



**PROJETO BÁSICO COM DETALHAMENTO CONSTRUTIVO DOS MOLHES DE
FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ, MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ (SC)**

**PRODUTO VI
DIMENSIONAMENTO E CONCEPÇÃO DA OBRA - ANÁLISE DE
NAVEGABILIDADE E DIMENSIONAMENTO DO CANAL**

**Preparado para:
Prefeitura Municipal de Araranguá**

**Preparado por:
Coastal Planning & Engineering do Brasil**

Maior de 2011



ÍNDICE DE REVISÕES

| VER | DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 00 | ORIGINAL | | | | | | | | |
| | VER. 00 | VER. 01 | VER. 02 | VER. 03 | VER. 04 | VER. 05 | VER. 06 | VER. 07 | VER. 08 |
| DATA | 26/05/2011 | | | | | | | | |
| PROJETO | BR73 | | | | | | | | |
| EXECUÇÃO | BC | | | | | | | | |
| VERIFICAÇÃO | RB | | | | | | | | |
| APROVAÇÃO | LB | | | | | | | | |
| AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA COASTAL PLANNING & ENGINEERING DO BRASIL, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE. | | | | | | | | | |
| A IMPRESSÃO OU REPRODUÇÃO DESTE DOCUMENTO TORNA A CÓPIA NÃO CONTROLADA. | | | | | | | | | |



ÍNDICE GERAL

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 2 |
| 2. AÇÕES EXTERNAS SOBRE A EMBARCAÇÃO | 4 |
| 3. MÉTODO DE PROJETO CONCEITUAL DO CANAL..... | 15 |
| 4. EMBARCAÇÕES DE PROJETO | 17 |
| 5. DIMENSÕES DO CANAL DE NAVEGAÇÃO..... | 18 |
| 6. CONCLUSÃO | 22 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 23 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Localização da área de estudo. Detalhe do baixo estuário e desembocadura do Rio Araranguá. Coordenadas em latitude (eixo vertical) e longitude (eixo horizontal)..... | 3 |
| Figura 2: Pontos de análise de ondas localizados em frente aos cabeços dos molhes norte e sul. | 5 |
| Figura 3: Rosa de ondas, elaborada a partir da série reconstruída em água rasa, no ponto localizado em frente ao cabeço do molhe norte. Altura de ondas em metros..... | 5 |
| Figura 4: Rosa de ondas, elaborada a partir da série reconstruída em água rasa, no ponto localizado em frente ao cabeço do molhe sul. Altura de ondas em metros..... | 6 |
| Figura 5: Função de distribuição da variável altura significativa de ondas (H_S), elaborada a partir da série reconstruída em águas rasas, no ponto localizado em frente ao cabeço do molhe norte..... | 6 |
| Figura 6: Função de distribuição da variável altura significativa de ondas (H_S), elaborada a partir da série reconstruída em águas rasas, no ponto localizado em frente ao cabeço do molhe sul. | 7 |
| Figura 7: Rosa dos ventos. Dados de reanálise do modelo NCEP (NOAA). Velocidades em m/s. | 8 |
| Figura 8: Localização das Estações Fluviométricas da ANA..... | 9 |
| Figura 9: Curva de Permanência do Rio Araranguá. | 10 |
| Figura 10: Localização do ponto de medição de marés, no interior do estuário do Rio Araranguá. | 11 |
| Figura 11: Série temporal de maré medida no interior do estuário do Rio Araranguá. | 12 |
| Figura 12: Máximas correntes simuladas (m/s) para $Q_{90\%} = 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ | 13 |
| Figura 13: Máximas correntes simuladas (m/s) para $Q_{50\%} = 28,3 \text{ m}^3/\text{s}$ | 13 |
| Figura 14: Máximas correntes simuladas (m/s) para $Q_{10\%} = 146,9 \text{ m}^3/\text{s}$ | 14 |



LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Dados das estações fluviométricas (ANA, 2011). | 9 |
| Tabela 2: Vazões do Rio Araranguá usadas na simulação hidrodinâmica..... | 10 |
| Tabela 3: Larguras básicas da via em função da manobrabilidade da embarcação. | 15 |
| Tabela 4: Larguras adicionais para distâncias de passagem em canais de via dupla. | 15 |
| Tabela 5: Larguras adicionais para distâncias das margens..... | 15 |
| Tabela 6: Larguras adicionais para seções retilíneas do canal..... | 16 |
| Tabela 7: Embarcação de projeto I. Embarcação pesqueira (ROM 3.1-99)..... | 17 |
| Tabela 8: Embarcação de projeto II. Embarcação de recreio a motor (ROM 3.1-99). | 17 |
| Tabela 9: Largura do canal necessária para a embarcação de projeto I. | 19 |
| Tabela 10: Largura necessária do canal para embarcação de projeto II..... | 20 |
| Tabela 11: Profundidade necessária do canal para embarcação de projeto I..... | 21 |
| Tabela 12: Profundidade necessária do canal para embarcação de projeto II. | 21 |

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste relatório é apresentar o estudo de adequação do canal de navegação às embarcações de projeto definidas nesta fase do projeto. Todo estudo foi realizado com base nas formulações analíticas e normas da PIANC - *Permanent International Association of Navigation Congresses* (PIANC, 1997).

As embarcações de projeto foram definidas com base nas atividades de navegação a serem desenvolvidas, em um primeiro momento, na região de Araranguá. Essas atividades são a pesqueira e a turística. As características e dimensões das embarcações de projetos foram definidas com base nas informações fornecidas na ROM 3.1-99 (*Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Areas de Flotación*).

O estudo de adequação foi realizado para a alternativa de arranjo das estruturas selecionada, Alternativa 3, apresentada no PRODUTO VII - DESENHO CONCEITUAL DE ALTERNATIVAS DE PROJETO.

Para esta fase do projeto, os cálculos foram realizados com o objetivo de garantir uma via navegável segura para entrada e saída de embarcações através dos molhes, sem contemplar o desenho geométrico do canal na região interna do rio.

1.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) está localizada no sul do Estado de Santa Catarina a, aproximadamente, 200 km da capital Florianópolis.

