direção de incidência ( $\alpha_a$ ).

### 3.2.5 Medição da corrente longitudinal

Para medir a velocidade da corrente longitudinal foi lançado um derivador, material feito de isopor, que percorreu a largura da plataforma (8 m) em um espaço de tempo. A velocidade foi calculada pelo quociente entre a distância percorrida e tempo medido.

## 3.3 Técnicas de laboratório

### 3.3.1 Granulometria- análise textural e morfoscópica para amostras de fundo

No laboratório as amostras foram lavadas para eliminação dos sais e impurezas. Também foi eliminado o carbonato de cálcio presente nas amostras através da utilização de ácido clorídrico para que não houvesse erros na pesagem. Posteriormente as amostras foram secadas em estufa com temperatura até 80°C.

Os sedimentos foram quarteados e peneirados pelo método manual. O intervalo entre as peneiras foi de 0,5  $\Phi$  da escala Wentworth (1922).

O material “grosso” foi passado em um conjunto de peneiras com a malha decrescente até o limite de 4  $\Phi$ , para que houvesse a separação de acordo com as classes texturais. Depois foi feita a pesagem por classe e os resultados foram apresentados segundo a interpretação granulométrica Folk e Ward (1957), que considera a classificação, selecionamento, achatamento e tendência, com base nas curvas de frequência simples e acumulada. Os gráficos foram obtidos através da planilha Excel.

Na análise morfooscópica se determinou o aspecto da forma, arredondamento e textura superficial. Para a esfericidade que se refere à forma, a média dos grãos, usou-se a tabela Rittenhouse (1943). Para o arredondamento utilizamos a tabela Krumbein (1941). E por último observou-se a textura superficial de acordo com a tabela Bigarella *et al.* (1955).

### **3.3.2 Amostras de suspensão**

Nas amostras de suspensão devido as pequenas quantidades foi feita lavagem, secagem, pesagem e classificação granulométrica. Não foi feito quarteamento.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Sedimentologia

#### 4.1.1 Amostras de fundo

Na análise sedimentológica, os parâmetros estatísticos foram obtidos através da utilização do programa Sysgran e tabela Wentworth. Com o uso destas tabelas, observou-se que a distribuição espacial do tamanho médio de grão das amostras de fundo variou de areia fina ( $\phi = 2$ ) à areia muito fina ( $\phi = 3,5$ ). A classificação por frequência simples é de 100% areia. As maiores frequências ficaram entre  $\phi = 2,0$  a  $\phi = 3,5$ .

A areia da linha d'água variou de 0,25 mm ( $\phi = 2$ ) a 0,125 mm (areia muito fina,  $\phi = 4$ ) e a maior frequência ficou entre  $\phi = 2,5$  a  $\phi = 3,5$ .

- Observou-se que no conjunto de 7 amostras coletadas os sedimentos tinham aspectos texturais sacaroidal, mamelonado e liso, em torno de 10%, 85%, e 5% respectivamente. Também foi constatada a presença de grânulos de conchas e carbonatos na porcentagem média de 0,5 % das amostras de sedimentos. A esfericidade dos grãos foi de média para boa. No aspecto arredondamento, a média dos grãos foi sub-arredondado.

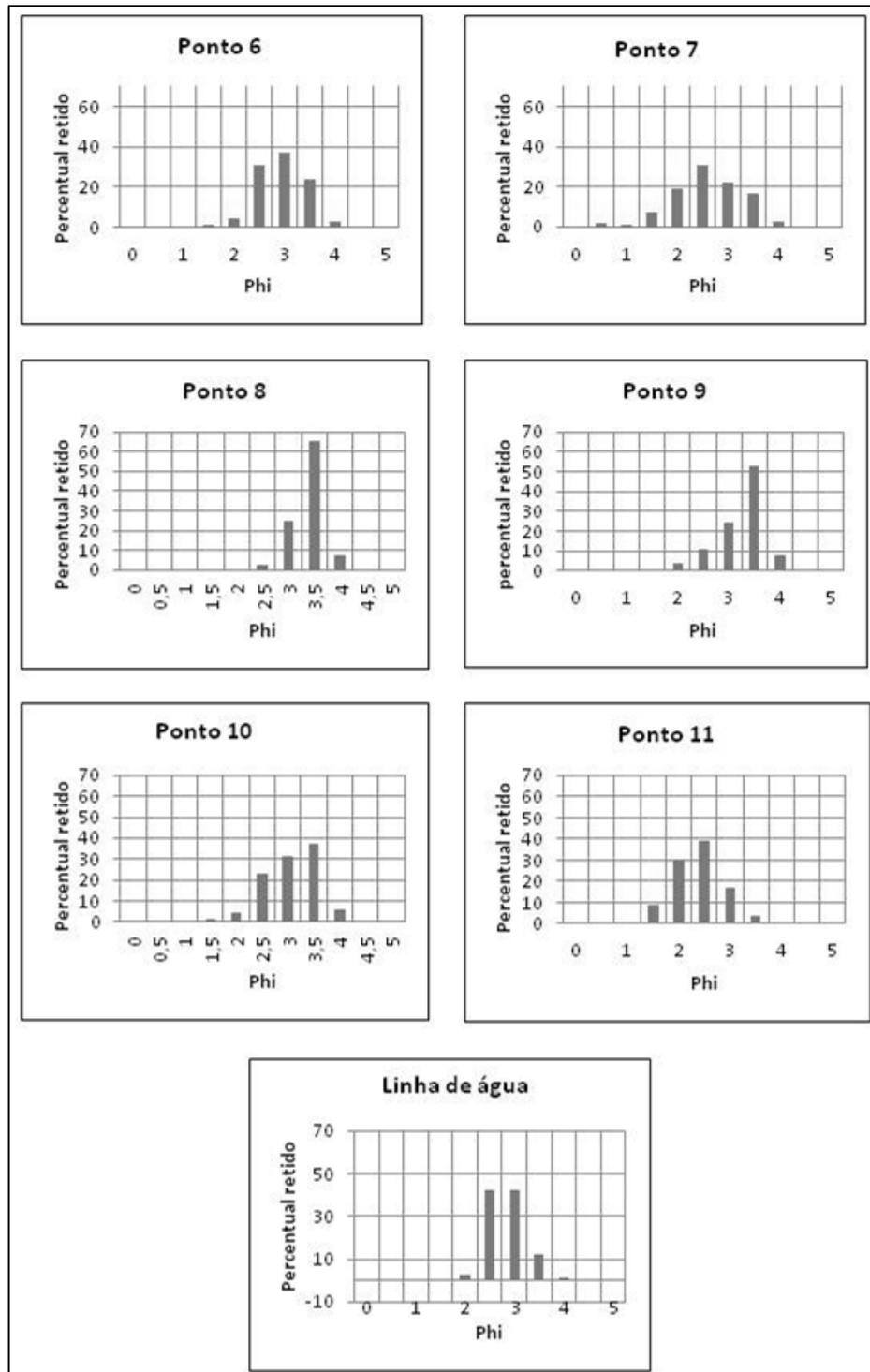
- Gráficos de amostras de fundo: os pontos Aux. 6, 7, 8, 9, 10, 11 e linha de água estão mostrados na figura 18 e estão respectivamente a 110 m, 140 m, 180 m, 210 m, 235 m, e 250 m do início da plataforma (Figura 18).

#### 4.1.2 Amostras de suspensão

Abaixo apresentamos uma tabela com o peso total das amostras de suspensão coletadas em cada saída (Tabela 2).

**Tabela 2.** Peso total dos sedimentos em suspensão coletados nas cinco saídas.

Saída 22-07-2011	Suspensão total = 8,88 gramas (inverno)
Saída 02-09-2011	Suspensão total = 11,45 gramas (inverno)
Saída 10-10-2011	Suspensão total = 13,77 gramas (primavera)
Saída 17-11-2011	Suspensão total = 5,96 gramas (primavera)
Saída 02-12-2011	Suspensão total = 24,94 gramas (primavera)



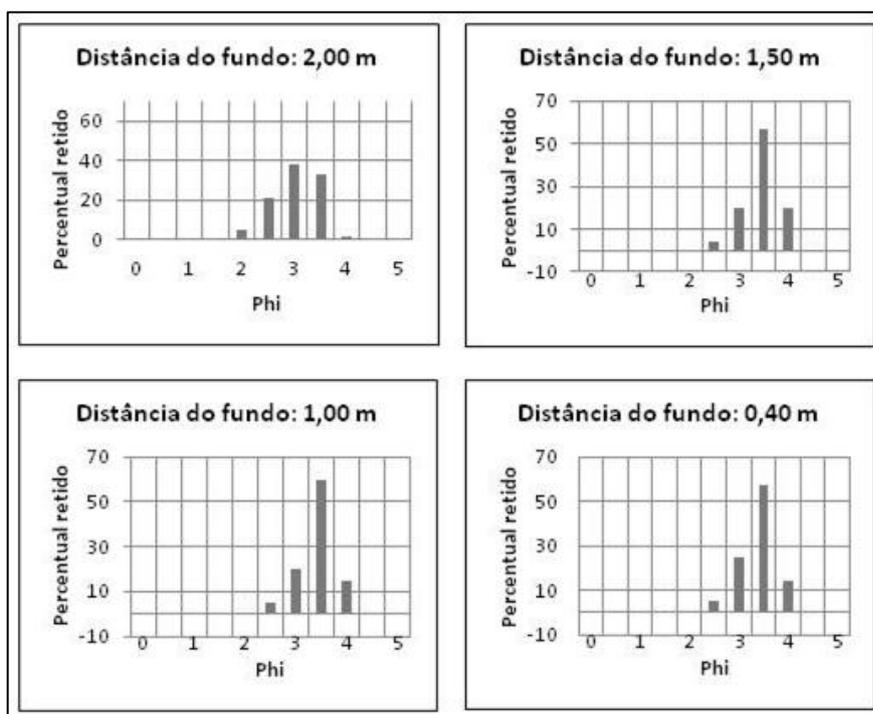
**Figura 18.** Gráficos das amostras de fundo e seus respectivos pontos.

As amostras de suspensão, no ponto de coleta Aux.11, estava a uma distância de 250m do início da plataforma. A profundidade do local naquele dia estava em 2,70 m.

Constatamos que as maiores concentrações foram encontradas nas cotas de 40 cm e, as demais a 1,00 m, 1,50 m, e 2,00 m. Estas se equipararam, com menores valores das concentrações. Este resultado foi semelhante para todas as outras amostras.

O tamanho médio predominante é 3,5 phi (0,088 mm) classificado como areia muito fina de acordo com escala Wentworth (1922). As distâncias das cotas são a partir do fundo, ver gráficos abaixo.

- Gráficos de amostras de suspensão (Figura 19). Estas coletas foram feitas no ponto Aux. 11, para fins de comparação com o material de fundo que está referenciado na figura 18.