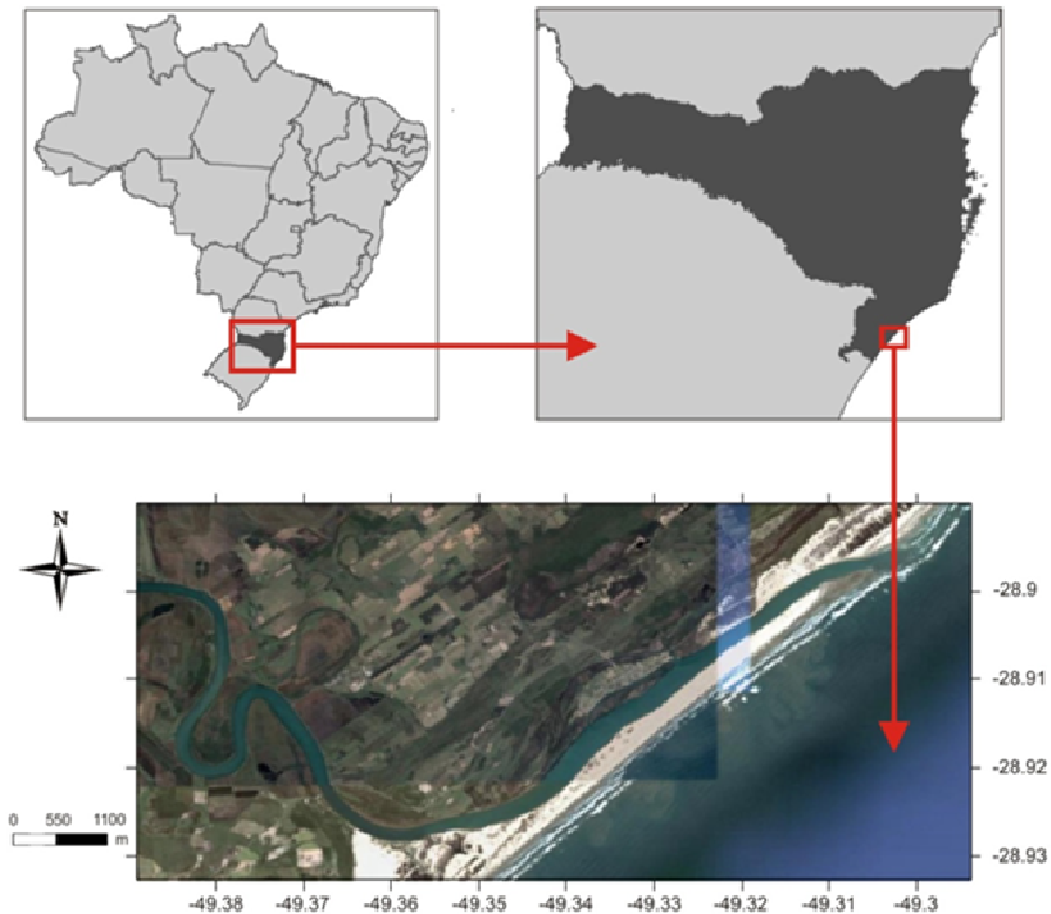


Figura 1: Localização da área de estudo. Detalhe do baixo estuário e desembocadura do Rio Araruama. Coordenadas em latitude (eixo vertical) e longitude (eixo horizontal).

A Bacia Hidrográfica do Rio Araruama apresenta escoamento em direção ao mar, assumindo uma direção oeste-leste (W-E). A bacia hidrográfica abrange uma área de 3.020 km², sendo formada pela confluência dos rios Itoupava e Mãe Luzia, recebendo mais um tributário próximo à desembocadura, o Rio dos Porcos. Nos últimos 7 km do rio, o curso está voltado para a direção nordeste e paralelo à linha de costa, com seu canal cruzando uma barreira arenosa. A profundidade média no canal é de 3 m, podendo chegar a até 8,5 m, sendo que a desembocadura é mais rasa (entre 1 m e 3 m).

2. AÇÕES EXTERNAS SOBRE A EMBARCAÇÃO

Neste item são apresentadas, brevemente, as condicionantes ambientais que influenciam diretamente na navegação e, por conseguinte, no dimensionamento das vias navegáveis. Para o cálculo dos requerimentos em planta e em perfil do canal, são consideradas as ações externas produzidas pelo vento, ondas e correntes sobre a embarcação.

2.1 ONDAS

A partir da caracterização do clima de ondas em águas profundas (ao largo do litoral de Santa Catarina), foi feita uma transformação deste clima de ondas para águas rasas, em ponto próximo da estrutura de fixação da barra do Rio Araranguá (molhes). Esse estudo é apresentado, em detalhes, em relatório separado (PRODUTO I - MODELAGEM NUMÉRICA DE ONDAS E ANÁLISE DE EXTREMOS).

Para caracterizar o clima de ondas em águas profundas, na região sudeste do Estado de Santa Catarina, foram analisados aproximadamente 13 anos (1997 a 2010) de dados de onda, em um ponto localizado próximo à quebra da plataforma continental, a leste de Araranguá-SC. Esses dados são provenientes do modelo global *WavewatchIII* – WWIII (TOLMAN 1997, 1999).

A caracterização das ondas incidentes, em águas rasas, foi analisada para dois pontos localizados em frente aos cabeços dos molhes norte e sul (Figura 2). As coordenadas UTM (WGS-84, zona 22J) dos pontos são:

- 661.897,60 E / 6.798.594,26 N, em profundidade de 4,5 m (molhe norte);
- 662.013,12 E / 6.798.380,74 N, em profundidade de 6,5 m (molhe sul).

Para esses pontos, foram geradas rosas de ondas (Figura 3 e Figura 4) e figuras com a função de distribuição de altura significativa de ondas (Figura 5 e Figura 6).



Figura 2: Pontos de análise de ondas localizados em frente aos cabeços dos molhes norte e sul.

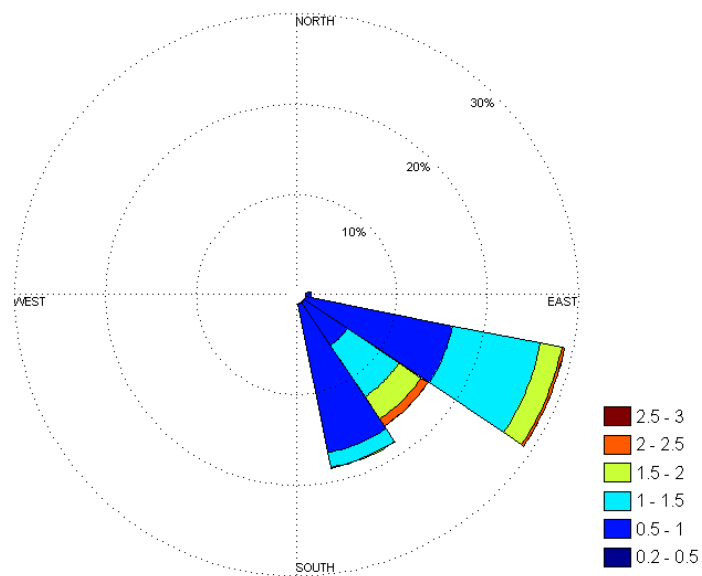


Figura 3: Rosa de ondas, elaborada a partir da série reconstruída em água rasa, no ponto localizado em frente ao cabeço do molhe norte. Altura de ondas em metros.

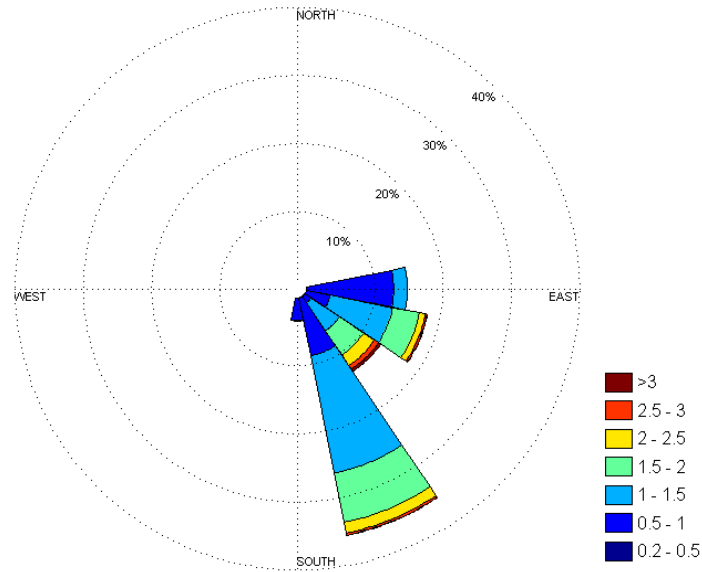


Figura 4: Rosa de ondas, elaborada a partir da série reconstruída em água rasa, no ponto localizado em frente ao cabeço do molhe sul. Altura de ondas em metros.

Devido à proteção que o molhe sul gera no molhe norte é observado que o último recebe ondas de menor energia.

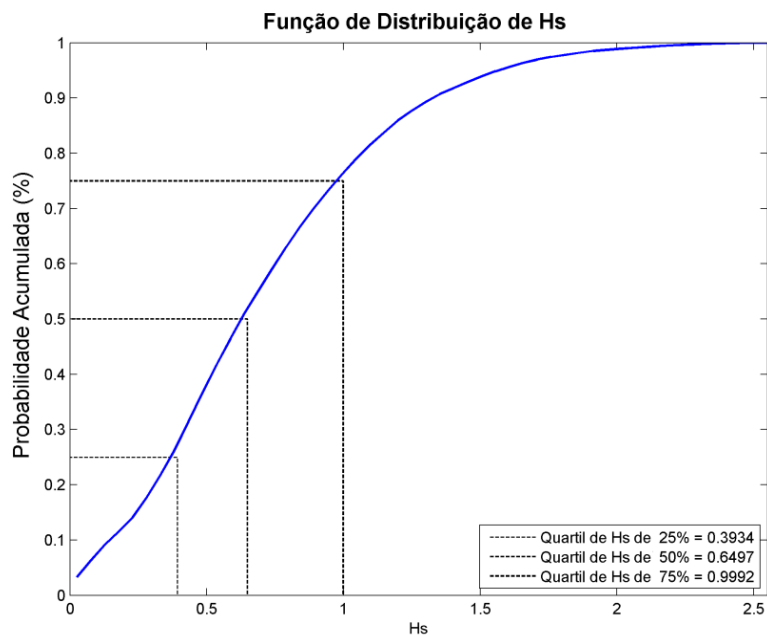


Figura 5: Função de distribuição da variável altura significativa de ondas (H_s), elaborada a partir da série reconstruída em águas rasas, no ponto localizado em frente ao cabeço do molhe norte.

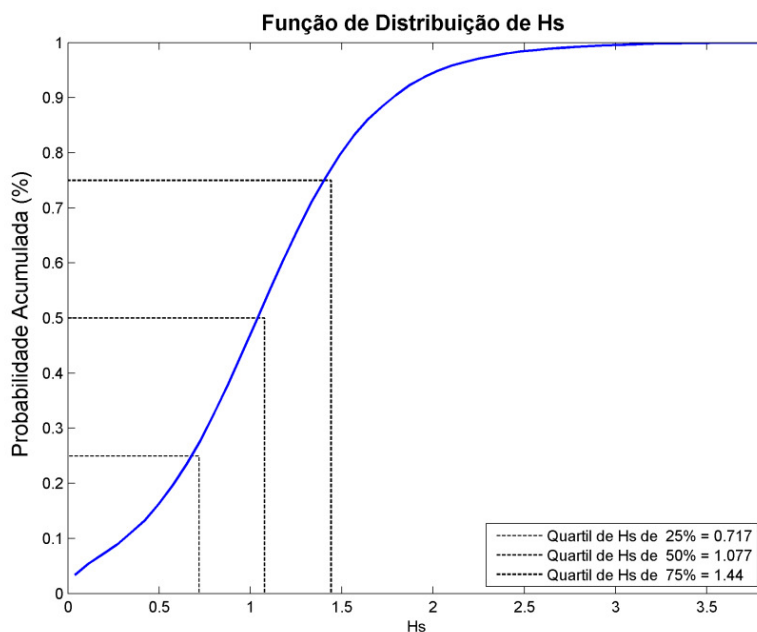


Figura 6: Função de distribuição da variável altura significativa de ondas (H_s), elaborada a partir da série reconstruída em águas rasas, no ponto localizado em frente ao cabeço do molhe sul.