**Figura 19.** Amostras de suspensão coletadas nas respectivas cotas.

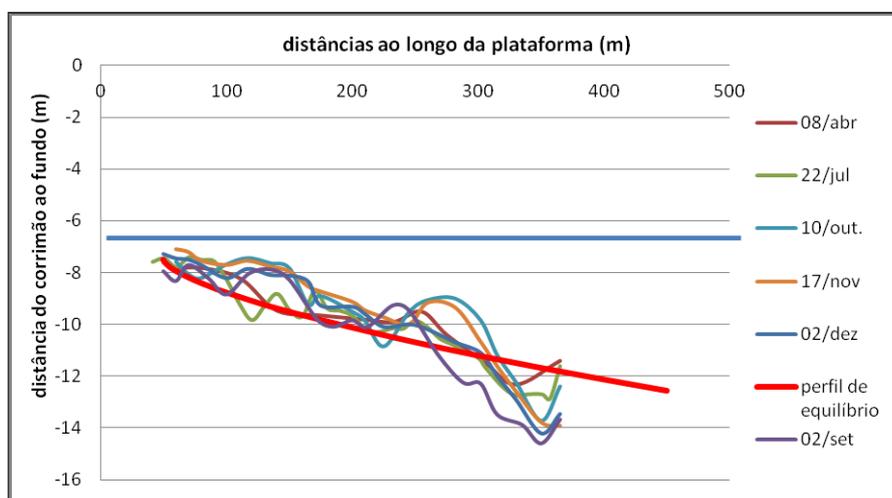
## 4.2 Perfil praial

O perfil foi medido no caso ao longo da plataforma. O espaçamento entre os pontos foi de 10m a 20m. Este espaçamento foi determinado em função da execução de trabalhos de manutenção da estrutura, no entanto procurou-se manter um padrão.

Os levantamentos dos perfis de praia, num total de 6 perfis (Figura 20), mostraram a topografia desde um ponto da plataforma onde inicia o espraiamento atravessando a zona de surfe até o início da primeira rebentação dentro do limite da plataforma. Observou-se que

os perfis mudam a sua forma em todos os momentos levantados. Apresentam no modo geral uma topografia suave com bancos e cavas.

A figura 20 apresenta o conjunto dos perfis medidos e o perfil de equilíbrio de Dean.



**Figura 20.** Levantamento de 6 perfis ao longo de um ano com perfil de equilíbrio teórico. A linha reta é o nível d'água.

Abaixo descrição da equação para o perfil de equilíbrio.

**Equação 2:** Perfil de equilíbrio  $d_x = A x^m$

onde:

$d_x$  = profundidade na referida distância (m);

A = parâmetro escalar empírico (-);

x = distância da linha de costa (m);

m = coeficiente numérico = 2/3 (-).

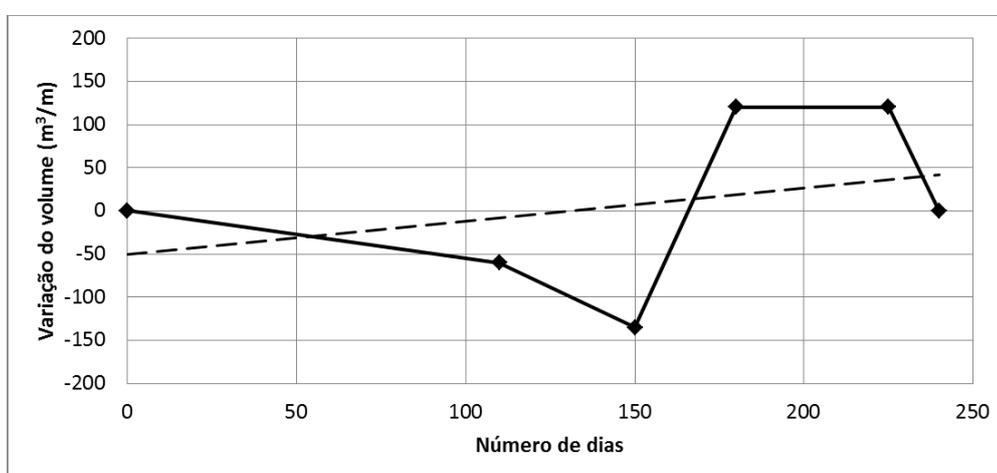
Para o local de trabalho, o valor de A, determinado para areia com diâmetro médio de 0,17 mm foi A = 0,0897.

Através dos perfis levantados é possível a criação de modelos morfodinâmicos que comparam a morfologia da praia com a ação das ondas incidentes (WRIGHT; SHORT, 1984; SUNAMURA, 1988).

O gráfico da figura 21 mostra a variação volumétrica do perfil de praia sob a plataforma, tomando como referência o primeiro levantamento. A segunda saída (110º dia) a

praia naquele instante tendia para uma retirada de sedimentos (erosão). No 150º dia, terceira saída, a praia naquele momento continuava com retirada de sedimentos, porém mais acentuada. No 180º dia, quarta saída, a praia sofreu uma significativa acresção de sedimentos. No 230º dia, quinta saída, a praia permaneceu estável.

E em torno do 250º dia, a sexta saída, a praia naquele instante voltava a perder sedimentos. Estes dados foram coletados em curto espaço de tempo, menos de um ano, entretanto constatamos que no período medido, houve uma tendência de engordamento do perfil, da ordem de 7,8 m<sup>3</sup>/m/dia.



**Figura 21.** Estimativa da variação do volume do perfil em relação ao primeiro levantamento, com linha de tendência.

### 4.3 Clima de ondas utilizado para o cálculo do transporte

Os dados de ondas foram obtidos da NOAA, pelo modelo global de previsões de ondas da NOAA/NCEP WAVEWATCH III para o ano de 2009. Este modelo gera dados de altura, período e direção das ondas para águas profundas, ( $H_{so}$ ,  $T$ ,  $\alpha_o$ ), registra dados a cada três horas, num total de 2782 valores.

Para obtenção dos parâmetros da onda junto à zona de arrebentação, foi utilizada a Teoria das Ondas de Pequena Amplitude (AIRY, 1845 *apud* Castanho, 1966). O azimute da perpendicular à linha de praia, para fins de cálculo dos parâmetros ondulatórios na zona arrebentação, foi considerado em 114,4º, num lugar mais próximo à Plataforma de Pesca de Tramandaí. Os parâmetros de ondas na zona de arrebentação também foram obtidos durante os trabalhos em campo.

Para determinação dos parâmetros ondulatórios ( $H_a$ ,  $\alpha_a$ ) na arrebentação foi utilizado o procedimento proposto por Herbich (2000) descrito abaixo.

Cálculo da onda no ponto de arrebentação:

$$\text{Equação 3: } H_a = 0,76 \operatorname{tg}\beta^{\frac{1}{7}} \left(\frac{H'_o}{L_o}\right)^{-\frac{1}{4}} (\cos \alpha_o)^{\frac{3}{8}} H'_o$$

onde:

$H_a$  = altura da onda na arrebentação (m);

$H'_o$  = altura da onda em águas profundas, sem influência da refração (m);

$\operatorname{tg}\beta$  = declividade do perfil (-);

$L_o$  = comprimento de onda em águas profundas (m);

$\alpha_o$  = ângulo de incidência (graus).

$$\text{Equação 4: } d_a = \frac{H_a}{b-a} \left(\frac{H_a}{gT^2}\right)$$

onde:

$d_a$  = profundidade na arrebentação (WEGEL, 1972), (m)

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );

$T$  = período (s)

$H_a$  = altura da onda na arrebentação (m);

$$a = 43,8 (1 - e^{-19 \tan \beta})$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5 \tan \beta})}$$

$$\text{Equação 5: } \alpha_a = \arcsen\left(\frac{L_a \operatorname{sen} \alpha_o}{L_o}\right)$$

onde :

$\alpha_a$  = ângulo de incidência da onda no ponto de arrebentação ( $^\circ$ );

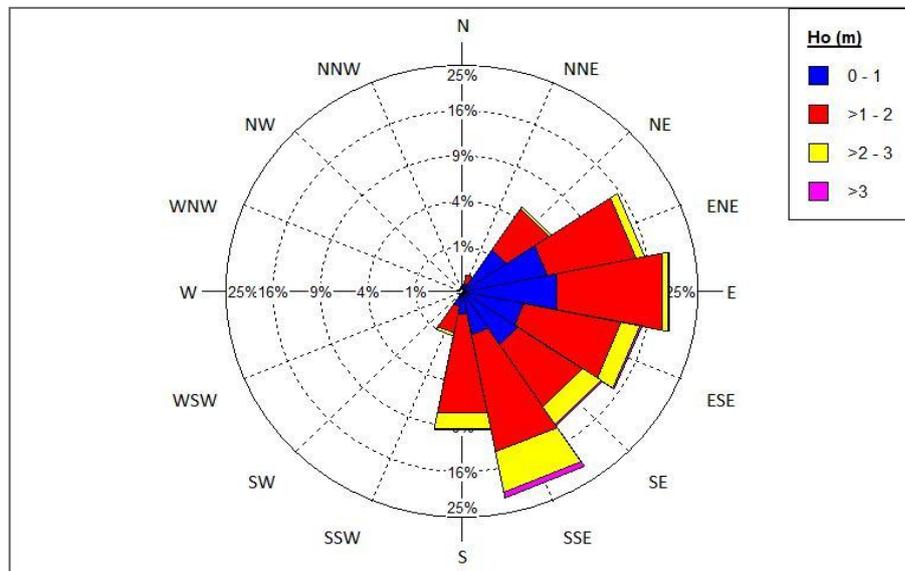
$L_a$  = comprimento de onda na arrebentação (m);

$L_o$  = comprimento de onda em águas profundas (m).

A partir dos dados em águas profundas (AP) e na arrebentação, foram construídos os histogramas mostrados nas figuras 22 e 23.

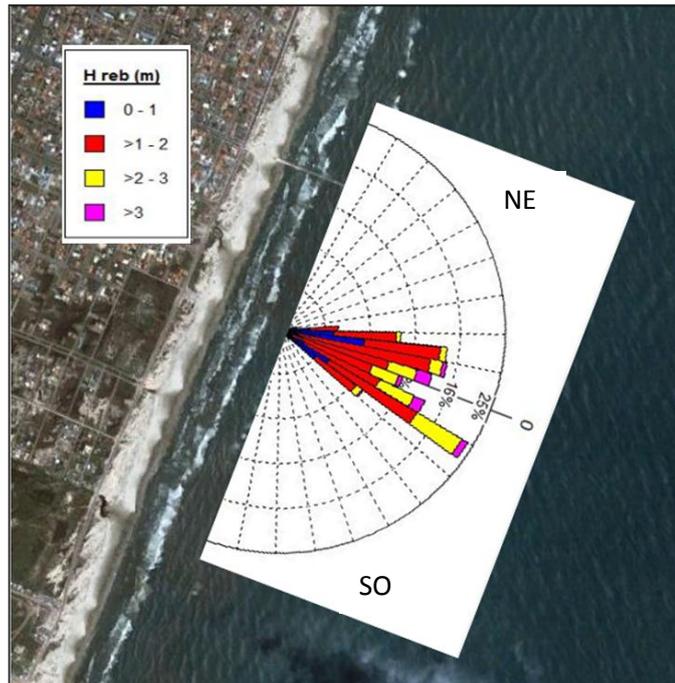
A figura 22 mostra a direção de proveniência das ondas em AP (águas profundas). O gráfico mostra uma predominância de ondas com alturas entre 1,0 e 2,0 m, relativamente bem distribuídas. Para as ondas de maior energia ( $H_o > 2$  m), aparece uma forte

predominância de SSE, enquanto as menos energéticas predominam de E. Os círculos representam porcentagem de ocorrência. A altura das ondas está representada na legenda.