A função de distribuição de H_s para o molhe norte (Figura 5) indica que em 75 % do tempo a região está exposta a ondas com altura significativa menores que 0,99 m. A função de distribuição de H_s para o molhe sul (Figura 6) indica que em 75 % do tempo a região está exposta a ondas com altura significativa menores que 1,44 m.

2.2 VENTOS

Foram analisados dados de vento provenientes do programa de reanálise do NCEP/NCAR/NOAA (PRODUTO V - DIMENSIONAMENTO E CONCEPÇÃO DA OBRA – ANÁLISE DAS CONDICIONANTES GEO-AMBIENTAIS E DE PROJETO). Neste programa, são geradas bases de dados globais através da combinação de resultados de modelos numéricos e dados observacionais provenientes de diversas fontes, tais como navios em rota, aviões, estações meteorológicas, satélites, entre outras. Foi analisada uma série, extraída nas coordenadas geográficas $25,7^\circ$ S e $46,8^\circ$ W (WGS-84), para o período compreendido entre os anos de 1970 e 2010. A rosa dos ventos, elaborada a partir da série temporal de dados do NCEP, é apresentada na Figura 7.

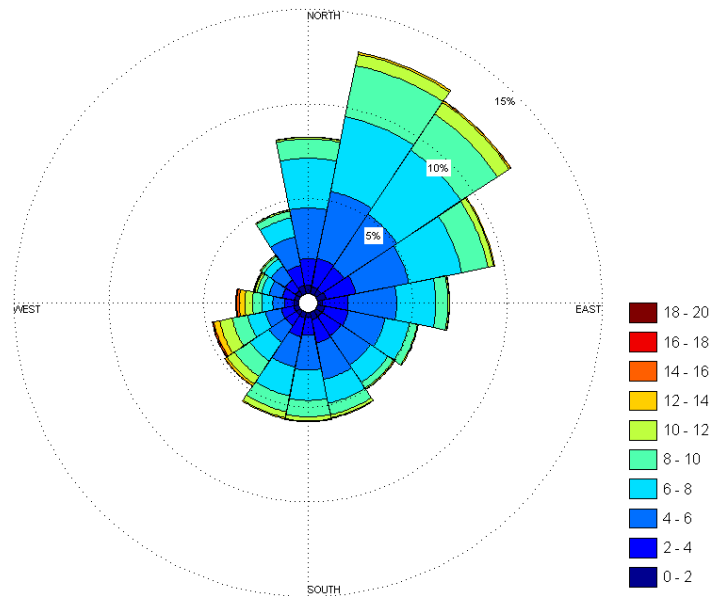


Figura 7: Rosa dos ventos. Dados de reanálise do modelo NCEP (NOAA). Velocidades em m/s.

Os ventos predominantes são provenientes do quadrante nordeste, em especial a direção nor-nordeste (NNE), com velocidades entre 6 e 12 m/s. Os ventos mais intensos (maiores velocidades) são provenientes de sudoeste e oeste, com intensidades de até 16 m/s.

2.3 CORRENTES

Na análise das correntes no canal de navegação foram simulados 3 cenários de circulação hidrodinâmica para a alternativa selecionada de arranjo das estruturas. Estes cenários consideraram as vazões do Rio Araranguá e a influência da maré medida no estuário do rio.

Para as simulações, foi utilizado o Delft-3D, modelo numérico desenvolvido pela Deltares (Delft Hydraulics - Holanda), o qual apresenta um grande histórico de aplicações bem sucedidas em ambientes marinhos, costeiros e estuarinos ao redor do mundo.

Os dados batimétricos utilizados foram obtidos a partir da digitalização de cartas náuticas fornecidas pela DHN e de levantamentos de campo realizados para a região (PRODUTO I - MODELAGEM NUMÉRICA DE ONDAS E ANÁLISE DE EXTREMOS).

2.3.1 VAZÕES

Os dados de vazões foram extraídos de 3 estações fluviométricas monitoradas pela Agência Nacional das Águas (ANA), como mostrado na Tabela 1 e em relatório específico (PRODUTO V - DIMENSIONAMENTO E CONCEPÇÃO DA OBRA – ANÁLISE DAS CONDICIONANTES GEO-AMBIENTAIS E DE PROJETO). Estas estações estão situadas

próximas do estuário e sem influência da maré: Estação de Taquaruçu (Rio Itoupava); Estação de Forquilha (Rio Mãe Luzia); e a Estação da Foz do Rio Manoel Alves (Rio Manoel Alves). O Rio Manoel Alves desemboca no Rio Mãe Luzia, que, por sua vez, se encontra com o Rio Itoupava, dando origem ao Rio Araranguá, conforme mostrado na Figura 8.

Tabela 1: Dados das estações fluviométricas (ANA, 2011).

| Estação | Coordenadas (WGS-84) Lat./Long. | Período de Dados |
|--|------------------------------------|---------------------|
| 84950000 - Estação de Taquaruçu (Rio Itoupava) | -28° 57' 30"/-49° 36' 5" | 1943 a 2004 |
| 84820000 - Estação de Forquilha (Rio Mãe Luzia) | -28° 45' 2"/-49° 28' 23" | 1942 a 2004 |
| 84853000 - Estação da Foz do Rio Manoel Alves (Rio Manoel Alves) | -28° 51' 13"/-49° 35' 23" | 1977 a 2004 |

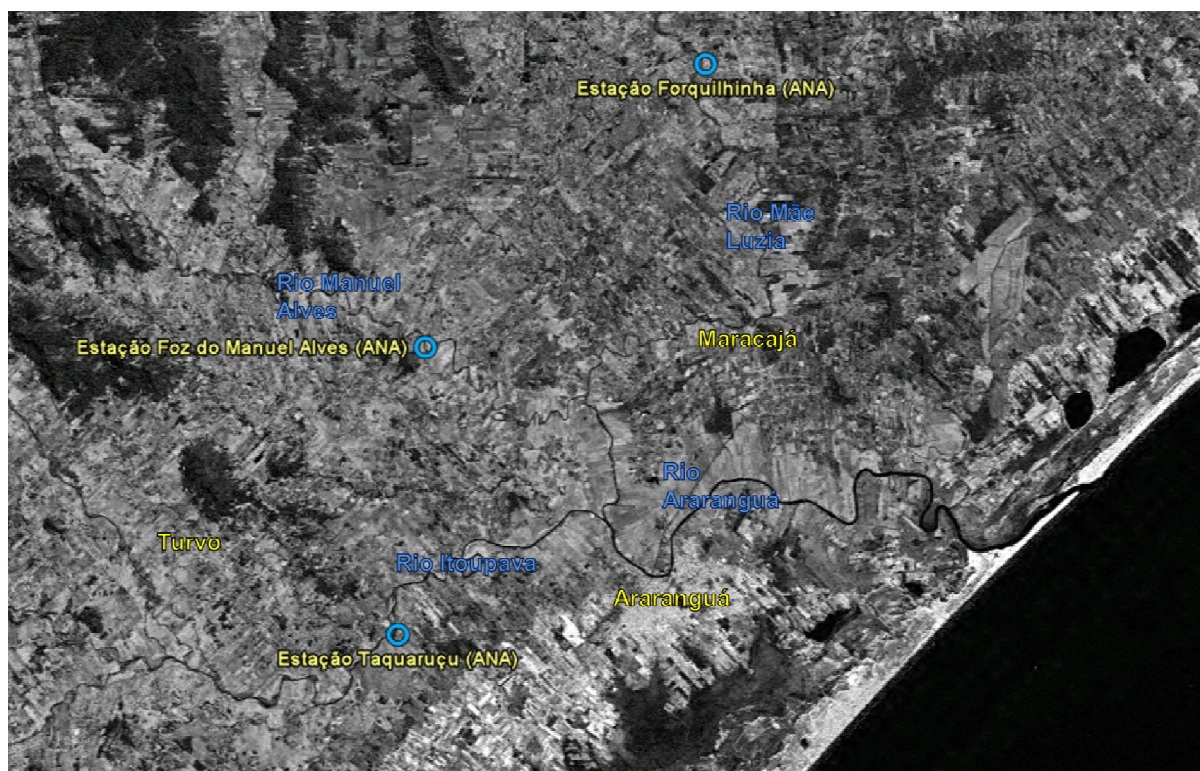


Figura 8: Localização das Estações Fluviométricas da ANA.

Com as séries de vazões medidas de cada estação fluviométrica, foi possível gerar uma curva de permanência de vazões para o Rio Araranguá (Figura 9).

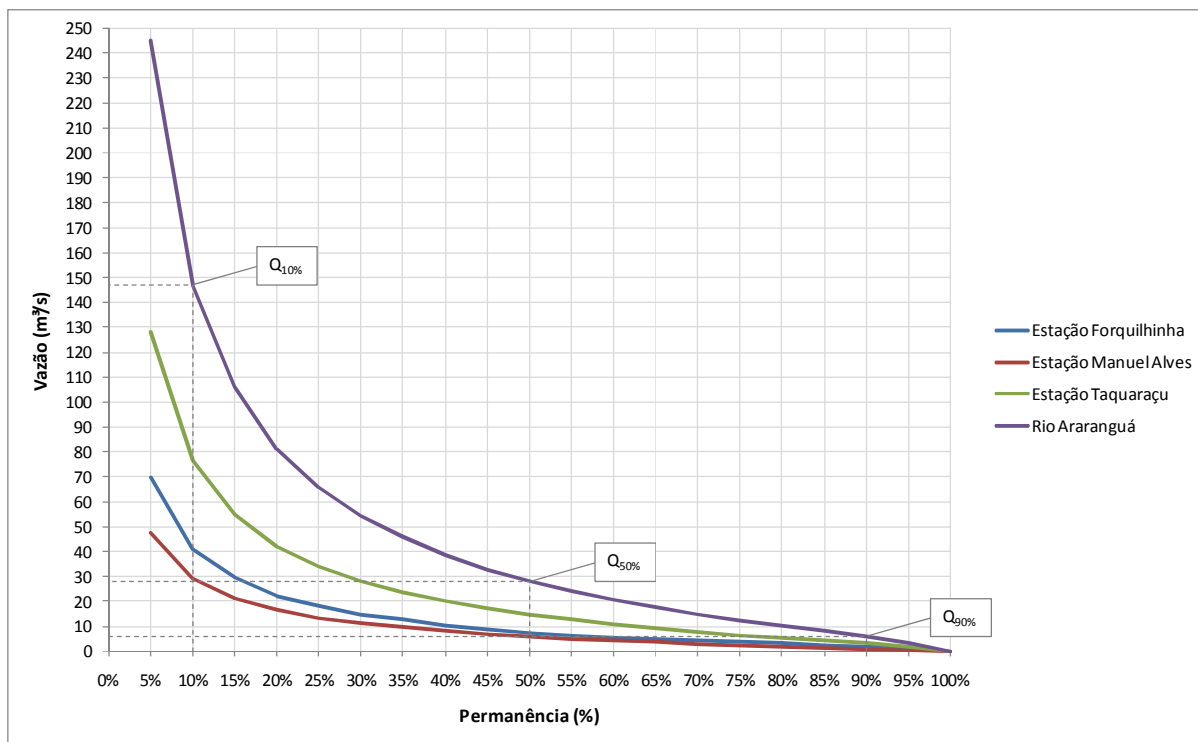


Figura 9: Curva de Permanência do Rio Araranguá.

Para as simulações foram consideradas 3 vazões características do Rio Araranguá: a vazão superada em 10% do tempo ($Q_{90\%}$), a vazão superada em 50% do tempo ($Q_{50\%}$) e a vazão superada em 90% do tempo ($Q_{10\%}$), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Vazões do Rio Araranguá usadas na simulação hidrodinâmica.

| Vazões Rio Araranguá | Valor |
|----------------------|-------------------------|
| $Q_{90\%}$ | 6,0 m ³ /s |
| $Q_{50\%}$ | 28,3 m ³ /s |
| $Q_{10\%}$ | 146,9 m ³ /s |

2.3.2 MARÉ

A maré na região é caracterizada como semi-diurna com desigualdades diurnas, assim, a maré em toda a área de estudo é caracterizada por apresentar duas preamares e duas baixamares ao dia. Uma série temporal de maré medida foi utilizada como forçante no modelo hidrodinâmico. A Coastal Planning & Engineering do Brasil realizou uma campanha de coleta de dados de maré no interior do estuário do Rio Araranguá, em um ponto de coordenadas geográficas 28° 55' 23,16" S e 49° 22' 1,96" W (SIRGAS-2000), conforme

mostrado na Figura 10, e em relatório específico (PRODUTO V - DIMENSIONAMENTO E CONCEPÇÃO DA OBRA – ANÁLISE DAS CONDICIONANTES GEO-AMBIENTAIS E DE PROJETO).