**Figura 22.** O histograma mostra a direção de ondas em AP para região de Tramandaí (2009).

A figura 23 mostra os dados de ondas de águas profundas transferidos para a zona de arrebentação. Este histograma mostra a distribuição dos dados junto à zona de arrebentação, no entorno da perpendicular à linha de praia, a intervalos de 10°. O gráfico mostra uma maior predominância das ondas mais energéticas, do “quadrante SO”, com geração de um transporte longitudinal mais efetivo, de SO para NE.



**Figura 23.** O histograma mostra a direção de proveniência das ondas na zona de arrebentação.

## 4.4 Cálculo da taxa de transporte de sedimentos

### 4.4.1 Metodologia utilizada

Utilizando o clima de ondas descrito acima, foram estimadas as taxas do transporte longitudinal. Para tanto foi desenvolvida uma metodologia, descrita a seguir, permitindo a integração dos dados de concentração de sedimentos em suspensão obtidos ao longo dos trabalhos de praia, com o clima de ondas. Isso possibilitou uma estimativa do transporte volumétrico anual, possibilitando uma comparação com estimativas obtidas a partir de algumas equações disponíveis na literatura: CERC (1984), CEM (2001), KAMPHUIS (1991), VAN RIJN (2001, 2001a).

O fluxograma a seguir ilustra a metodologia de trabalho para cálculo do transporte longitudinal, integrando dados dos levantamentos de praia (batimetria, sedimento de fundo e sedimento em suspensão) e o clima de ondas (Figura 24).



**Equação 6:**  $C_T = 0,0003S^2 + 0,1173 S$

onde:  $C_T$  = concentração total, definida como a quantidade total de sedimentos em suspensão, por metro linear de praia numa dada área (kg/m);

$$S = \text{área molhada (m}^2\text{)}$$

A taxa de transporte de sedimentos (Equação 7) foi obtida pelo produto entre a concentração total obtida pela (Equação 6) e a velocidade de corrente (LONGUET-HIGGINS,1970) (Equação 8).

**Equação 7:**  $Q_s = C_T V$

onde:  $Q_s$  = quantidade de sedimentos transportado em um segundo (kg/s)

**Equação 8:**  $V = 20,7 \operatorname{tg}\beta \sqrt{gH_a} \operatorname{sen}(2 \alpha_a)$

onde:

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );

$\alpha_a$  = ângulo de incidência (graus);

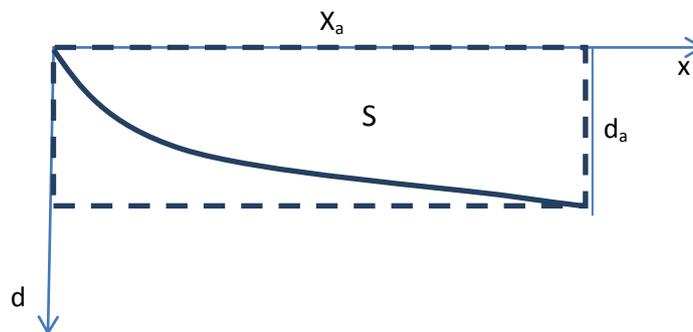
$\operatorname{tg}\beta$  = declividade do perfil ( - );

$H_a$  = altura no ponto de rebentação (m).

Os valores das velocidades longitudinais encontrados ficaram entre 0,2 m/s e 1,16 m/s. Em seguida determinamos o perfil de equilíbrio utilizando a equação de Dean (1977), ver equação 1. Após foi calculada a área molhada (S) entre o ponto de arrebatção e a linha de praia (Equação 9).

- para o cálculo da área molhada utilizando o perfil de equilíbrio, foi feito pela equação 3.

**Equação 9:** Área molhada: 
$$S = x_a \cdot d_a - \int_0^{d_a} \frac{1}{A} dd$$



**Figura 25.** Esquema utilizado para o cálculo.

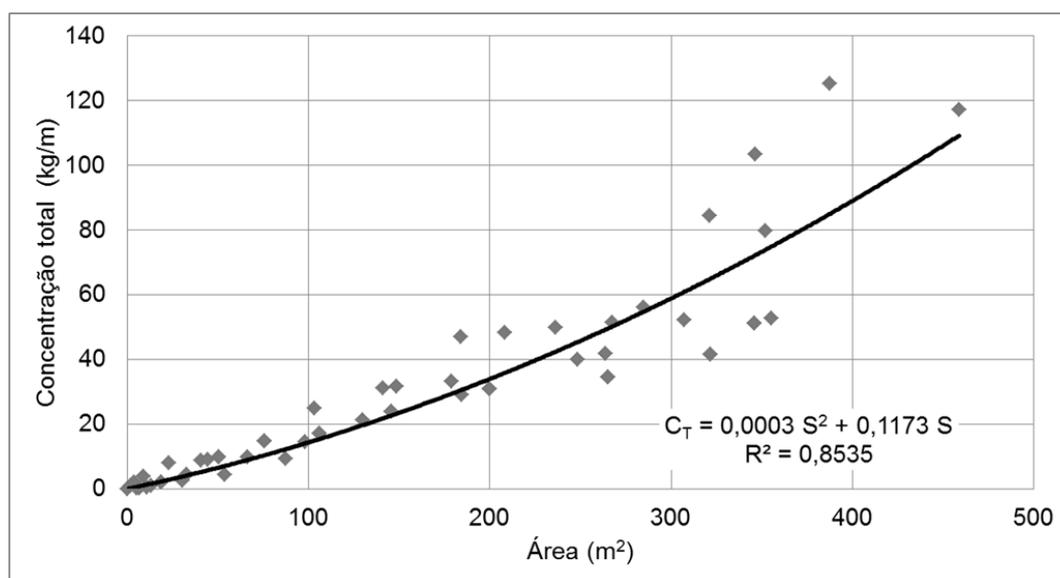
onde:

$S$  = área molhada ( $m^2$ );

$d_a$  = profundidade no ponto de arrebitação (m);

$x_a$  = distância da linha de praia até o ponto de arrebitação (m).

Correlacionando os dados de concentração e as áreas medidas, foi possível construir o gráfico abaixo (Figura 26).



**Figura 26.** Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão ( $C_T$ ) e a área na zona de arrebitação ( $S$ ).

- Neste outro modo usamos as equações de transporte mencionadas acima aplicada aos dados de ondas para estimar a taxa de transporte longitudinal.

Equações utilizadas:

A partir dos parâmetros  $H_a$  e  $\alpha_a$ , e com a declividade do perfil ( $\text{tg}\beta$ ) calculada no ponto de arrebenção, usamos as equações abaixo para estimar o volume de sedimentos transportados. Para fins de comparação foram utilizadas diversas equações propostas por diferentes autores (VAN RIJN, 2001,2002).

**Equação 10:** (CEM, 2001): 
$$Q_{(m^3/s)} = K \left( \frac{\rho \sqrt{g}}{16\kappa^2(\rho_s - \rho)(1-n)} \right) H_a^{5/2} \text{sen}(2\alpha_a)$$

onde:

$\kappa$  = índice de arrebenção

$n$  = índice de vazios (0,4)

$$K = 0,05 + 2,6 \text{sen}^2(2\alpha_a) + 0,007 \frac{U_{ma}}{W_q}$$

Constante K em função do ângulo de incidência na quebra ( $\alpha_a$ ) e em relação a magnitude da velocidade orbital da componente horizontal antes da rebentação ( $U_{ma}$ ) e da velocidade de queda do sedimento ( $W_q$ ).

**Equação 11:** (CERC,1984): 
$$Q_{\left(\frac{m^3}{s}\right)} = 0,023 H_a^2 \sqrt{g d_a \text{sen}(2\alpha_a)}$$

**Equação 12:** (KAMPHUIS, 1991): 
$$Q_{(kg/s)} = 2,33 T^{1,5} (\text{tg}\beta)^{0,75} D_{50}^{-0,25} H_a^2 (2\alpha)^{0,6}$$

**Equação 13:** (VAN RIJN, 2001): 
$$Q_{(kg/s)} = 128 H_a^{2,5} \text{sen}(2\alpha_a)$$

**Equação 14:** (VAN RIJN, 2001a): 
$$Q_{(kg/s)} = 40 H_a^3 \text{sen}(2\alpha_a)$$

onde:

$Q$  = volume de sedimentos ( $m^3/\text{ano}$ );

$H_a$  = altura da onda no ponto de arrebenção (m);

$\alpha_a$  = ângulo de incidência da onda no ponto de rebentação (graus);

$g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

$d_a$  = profundidade no ponto de rebentação (m).

$D_{50}$  = diâmetro médio do sedimento (m).

A tabela 3 apresenta os valores encontrados para o cálculo do transporte segundo as equações descritas acima e valores encontrados com dados de campo.

**Tabela 3.** Valores da taxa de transporte

<b>Autor</b>	<b>Q (<math>m^3</math>/ano)</b>
CERC, 1984	1.145.232,8
Kamphuis, 1991	124.127,4
Van Rijn, 2001	764.147,9
Van Rijn 2001a	417.378,6
CEM, 2001	1.756.000,7
Ma, 2012 (dados de campo)	314.799,1

Aqui faremos algumas considerações a respeito das fórmulas usadas.

- A fórmula do CERC é limitada. Os valores são geralmente superestimados. Para os volumes estimados a porcentagem de acerto é entorno de 50%, só é válida em condições pequenos de fluxos de maré. A fórmula não leva em consideração o tipo de arrebatamento e o tamanho do grão de areia que são parâmetros importantes para totalizar a taxa de transporte (WANG *et al.*, 1998). A fórmula é mais precisa se K for calibrado para cada situação. No entanto, a equação CERC continua sendo útil, principalmente por causa da sua simplicidade. O Manual de Proteção da Costa recomenda o valor de  $K$  (sig) = 0,39 e  $K$  (rms) = 0,78.

- O modelo matemático de Kamphuis (1991) foi desenvolvido a partir da equação anterior de (1986). Neste trabalho Kamphuis estudou a taxa de transporte longitudinal de sedimentos em uma bacia de ondas de fundo móvel considerando ondas regulares e irregulares. Foram registrados simultaneamente dados de alturas de onda na zona do surfe, ângulos de arrebatamento da onda, e a distribuição da carga de sedimentos suspensos transportado. Foi apresentada uma expressão matemática que relaciona a taxa de transporte à esbeltez da onda, à inclinação da praia, ao tamanho do grão, e ao ângulo de quebra. O ponto de partida foi estabelecer uma relação funcional entre os parâmetros que envolvem a onda, o meio, os

sedimentos e o perfil praiial. Devido ao grande número de parâmetros utilizados foi realizado um agrupamento deles segundo seus efeitos.

A nova equação apresentada é aplicável tanto em campo como em dados de modelo. Essa expressão é mais sensível ao período da onda que as anteriores, aumenta com o aumento da inclinação da praia e varia inversamente com o tamanho dos grãos.

O expoente da função *seno* não é unitário como nas anteriores, o que segundo o autor ajusta melhor a influência do ângulo de arrebentação no transporte de sedimentos, uma vez que em todas as expressões de transporte apresentadas anteriormente os expoentes unitários superestimam a taxa de transporte para grandes ângulos de incidência (VAN RIJN, 2001; KAMPHUIS, 1991; WANG *et al.* 1998).

- A fórmula de Van Rijn baseou-se no modelo computacional chamado de CROSMOR 2000 onde todos os dados foram parametrizados e implementados, e que resultou em uma fórmula simplificada. É uma expressão geral similar a CERC e de Kamphuis para estimar a taxa do transporte longitudinal, porém neste está incluído cascalho e seixos e efeito da declividade e velocidade de maré. Para medições de areia o tamanho do grão deve estar entre 0,15 a 0,5 mm e declividade entre 0,02 a 0,1 graus. Comparando com a fórmula de Kamphuis o tamanho do grão tem efeito maior do que a declividade do fundo.

- A fórmula de CEM (2001) se baseia no pressuposto de que a taxa total de transporte longitudinal de sedimentos é proporcional ao fluxo de energia. O fluxo de energia pode ser relacionado, ao fluxo de material sólido transportado longitudinalmente expresso em peso imerso de material. Em relação ao K várias tentativas foram feitas para modificar o coeficiente para melhorar a fórmula. Um trabalho pioneiro foi desenvolvido por Bagnold na década de 1960 e após, outro foi desenvolvido por Komar e Inman (1970). Para uma descrição mais detalhada do desenvolvimento, ver Dean e Dalrymple (2004).

Visto que a influência do tamanho de grão e da declividade não são levados em conta, pois existe uma relação entre o tamanho de grão e a inclinação da praia, e que as variações na inclinação da praia também pode modificar a taxa de transporte. Dean, 1978, 1989; Walton e Chui, 1979; Bruno *et al.*, 1980; Dean *et al.*, 1982; Dean, 1989; Dean e Dalrymple, 2002 (KING, 2005) concluíram que a taxa de transporte deve diminuir à medida que aumenta o tamanho do grão. O tamanho do grão e do coeficiente K na fórmula devem ser calibrado quando for medir a taxa de transporte. Uma abordagem mais realista embora ainda bem simplificada seria de que para os sedimentos de grão fino ( $D_{50}$ ) deva estar na

ordem de 0,15 a 0,30 mm, para um transporte de carga suspensa dominante ( WANG *et al.*, 2002; VAN RIJN, 2002).

Komar (1988) examinou a maioria dos dados de campo disponíveis, e questionou a validade de alguns dados. Ele concluiu que os dados existentes, a maioria dos quais foram para a areia de praia, mostrou pouca relação entre K e tamanho de grão.

A teoria e os dados mostraram uma tendência decrescente de K com aumento do tamanho de grão, mas os dados foram muito limitados para estabelecer uma correlação. Komar havia salientado que K deve depender do tamanho do grão e na ausência de relacionamento, a análise resulta em uma imperfeição na correlação dos dados.

Para o tamanho de grãos de areia ele recomendou um  $K (rms) = 0,57$ , com base em 70 pontos de dados. Em comparação, Kraus *et al.* (1982) usaram 25 pontos de dados para recomendar um valor de  $K (rms) = 0,58$  (VAN RIJN, 2001; KAMPHUIS, 1991; WANG *et al.* 2002).

Schoonees e Theron (1993) compilaram e analisaram 35 conjuntos de dados contendo 273 medições de taxa de transporte. Eles criaram um sistema de classificação e avaliaram a qualidade dos conjuntos. Em seguida, Schoonees e Theron (1994) utilizando partes do conjunto de dados para avaliar a fórmula CERC dividiram os dados para aqueles com tamanhos de grão inferior a 1 mm e aqueles maiores. Para um conjunto de dados (206 pontos) de grão inferior a 1 mm eles encontraram um melhor ajuste para K (sig) com um valor de 0,20. Se apenas os conjuntos de dados de alta confiança forem utilizados (conforme Schoonees e Theron 1993, 46 pontos de dados), obteriam um melhor ajuste para K (sig) um valor de 0,41.

Para um conjunto de dados com o sedimento maior do que 1 mm (34 pontos de dados), obtiveram  $K (sig) = 0,01$ . É claramente aceito que existe uma relação entre o termo K do CERC e tamanho de grão. Outras fórmulações relacionando estas duas variáveis foram propostas por vários outros pesquisadores. Elas não serão descritos aqui por não ser o objetivo principal do trabalho, apenas apresentamos alguns exemplos. Para uma consulta mais aprofundada ler King (2005), *Influence of grain size on sediment transport rates with emphasis on the total longshore rate. U.S. Army Corps of Engineers.*

- Usando somente dados coletados de campo estimamos os valores diários.

A tabela seguinte mostra o cálculo do volume transportado de sedimentos de suspensão em função da concentração total de cada saída pela velocidade média da

corrente longitudinal medida. Cabe ressaltar que os valores obtidos são pontuais para aquela saída (Tabela 4). Se as condições se mantivessem o ano inteiro os valores seriam:

**Tabela 4.** Valores de transporte de sedimentos encontrados para cada saída. A = área total, Ct = concentração total, V = velocidade média da corrente, Qv = volume total transportado por ano, Qv = volume total transportado por dia.

	A (m <sup>2</sup> )	Ct (kg/m)	V (m/s)	Qv (m <sup>3</sup> /dia)
Saída 19-05	458,70	117,06	0,23	877,69
Saída 22-07	355,03	52,00	0,50	847,70
Saída 02-09	387,37	103,72	0,80	2705,13
Saída 10-10	411,31	185,94	não observado	não estimado
Saída 17-11	345,90	51,22	0,63	1051,79
Saída 02-12	602,10	606,29	1,49	não estimado

Os valores encontrados são de resultantes com sentido Sudeste/Nordeste.

#### 4.5 Cálculo de ômega, e declividade do local

- Cálculo do valor de ômega para classificar o tipo de praia.

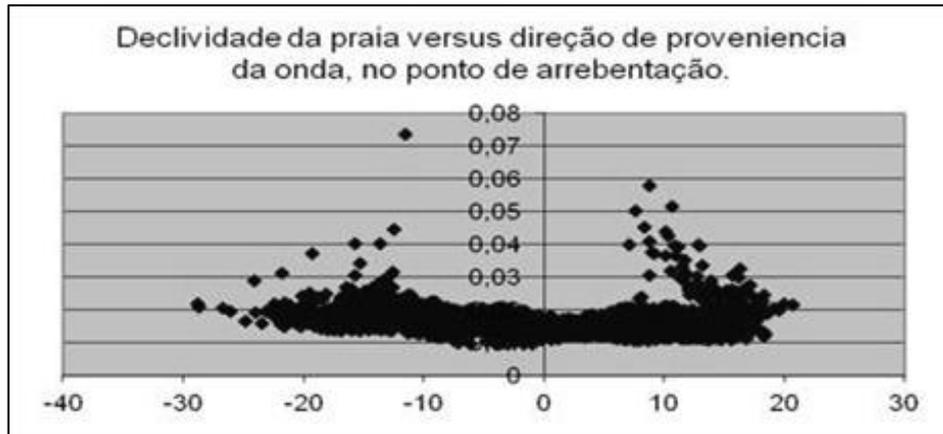
Calculamos os valores utilizando a equação 1, em função da altura na rebentação e do respectivo período e do diâmetro médio dos sedimentos, D<sub>50</sub>.

Pelos valores encontrados de acordo com a tabela 1, a praia é dissipativa. Os valores de ômega encontrados mostraram na maioria valores acima de 5,5 indicando uma praia dissipativa.

Uma outra maneira de calcular o tipo de praia é usando o método de Dean de 1973 (CERC, 1984) usando dados de onda em AP. Encontramos também valores de ômega acima de 5,5.

- Cálculo da declividade do local .

Os valores encontrados para a declividade (tg β) oscilaram entre 0,01 grau e 0,02 grau (Figura 27).



**Figura 27.** Gráfico mostra a declividade teórica, tirada do cálculo dos perfis de equilíbrio da praia. O ângulo de aproximação da onda em relação à perpendicular à praia (positivos ondas do Norte; negativos ondas do Sul)(graus).

## 5. ANÁLISE, DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 Perfil de fundo e material em suspensão

As medições foram feitas no ano de 2011, de abril a dezembro. A obtenção dos dados teve alguma irregularidade devido à disponibilidade de viaturas, problemas climáticos e de recursos. Apesar disso foram colhidas informações a respeito da mobilidade do perfil do sedimento de fundo, das correntes longitudinais e da eficiência dos amostradores nas coletas de material em suspensão.

Verificamos que a maior quantidade de sedimentos foi na sétima saída de campo, 02 de dezembro, após uma tempestade. Este dia foi atípico, pois o mar não estava regular como nas outras saídas. A zona de surfe era bem maior, as ondas apresentavam alturas em torno de 2 m a 3 m com arrebentação se formando além da plataforma, e correntes longitudinais extremamente fortes e modificadas pela presença da estrutura, dificultando a coleta, e gerando dados inconsistentes, inclusive com a perda de amostradores. Por esta razão foi desconsiderado para fins de cálculo.

O perfil praial de cada saída apresentou inclinações suaves com mobilidade e rearranjo dos bancos e cavas devido a diferentes energias de onda. O perfil medido é o perfil ao longo da plataforma. A região faz parte do prisma praial onde ocorrem as trocas de sedimentos e mudanças morfológicas, e esta se limita entre a profundidade de fechamento e o pé da primeira duna frontal.

A praia é dissipativa com larga zona de surfe, apresenta na maioria das vezes duas ou mais linhas de arrebentação, o perfil geralmente é suave com baixa inclinação. Os bancos arenosos apresentam-se dispostos longitudinalmente à linha de praia.

Quanto à coleta de sedimentos de suspensão a armadilha de sedimentos mostrou-se estável e aplicável na zona de surfe do trecho de praia estudado. Nas campanhas de menor energia incidente, foi verificada uma diminuição nas coletas de sedimentos a partir do leito, e uma diminuição da área de surfe, o que não ocorreu em campanhas de altas energias incidentes.

Através dos resultados obtidos foi possível perceber uma boa homogeneidade na concentração dos sedimentos em suspensão ao longo do perfil, mostrando uma melhor correlação com a área na zona de arrebentação do que com a altura das ondas. Estas características já tinham sido observadas em medições praias por CASAL (2009).

A escolha dos pontos foi aleatória e espaçada uma da outra, de mais ou menos 15m, determinada pela possibilidade de avanço na arrebentação e existência de bancos ou cavas, observados durante o levantamento batimétrico. No apêndice 1 encontram-se os gráficos de barra que contém as concentrações do material particulado em suspensão distribuídos na coluna vertical e foram calculados em gramas por litro.

Não foi possível correlacionar às épocas que apresentam maiores concentrações isto é devido à energia das ondas serem similares durante o ano inteiro.