Figura 10: Localização do ponto de medição de marés, no interior do estuário do Rio Araranguá.

A série temporal da maré medida (linha azul) e da maré meteorológica (linha vermelha) é apresentada na Figura 11.

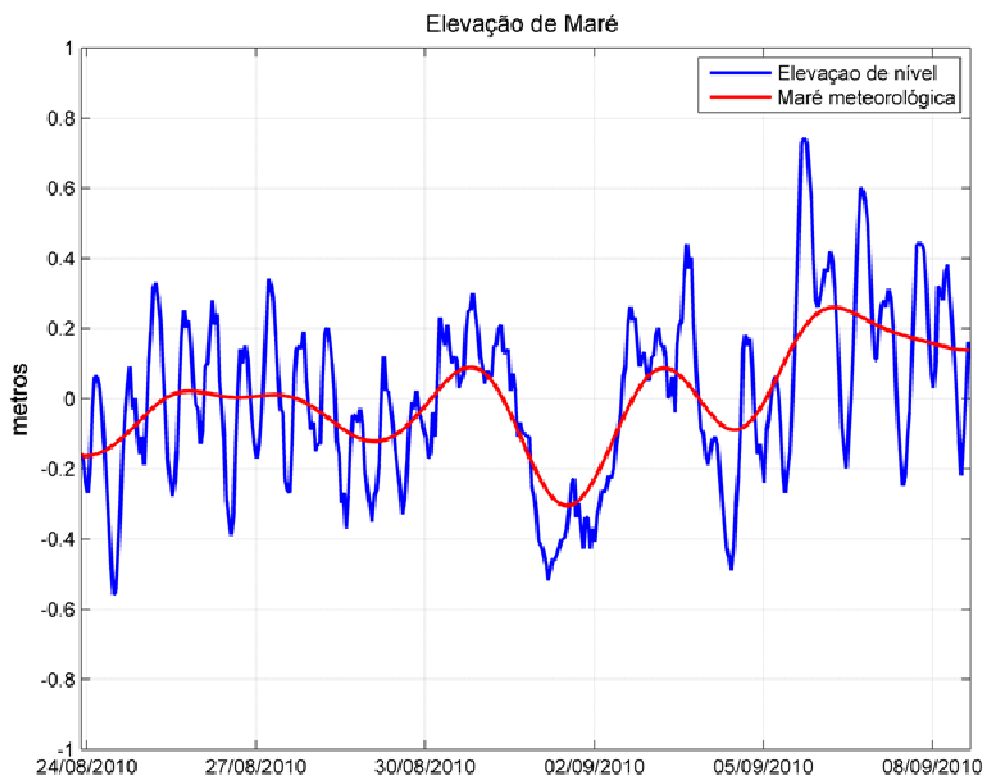


Figura 11: Série temporal de maré medida no interior do estuário do Rio Araranguá.

2.3.3 MÁXIMAS CORRENTES SIMULADAS

Com os dados de vazões e maré medidos, foram realizadas as simulações hidrodinâmicas e, a partir de um pós-processamento dos dados de saída do modelo, extraídos os valores das máximas correntes no canal de navegação para o arranjo da estrutura selecionado.

Da Figura 12 até a Figura 14 são apresentados os campos de máximas correntes simuladas ao longo do canal de navegação. As coordenadas UTM das figuras estão referenciadas ao datum WGS-84, Zona 22S.

Verificam-se velocidades máximas de correntes dentro do canal igual a 0,6 m/s, sendo essas correntes longitudinais ao eixo do canal. As correntes transversais são desprezíveis, tendo ocorrência nula.

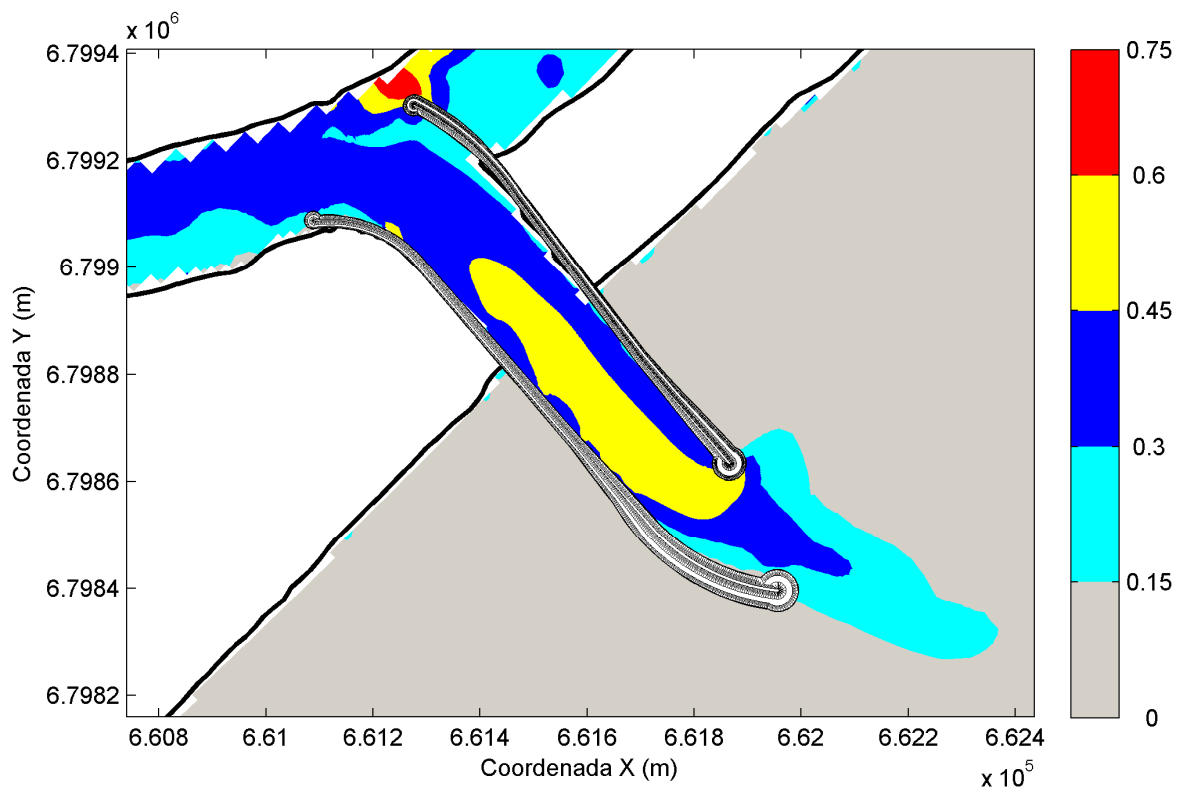


Figura 12: Máximas correntes simuladas (m/s) para $Q_{90\%} = 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