A granulometria foi expressa por meio do diâmetro médio da partícula, sendo  $D_{50}$  com valores em torno de 0,17 mm para fins de cálculo.

A turbulência gerada pelas ondas pode gerar muitos vórtices, que se propagam em direção à linha de costa e influenciam na concentração de sedimentos em todas as profundidades.

## **5.2 Transporte de sedimentos**

Comparando os valores das taxas de sedimentos transportados, calculados a partir do clima de ondas (método empírico) e os resultados obtidos em campo, observou-se que superestimam o valor obtido com dados de campo (método semi-empírico). Os valores mais altos foram a do CEM (2001) e do CERC (1984). Os valores intermediários encontrados são das fórmulas de Van Rijn (2001, 2001a). O valor mais próximo foi encontrado usando a fórmula de Van Rijn (2001a). Os valores são bem distintos. A explicação pode estar na utilização ou omissão de certos parâmetros como, por exemplo, diâmetro de grãos diferentes, declividade, tipos de onda e outros valores para K. Equações discutidas no capítulo 4.4.2.

A análise dos dados foi feita utilizando três modos de cálculo;

- equações apresentadas na literatura especializada;
- sistemática desenvolvida a partir da hipótese da correlação entre quantidade em suspensão e área da zona de arrebentação;
- cálculo hipotético com valores obtidos diretamente nas saídas de campo.

Os valores encontrados no terceiro modo usando apenas dados coletados de campo apresentaram valores perto dos calculados pelas fórmulas de Van Rijn (2001a). Deve-se ressaltar que os valores são pontuais para aquela saída e se as condições se mantivessem o ano inteiro os valores seriam estes.

O que deu para notar é que a quantificação do transporte de sedimentos consiste ainda em sua grande maioria, em aplicações de modelos matemáticos com base em dados de ondas que também são gerados através de modelos (**e.g.** LIMA *et al.*, 2001; BITTENCOURT *et al.*, 2003; WILLIAMS; ESTEVES, 2004). Sendo que para cada modelo são variáveis diferentes. A quantificação do transporte de sedimentos com dados reais de campo ainda apresenta dificuldades pela escassez de dados.

Conforme já referido existe enorme dificuldade em se obter dados quantitativos de campo sobre o transporte de sedimentos na zona de surfe. E isto se deve a uma série de fatores, tais como: a dificuldade e o risco de se instalar equipamentos sensíveis em um ambiente de alta energia e sujeito ao embate das ondas; às limitações dos instrumentos em se obter dados confiáveis e alto custo dos materiais. Neste quesito a aplicação de armadilhas de sedimento ainda é um método simples, relativamente eficiente e de baixo custo.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em virtude da enorme complexidade dos parâmetros envolvidos no estudo do transporte de sedimentos, o grau de precisão na quantificação deste transporte é relativamente pequeno, com diferenças bastante significativas entre os valores calculados, conforme se observa na tabela (3). A complexidade fica muito maior considerando que os processos estão sempre associados e não são lineares, dificultando delimitações e também generalizações. As dificuldades também estão relacionadas às restrições na coleta de dados e também limitações nas descrições matemáticas.

Devido ao pequeno volume das amostras foi muito difícil de precisá-las, os valores giravam na ordem de décimos a centésimos de grama, o que dificultava muito na preparação das amostras.

O trabalho realizado mostra que o uso das equações de modelos matemáticos é válido para quantificar o volume de sedimentos transportados. O resultado de informações apesar de não serem precisas e concordantes entre si refletem em acordo com as direções e sentidos do transporte pela corrente longitudinal. Até o presente momento não há nenhum trabalho nesse sentido, coleta de material em suspensão, para esta região para que possa ser comparado o resultado.

A quantidade transportada de sedimentos em suspensão deverá mostrar uma proporcionalidade entre a altura da onda na rebentação mais a velocidade de propagação da onda paralela à praia em relação à velocidade da corrente longitudinal. A determinação da relação de proporcionalidade não deve ser fácil do ponto de vista técnico em virtude de aparelhagem caro e sofisticado e de alto custo financeiro.

Existem poucos dados de campo que contribuam ao estudo do transporte de sedimentos, estes estão geralmente enfocados nas variações quantitativas do fluxo e não qualitativo e na obtenção de taxas reais de transporte, deixando uma lacuna sobre a distribuição desses sedimentos na coluna de água durante o processo.

A realização de perfis topográficos praias mensais e também durante diferentes condições de mar é fundamental para o reconhecimento da dinâmica de transporte sedimentar em uma determinada região costeira.

Dados sobre as variações na distribuição granulométrica dos sedimentos na zona de surfe são úteis para compreender melhor a influência das ondas e correntes na zona de

surfe quanto a dissipação de energia, os efeitos da turbulência e da tensão de cisalhamento com o fundo.

Ressaltamos:

- os dados de ondas obtidos do NOAA/NCEP/Wavewatch III mostraram-se adequados para o estudo do transporte no litoral norte do Rio Grande do Sul. Entretanto recomenda-se a implementação de campanhas de coletas de dados de ondas através de ondógrafos.

- conforme observado nos resultados dos cálculos utilizando equações, as estimativas sobre os volumes transportados a partir de dados de ondas podem subestimar ou superestimar os valores reais, o que torna imprescindível a observação e medição das condições in situ, possibilitando uma adequada verificação e adequação da(s) equação (ões) utilizada(s).

- os perfis obtidos mostram uma praia de tendência estável. Salientamos o curto período de observação. Sugerimos a execução de campanhas de levantamentos sistemáticos de longo período.

- a praia por ser extensa e aberta apresenta ondas de alta energia;

- o valor encontrado para o volume de sedimentos com dados colhidos em campo foi superior se comparado com a fórmula de Kamphuis (1991) e inferior comparado com outros valores obtidos de transporte com dados de ondas do NOAA;

- os valores de  $\omega$  encontrados indicam a praia como dissipativa;

- quanto à coleta de sedimentos de suspensão, a armadilha de sedimentos mostrou-se estável e aplicável na zona de surfe para ondas não tempestuosas do trecho estudado da praia de Tramandaí. Nas campanhas de maior energia incidente foi verificado um aumento no volume de sedimentos a partir do leito, o que não ocorre em campanhas de baixa energia. O trecho da praia estudado é constituído de areia média a fina, pois em todos os níveis de coleta da armadilha o material coletado pode ser assim classificado;

- também se verificou que as maiores concentrações situavam-se a uma distância em torno de 250 m a partir da plataforma indicando local de ondas de maior energia;

- a turbulência gerada pelas ondas junto a estrutura da plataforma pode gerar muitos vórtices, que se propagam em direção à linha de costa e influenciam na concentração de sedimentos em todas as profundidades.

Com o objetivo de gerar previsões mais confiáveis das taxas de transporte. Uma fórmula poderia ser validada com um extenso banco de dados de campo que cobrisse diferentes condições hidrodinâmicas ao longo de um período mais extenso.

De maneira geral, os resultados obtidos estavam dentro dos padrões observados. Em comparação com outros trabalhos eles são coerentes.

Para continuidade dos trabalhos recomendamos usar a mesma metodologia, porém mais aperfeiçoada, usando aparelhagem mais resistente, equipamentos melhorados com amostradores maiores para obter maior volume de sedimentos.

Na coleta de dados para dias de mar “agitado”, sugerimos a construção de equipamentos mais fortes e bem mais instrumentados. Como exemplo tipo SIS (*Sensor Insertion System*), este aparelho executa tarefas em dias de mar agitado. Mais detalhes é encontrado em H.C.Miller/*Coastal Engineering* (1999).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, T.; MASSELINK, G. The surf zone. In: SHORT, A. D. (Ed.). **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. Chichester: J. Wiley, 1999. p. 72-118.

ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das Praias de Bicanga a Povoação, ES**. 1999. Tese (Doutorado em Geologia), Curso de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, USP, 1999.

ALMEIDA, L. E. S. B.; ROSAURO, N. L.; TOLDO JR., E. E.; GRUBER, N. L. S. Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1999. 8 p.

ARAÚJO, R. N.; ALFREDINI, P. O cálculo do transporte de sedimentos litorâneo: Estudo de caso das praias de Suarão e Cibratel (município de Itanhaém, São Paulo). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, S.l., v. 6, n. 2, p. 15-28, 2001.

BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 279 p.

BIGARELLA, J. J.; HARTKOPF, C. C.; SOBANSKI, A.; TREVISAN, N. Textura superficial dos grãos de areias e arenitos (Contribuição à metodologia). Curitiba, **Arq. Biol. Tecn.**, X(11): 253-275, 1955.

BIRKEMEIER, W. A. Time scales of nearshore profile changes. In: COASTAL ENGINEERING CONFERENCE. **Proceedings...** Houston, ASCE, 1984. p. 1507-1521.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; SILVA, I. R. Uma aproximação de primeira ordem entre o clima de ondas e a localização, de longa duração, de regiões de acumulação flúvio-marinha e de erosão na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, p. 159-166, 2003.

CALLIARI, L. J.; FACHIN, S. Laguna dos Patos, influência nos depósitos lamíticos costeiros. **Pesquisas**, v. 20, p. 57-69, 1993.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JR, E. E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51(único), p. 63-78, 2003.

CARMO, J. A.; MARQUES, J. C. Proposta de princípios orientadores para o desenvolvimento sustentável da zona costeira portuguesa. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9., 2003. Recife. **Anais...** Recife: ABEQUA, 2003.

CARTER, R. G.; WOODROFFE, C. D. **Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 539 p.

CASAL, G. A. **Avaliação da concentração de sedimentos na zona de rebentação**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal, 2009.

CASTANHO, J. **Rebentação das ondas e transporte litoral**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. Portugal, 1966.

DAVIDSON-ARNOTT, R. G. D.; MCDONALD, R. A. Nearshore water motion and mean flows in a multiple parallel bar system. **Marine Geology**, v. 86(4), p. 321-338, 1989.

DAVIS, R. A.; HAYES, M. O. What is a wave-dominated coast. **Marine Geology**, v. 60, p. 313-329, 1984.

DEAN, R. G. Heuristic models of sand transport in the surf zone. In: CONFERENCE ON ENGINEERING DYNAMICS IN THE COASTAL ZONE, 1., 1973. Sydney, Australia, **Proceedings...** Sydney: Institution of Engineers, 1973. p. 208-214.

DEAN, R. G. Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf Coasts. **Ocean Engineering Technical Report**, v.12, p. 1-45, 1977.

DEAN, R. G., DALRYMPLE, R. A. **Coastal Processes with Engineering Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. p. 210-278.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos River Bar: Study and significance of grain size parameters. **Journal Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 03-26, 1957.

FONTOURA, J. A. S. **Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não-coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da barra do Rio Grande, RS, Brasil**. 2004. 273 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FREDS, E. J.; DEIGAARD, R. **Mechanics of coastal sediment transport. Advanced series on ocean engineering.** Singapore: World Scientific, 1992. 369 p.

HERBICH, J. B. **Handbook of Coastal Engineering.** New York: McGraw-Hill, 2000. 1152 p.

HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica.** Itajaí: Ed. da Univali, 1998. 92 p.

INMAN, D. L.; BAGNOLD, R. Beach and nearshore processes. Part II: A. Littoral processes. In: HILL, M. N. (Ed.). **The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas.** New York and London: Interscience Wiley, 1963. p. 529-553.

JUNG, G. B. **Estrutura e propagação de correntes longitudinais na praia de Tramandaí-RS.** 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

KAMPHUIS, J. W. Alongshore sediment transport rate. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering**, ASCE, v. 117, n. 6, p. 624-640, 1991.

KENNETT, J. P. **Marine Geology.** USA: Prentice Hall Inc., 1982. 813 p.

KING, D. B. Jr. **Influence of grain size on sediment transport rates with emphasis on the total longshore rate.** U.S. Army Corps of Engineers. 2005. 24 p.

KOMAR, P. D.; INMAN, D. L. Longshore sand transport on beaches. **Journal of Geophysical Research**, S.I., v. 75, n. 30, p. 5914-5927, 1970.

KOMAR, P. D. Environmental controls on littoral sand transport. In: CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 21., 1988. **Proceedings...** ASCE, 1988. p. 1238-1252.

KRAUS, N. C.; ISOBE, M.; IGARASHI, H.; SASAKI, T. O.; HORIKAWA, K. Field experiments on longshore transport in the surf zone. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 18., 1982. New York, **Proceedings...** New York: ASCE, 1982. p. 969-988.

KRUMBEIN, W. C. Measurements and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Journal of Sed. Petrol.**, v. 11, p. 64-72, 1941.

LIMA, S. F.; ALMEIDA, L. E.; TOLDO JR., E. E. Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 28, n. 2, p. 99-107, 2001.

LIPPMANN, T. C; ILOLMAN, R. A.; HATHAWAY, K. K. Episodic, nonstationary behaviour of a double bar system at Duck, N.C., U.S.A., 1986-1991. **Journal of Coastal Research**, S.I., v. 15, p. 49-75, 1993.

LISNIEWSKI, M. A. **Concentração de sedimentos transportados em suspensão e taxas de transporte longitudinal no litoral norte do Paraná, Brasil**. 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Curso de Pós-graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

LONGUET-HIGGINS, M. S. Longshore current generated by obliquely incident sea waves. Parts 1 e 2. **Journal of Geophysical Research**, S.I., v. 75, n. 33, p. 6778-6801, 1970.

LONGUET-HIGGINS, M. S. Recent progress in the study of long shore currents. In: MEYER, R. E. (Ed.). **Waves on beaches and resulting sediment transport**. New York: Academic Press, 1972. p. 203-248.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M. & AZEVEDO, A. E. G. de. 1988. **Mapa geológico do Quaternário costeiro dos estados do Paraná e Santa Catarina**. Série Geologia. Seção Geologia Básica. DNPM: Brasília, 28:1-40. 2 mapas.

MILLER, H. C. Field measurements of longshore sediment transport during storms. **Coastal Engineering**, v. 36, p. 301-321, 1999.

MOTTA, V. F. **Resultados de algumas medições de transporte litorâneo em modelo costeiro esquemático**. Folhetim n. F1257. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, 1964. 46 p.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia – Exercícios, técnicas e aplicações**. Local: Editora, 1996. p.191-235.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Brasil: IBGE, 1979. 422 p.

NOAA/NCEP WAVEWATCH III. Disponível em: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves>. Acesso em: 01 jan. a 31 dez. 2009.

PEROTTO, H.; ESTEVES, L. S.; FONTOURA, J. A. S.; LISNIEWSKI, M. A.; WILLIAMS, J. J.; CALLIARI, L. J. Resultados preliminares da comparação das taxas de transporte longitudinal de areia calculadas para diferentes pontos da costa entre Cassino e Chui - RS, Brasil. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, 2., 2006. Rio Grande, **Anais eletrônicos...** Rio Grande: II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, 2006, p. 1-6.

PITOMBEIRA, E. S. **Estimativa do volume anual de transporte litorâneo na costa do Rio Grande do Sul**. 1975. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Pós-graduação em Hidrologia Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1975.

RITTENHOUSE, G. A visual method of estimating two dimensional sphericity. **Journal of Sed. Petrol.**, v. 13, p. 79-81, 1943.

RUESSINK, B. G.; MILES, J. R.; FEDDERSEN, F.; GUZA, R. T.; ELGAR, S. Modeling the alongshore current on barred beaches. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n. 10, p. 22451-22464, 2001.

SHORT, A. D.; HESP P. A. Wave beach and dune interactions in Southeastern Australia. **Marine Geology**, v. 48, p 259-284, 1982.

SOARES, S. B. **Avaliação experimental da taxa longitudinal de transporte de sedimentos e sua previsão usando formulações globais na zona de surfe da praia de Camburi, Vitória-ES.** 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

SPLINTER, K. D.; GOLSHANI, A.; STUART, G.; TOMLINSON, R. Spatial and temporal variability of longshore transport along Gold Coast, Australia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 32., 2010. Shanghai, China, **Proceedings...** China: ICCE, 2010.

SUNAMURA, T. Beach morphologies and their change. In: HORIKAWA, K. (Ed.). **Nearshore Dynamics and Coastal Processes.** University of Tokyo Press, 1988, p. 133-166.

STRAUCH, J. C.; CUCHIARA, D. C.; TOLDO JR, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B. O padrão de ondas de verão e outono no litoral sul e norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.14, p. 29-37, 2007.

TOMAZELLI, L. J.; WILLWOCK, J. A. Considerações sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos ao longo do Litoral Norte do RS. **Pesquisas**, v. 19, p. 3-12, 1992.

TOLDO JR., E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NICOLODI, J. L.; ABSALONSEN, L.; GRUBER, N. L. S. O. Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, 33, p. 35 - 42, 2006.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002 – **Coastal Engineering Manual.** Washington, D.C. U. S.A. Part III, cap. 2, p.11.

U.S.ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER, 1977. **Shore Protection Manual.** Washington, D.C., USA. ed.3, vol.1, p 485.

- VAN RIJN, L. C. Longshore Sand Transport. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 28., 2002. Cardiff, UK , **Proceedings...** Cardiff: ICCE, 2002. p. 2439-2451.
- VAN RIJN, L. C.; GRASMEIJER, B.T. Sand transport in surf zone of a dissipative beach. **Coastal dynamics**, Lund, Sweden, p. 102-111, 2001.
- VILLWOCK, J. A. **A costa brasileira: geologia e evolução.** Porto Alegre: CECO/IG/UFRGS, v. 7, 1994, p. 38-49.
- VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. **Geologia Costeira do Rio Grande do Sul.** Notas Técnicas n. 8. Porto Alegre: Instituto de Geociências - UFRGS, 1995. 45 p.
- VILLWOCK, J. A. **Contribuição à geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul.** 1972. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geociências), Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1972.
- WANG, P.; KRAUS, N.C., DAVIS JR., R.A. Total longshore sediment transport rate in the surf zone: field measurements and empirical predictions. **Journal of Coastal Research**, v. 14, p. 269-282, 1998.
- WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v. 30, p. 377-392, 1922.
- WRIGHT, L. D. **Elementary notes concerning the physical energy regime of coastal zone. Department of Geological Oceanography.** School of Marine Science, Virginia Institute of Marine Science of the College of William and Mary. 1985.
- WRIGHT, L. D.; SHORT, S. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, S.I., v. 56, p. 93-118, 1984.
- WRIGHT, L. D.; THOM, B.G. Coastal depositional landforms: morphodynamics approach. **Progress in Physical Geography**, v.1, p. 412-459, 1977.

## **Anexo I**

DISTRIBUIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS DE SUSPENSÃO NA COLUNA  
D'ÁGUA A PARTIR DO FUNDO.

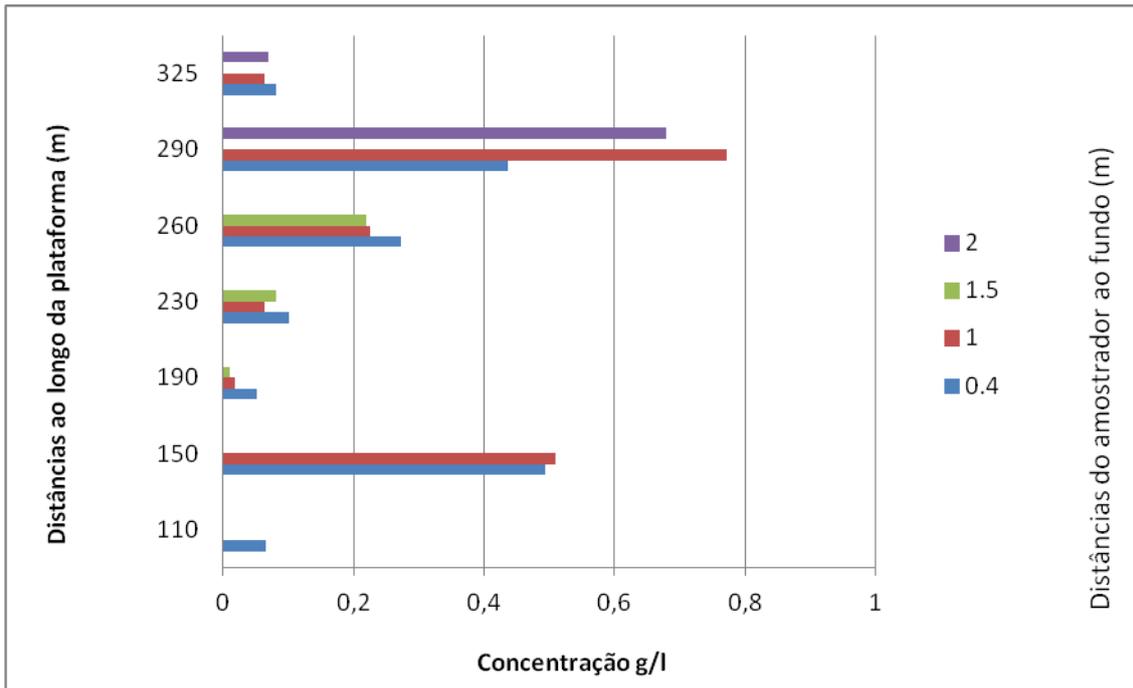


Gráfico da saída dia 19 de maio de 2011.