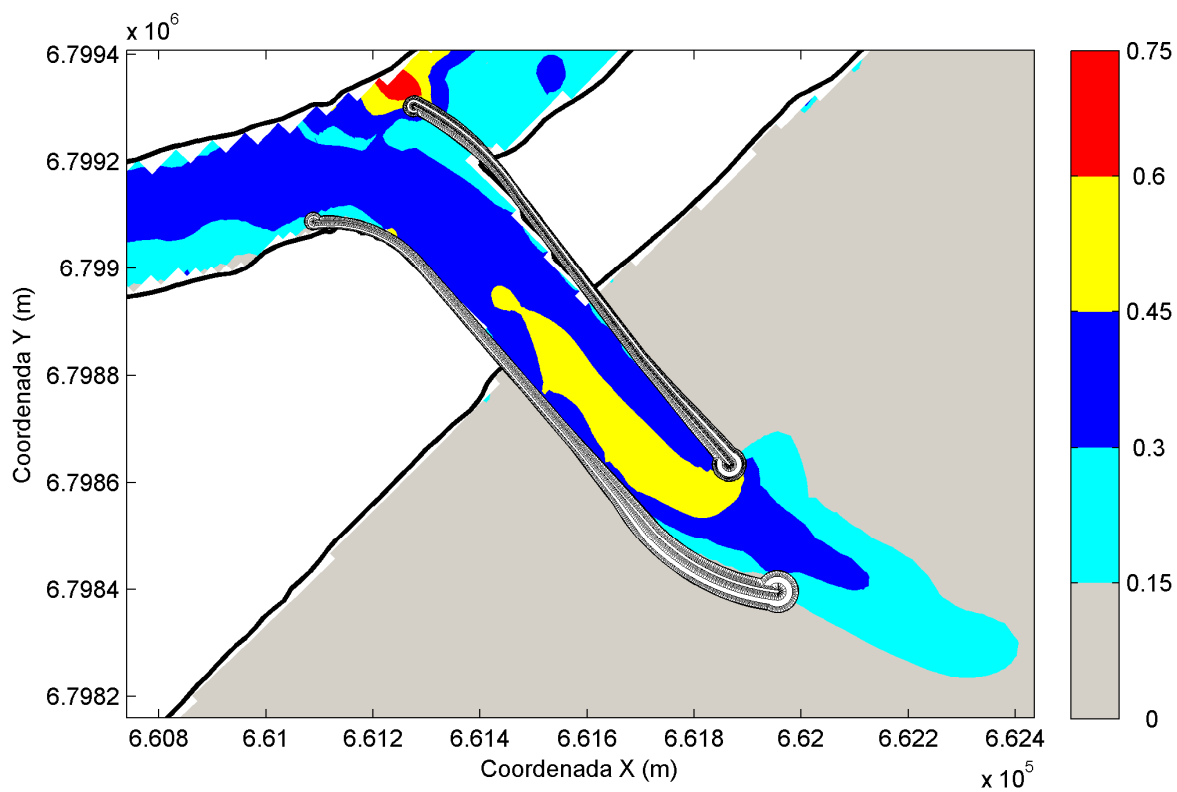


Figura 13: Máximas correntes simuladas (m/s) para $Q_{50\%} = 28,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