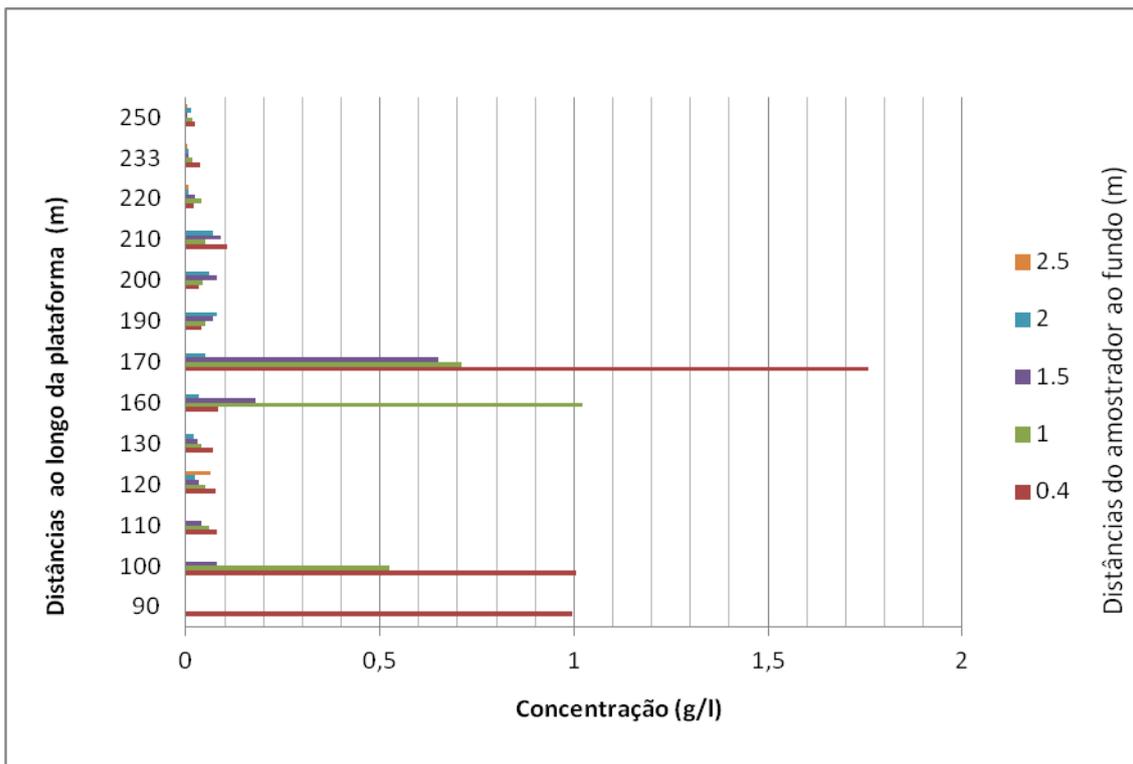


Gráfico da saída dia 22 de julho de 2011.

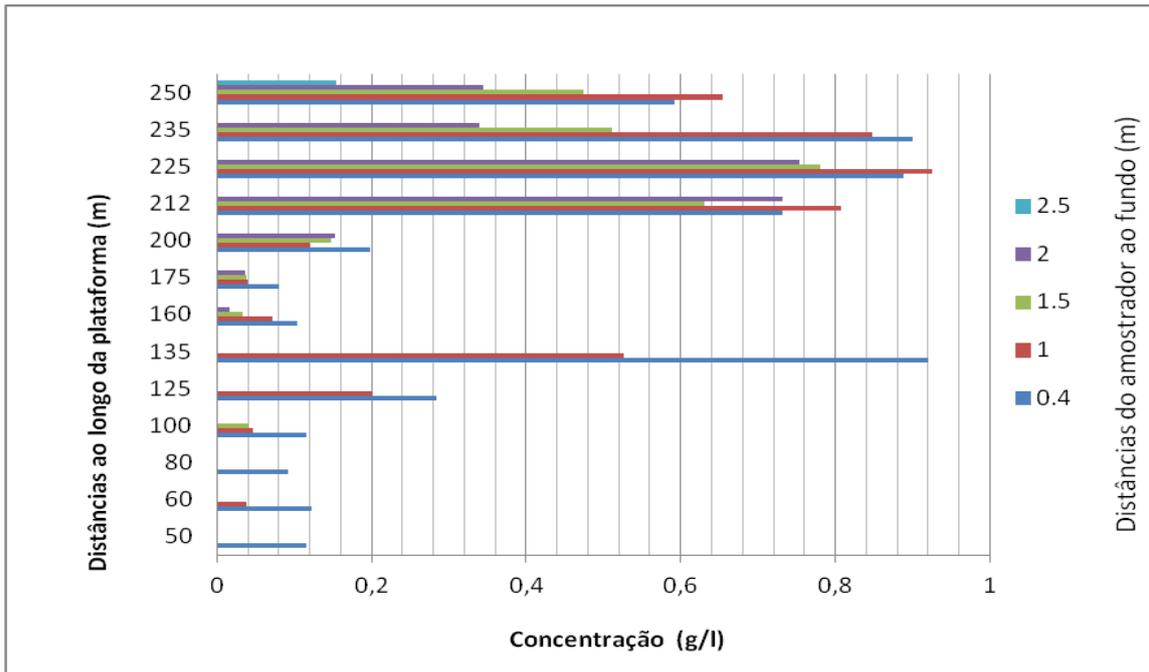


Gráfico da saída dia 02 de setembro de 2011.

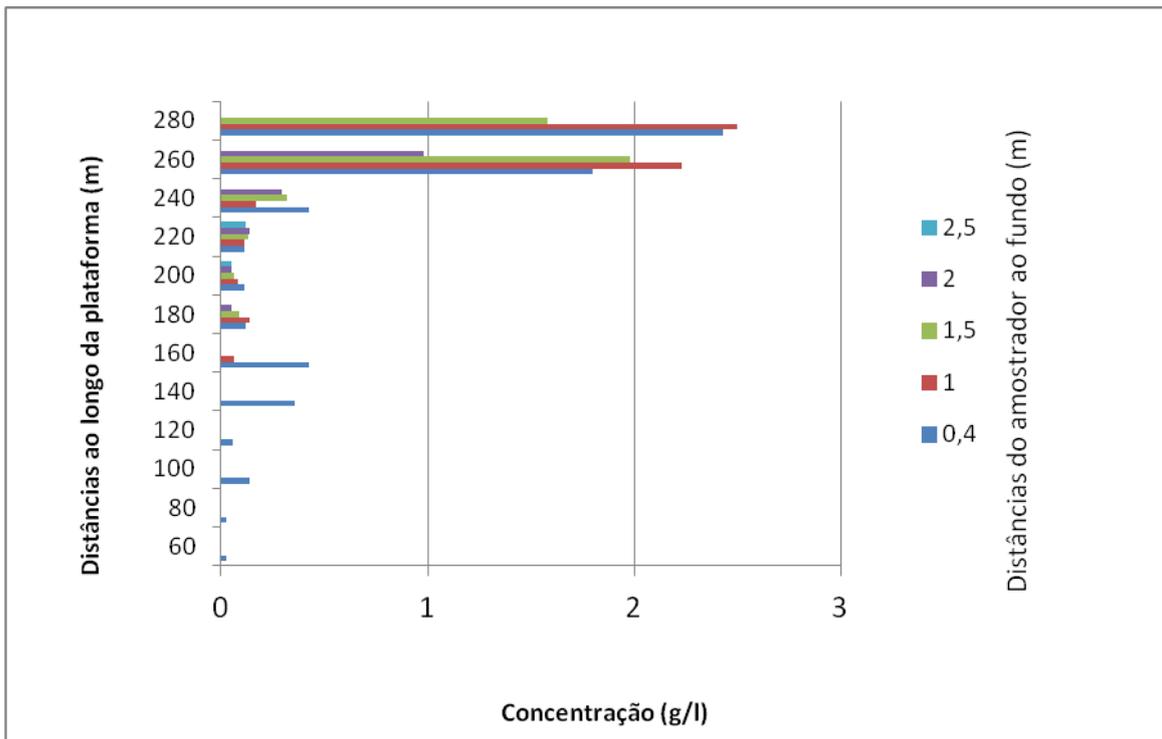


Gráfico da saída dia 10 de outubro 2011

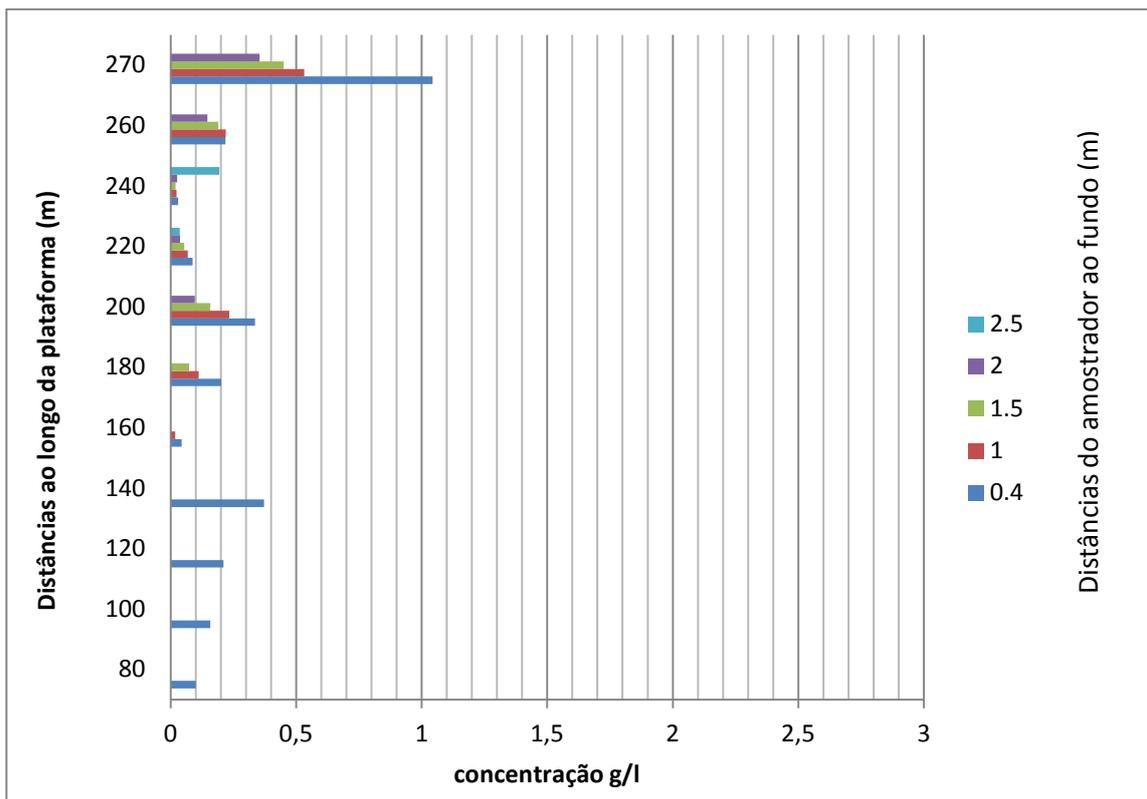


Gráfico da saída dia 17 de novembro de 2011.

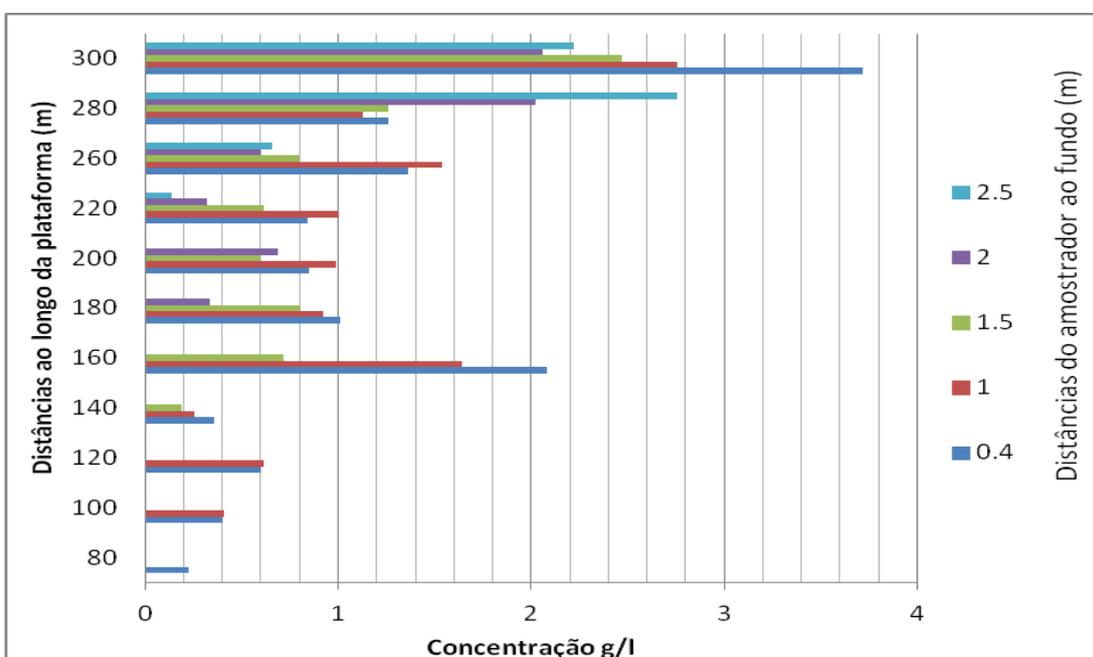


Gráfico da saída dia 02 de dezembro de 2011,

## **Anexo II**

APLICAÇÃO DOS DADOS DE ONDA PARA 2009 (NOAA) PARA QUANTIFICAR O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA PLATAFORMA DE PESCA DE TRAMANDAÍ

Água profunda									
Dados de onda para 2009 NOAA									
data	hora	T	H <sub>o</sub>	α <sub>ap</sub>	α <sub>o</sub>	α <sub>o</sub>	L <sub>o</sub>	Kr	H' <sub>o</sub>
dd.mm.aa	hora	s	m	graus	graus	rad	m	---	m
1-jan-09	0	8,95	1,33	173,3	61,3	1,0698869	125,0648283	0,693	0,922
1-jan-09	3	5,75	1,28	110,87	1,129997	0,0197222	51,6208116	0,9999	1,28
1-jan-09	6	5,75	1,23	105,35	6,650002	0,1160644	51,6208116	0,9966	1,226

Ângulo entre a linha de praia e o N-S = 22

Perfil de equilíbrio: D<sub>50</sub> = 0,02mm A = 0,096987037 W (m/s) = 0,0326138

Ponto de rebentação						
H <sub>a</sub>	a	b	d reb	L reb	α <sub>a</sub>	α <sub>a</sub>
m	---	---	m	m	rad	graus
1,22609165	30,7819114	1,2120474	1,05332669	28,5162	0,2014	11,5369
1,65507699	30,7819114	1,2120474	1,56883549	21,8396	0,0083	0,47805
1,59846854	30,7819114	1,2120474	1,5074998	21,4359	0,0481	2,75633

CEM 2001						
κ	U <sub>mb</sub>	K	QI	QI	QI S	QI N
---	m/s		(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /3h)	(m <sup>3</sup> /3h)	(m <sup>3</sup> /3h)
1,16401841	1,87087986	0,5585	0,069498005	750,57846	0	750,578458
1,05497167	2,06935026	0,1714	0,002019864	21,81453	21,81453	0
1,06034411	2,03882509	0,1929	0,011965457	129,22694	129,22694	0

Q<sub>res</sub> (10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/ano)=1.756,70

CERC			
Q(m <sup>3</sup> /s)	QI	QI S	QI N
(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /3h)	(m <sup>3</sup> /3h)	(m <sup>3</sup> /3h)
0,0473474	511,35188	0	511,3518847
0,0044829	48,415511	48,4155107	0
0,0235982	254,86098	254,860975	0

Q<sub>res</sub> (10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/ano)=1.145,23

Van Rijn - 2001		Van Rijn - 2001a		Kamphuis - 1991	
QI	QR	QI	QR	QI	QR
(kg/3h)	(kg/3h)	(kg/3h)	(kg/3h)	(kg/3h)	(kg/3h)
901851,9364	901851,9364	312066,1995	312066,1995	175000,296	175000,296
81290,60805	-81290,608	32681,31282	-32681,31282	6021,01904	-6021,019
429004,8609	-429004,861	169497,8839	-169497,8839	32820,4608	-32820,461

Q<sub>res</sub> (10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/ano) = 764,14      Q<sub>res</sub> (10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/ano) = 417,37      Q<sub>res</sub> (10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/ano) = 124,12

Tomas Ma						
V <sub>long</sub>	x	S	hr	dr	tg β	C
m/s	m	m <sup>2</sup>	m	m	-	kg/m
0,65242619	35,7910215	22,6197829	1,23558875	1,06182494	0,01962107	2,80679691
-0,0322735	65,05723	61,2384546	1,65509859	1,56885901	0,01607674	8,30831523
-0,182598	61,2795199	55,4273182	1,5991629	1,50824838	0,01640057	7,42328071

Tomas Ma - cont			
C (3h)	QR	QR	QR
kg/m/3 h	kg/s	(kg/3h)	(m <sup>3</sup> /3h)
8,420390739	5,493683434	59331,78109	22,38935136
24,92494568	-0,804415088	-8687,682948	-3,278370924
22,26984213	-4,066428903	-43917,43215	-16,5726159

Q<sub>res</sub> (10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/ano) = 314,79

## **Anexo III**

APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE QUANTIDADE DE TRANSPORTE PARA O LITORAL NORTE EM FUNÇÃO DO ÂNGULO, ENTRE A LINHA DE PRAIA E O ALINHAMENTO NORTE-SUL

- Alinhamento de Quintão a Cidreira

	CEM	CERC	VAN RIJN 2001	VAN RIJN 2001a	KAMPHUIS	TOMAS
Transporte total (m <sup>3</sup> /ano) =	5.101.161,63	3.316.906,84	5862823	2732035	717427,2	788253,8
Transporte NS m <sup>3</sup> /ano) =	1.697.859,60	1.100.978,04	1920183	828448,7	251068,5	246551,7
Transporte SN (m <sup>3</sup> /ano) =	3.403.302,03	2.215.928,79	3942640	1903586	466358,7	541702
Resultante (m <sup>3</sup> /ano) (S>N) =	1.705.442,43	1.114.950,75	2022457	1075137	215290,3	295150,3

<b>Ângulo entre a linha de praia e o alinhamento N-S</b> =	18,8 <sup>0</sup>
---	-------------------

- Alinhamento de Nova Tramandaí a Imbé

	CEM	CERC	VAN RIJN 2001	VAN RIJN 2001a	KAMPHUIS	TOMAS
Transporte total (m <sup>3</sup> /ano) =	5.297.695,51	3.467.278,49	6129050	2885568	742579	849668,7
Transporte NS m <sup>3</sup> /ano) =	1.788.226,24	1.172.988,98	2047768	893026,6	264678,6	273370,3
Transporte SN (m <sup>3</sup> /ano) =	3.509.469,27	2.294.289,52	4081282	1992541	477900,4	576298,4
Resultante (m <sup>3</sup> /ano) (S>N) =	1.721.243,03	1.121.300,54	2033515	1099515	213221,9	302928,1

<b>Ângulo entre a linha de praia e o alinhamento N-S</b> =	21,3 <sup>0</sup>
---	-------------------

- Alinhamento de Imbé a Capão Novo

	CEM	CERC	VAN RIJN 2001	VAN RIJN 2001a	KAMPHUIS	TOMAS
Transporte total (m <sup>3</sup> /ano) =	5.494.399,56	3.637.544,67	6429655	3065326	768822,5	926240,3
Transporte NS m <sup>3</sup> /ano) =	1.891.282,99	1.257.178,38	2197002	969988,1	280169	305720,6
Transporte SN (m <sup>3</sup> /ano) =	3.603.116,58	2.380.366,28	4232653	2095338	488653,5	620519,7
Resultante (m <sup>3</sup> /ano) (S>N) =	1.711.833,59	1.123.187,90	2035652	1125350	208484,5	314799,1

<b>Ângulo entre a linha de praia e o alinhamento N-S</b> =	24,4 <sup>0</sup>
---	-------------------

- Alinhamento de Arroio do Sal a Torres

	CEM	CERC	VAN RIJN 2001	VAN RIJN 2001a	KAMPHUIS	TOMAS
Transporte total (m <sup>3</sup> /ano) =	5.685.678,69	3.936.596,03	6954993	3423301	802146,2	1103193
Transporte NS m <sup>3</sup> /ano) =	2.155.208,68	1.444.490,58	2531484	1146274	312971,7	374786,9
Transporte SN (m <sup>3</sup> /ano) =	3.530.470,01	2.492.105,45	4423509	2277027	489174,5	728406,4
Resultante (m <sup>3</sup> /ano) (S>N) =	1.375.261,33	1.047.614,86	1892025	1130752	176202,8	353619,5

<b>Ângulo entre a linha de praia e o alinhamento N-S</b> =	34,2 <sup>0</sup>
---	-------------------

- Alinhamento de Torres ao rio Mampituba

	CEM	CERC	VAN RIJN 2001	VAN RIJN 2001a	KAMPHUIS	TOMAS
Transporte total (m <sup>3</sup> /ano) =	5.651.699,01	3.943.453,94	6966449	3442219	799621,9	1117899
Transporte NS (m <sup>3</sup> /ano) =	2.190.577,72	1.462.338,80	2563865	1163689	315641,6	380258,9
Transporte SN (m <sup>3</sup> /ano) =	3.461.121,29	2.481.115,14	4402584	2278530	483980,4	737640,5
Resultante (m <sup>3</sup> /ano) (S>N) =	1.270.543,57	1.018.776,34	1838719	1114841	168338,8	357381,6

**Ângulo entre a linha de praia e o alinhamento N-S**  
=

35,8<sup>o</sup>

- Alinhamento do rio Mampituba a Araranguá

	CEM	CERC	VAN RIJN 2001	VAN RIJN 2001a	KAMPHUIS	TOMAS
Transporte total (m <sup>3</sup> /ano) =	5.614.816,33	3.940.797,84	6961151	3448697	796199,2	1126025
Transporte NS (m <sup>3</sup> /ano) =	2.215.802,38	1.473.669,36	2584508	1174854	317118,3	383405,6
Transporte SN (m <sup>3</sup> /ano) =	3.399.013,95	2.467.128,48	4376643	2273843	479081	742618,9
Resultante (m <sup>3</sup> /ano) (S>N) =	1.183.211,57	993.459,13	1792135	1098988	161962,7	359213,4

**Ângulo entre a linha de praia e o alinhamento N-S**  
=

37<sup>o</sup>