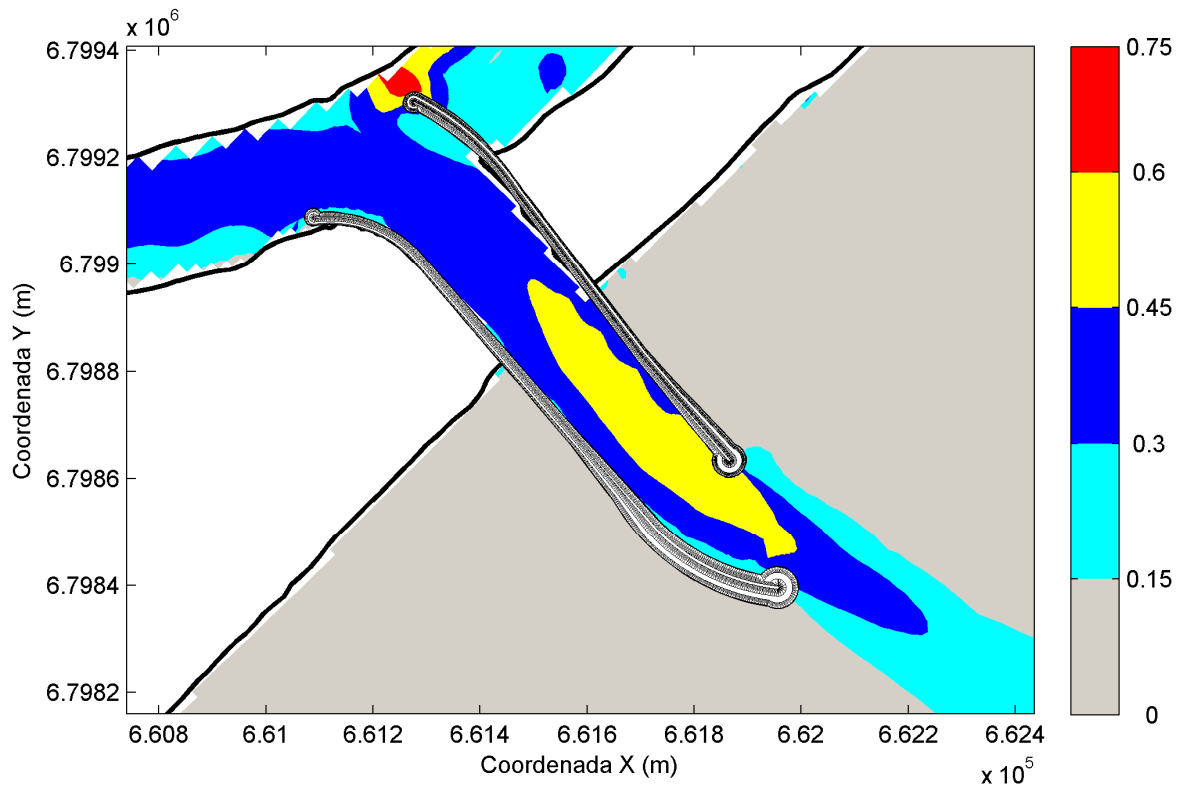


Figura 14: Máximas correntes simuladas (m/s) para $Q_{10\%} = 146,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Os dados apresentados neste item são a base para a entrada para o método de cálculo sugerido pela PIANC, conforme apresentado abaixo.

3. MÉTODO DE PROJETO CONCEITUAL DO CANAL

Neste item são apresentados os valores sugeridos pelo PIANC a serem utilizados no dimensionamento das vias navegáveis. Esse método de cálculo é um guia prático e moderno para o desenho de canais de navegação e quando utilizado resulta em um adequado nível de segurança para a navegação.

Tabela 3: Larguras básicas da via em função da manobrabilidade da embarcação.

| Manobrabilidade do navio | boa | moderada | Baixa |
|--------------------------|-------|----------|-------|
| WBM | 1,3 B | 1,5 B | 1,8 B |

Tabela 4: Larguras adicionais para distâncias de passagem em canais de via dupla.

| Largura de passagem, W_p | Canal Externo | Canal Interno |
|---------------------------------------|---------------|---------------|
| Velocidade da Embarcação (nós) | | |
| - Rápida > 12 | 2,0 B | |
| - Moderada > 8 – 12 | 1,6 B | 1,4 B |
| - Lenta 5-8 | 1,2 B | 1,0 B |
| Densidade do Tráfego Cruzado | | |
| - Leve | 0,0 B | 0,0 B |
| - Moderada | 0,2 B | 0,2 B |
| - Alta | 0,5 B | 0,4 B |

Tabela 5: Larguras adicionais para distâncias das margens.

| Largura Adicional das Margens, (w_{Br}, w_{Bg}) | Velocidade da Embarcação | Canal Externo | Canal Interno |
|---|--------------------------|---------------|---------------|
| Talude do canal, margens e bancos | Rápida | 0,7 B | |
| | Moderada | 0,5 B | 0,5 B |
| | Lenta | 0,3B | 0,3 B |
| Bancos inclinados e rígidos, estruturas | Rápida | 1,3 B | |
| | Moderada | 1,0 B | 1,0 B |
| | Lenta | 0,5 B | 0,5 B |

Tabela 6: Larguras adicionais para seções retilíneas do canal.

| Largura Wi | Velocidade da Embarcação | Canal Externo | Canal Interno |
|--|--------------------------|---------------|---------------|
| Velocidade da Embarcação (nós) | | | |
| - Rápida > 12 | | 0,1B | 0,1B |
| - Moderada > 8 – 12 | | 0,0 | 0,0 |
| - Lenta 5-8 | | 0,0 | 0,0 |
| Vento transversal predominante (nós) | | | |
| - Ameno < 15 | Todas | 0,0 | 0,0 B |
| - Moderado > 15 - 33 | Rápida | 0,3 B | - |
| | Moderada | 0,4 B | 0,4 B |
| | Lenta | 0,5 B | 0,5 B |
| - Severo > 33-48 | Rápida | 0,6 B | - |
| | Moderada | 0,8 B | 0,8 B |
| | Lenta | 1,0 B | 1,0 B |
| Correntes transversais predominantes (nós) | | | |
| Negligenciáveis < 0,2 Fracas 0,2-0,5 | Todas | 0,0 | 0,0 B |
| | Rápida | 0,1 B | - |
| | Moderada | 0,2 B | 0,1 B |
| | Lenta | 0,3 B | 0,2 B |
| Moderadas > 0,5 – 1,5 | Rápida | 0,5 B | - |
| | Moderada | 0,7 B | 0,5 B |
| | Lenta | 1,0 B | 0,8 B |
| Fortes > 1,5 – 2,0 | Rápida | 0,7 B | - |
| | Moderada | 1,0 B | - |
| | Lenta | 1,3 B | - |
| Correntes longitudinais predominantes (nós) | | | |
| Fracas < 1,5 Moderadas > 1,5 – 3 | Todas | 0,0 B | 0,0 B |
| | Rápida | 0,0 B | - |
| | Moderada | 0,1 B | 0,1 B |
| | Lenta | 0,2 B | 0,2 B |
| Fortes > 3,0 | Rápida | 0,1 B | - |
| | Moderada | 0,2 B | 0,2 B |
| | Lenta | 0,4 B | 0,4 B |
| Altura significativa de ondas | | | |
| - Hs < 1 - 3 > Hs > 1 | Todas | 0,0 | 0,0 |
| | Rápida | 2 | |
| | Moderada | 1 | |
| | Lenta | 0,5 | |
| - Hs > 3 | Rápida | 3 | |
| | Moderada | 2,2 | |
| | Lenta | 1,5 | |
| Periculosidade da Carga | | | |
| - Baixa | | 0,0 B | 0,0 B |
| - Media | | 0,5 B | 0,4 B |
| - Alta | | 1,0 B | 0,8 B |

4. EMBARCAÇÕES DE PROJETO

Pelas características gerais do canal entre os molhes de Araranguá e principais atividades a serem desenvolvidas na região numa primeira fase de implantação das estruturas (pesqueira, turística), avaliou-se a navegabilidade de dois tipos de embarcações, classificadas como de pequeno porte, usadas nessas atividades, conforme apresentado na Tabela 7 e na Tabela 8.

O objetivo dessa avaliação foi definir as dimensões máximas das embarcações de pequeno porte, para cada atividade, que conseguiriam uma navegação adequada no canal.

Tabela 7: Embarcação de projeto I. Embarcação pesqueira (ROM 3.1-99).

| Capacidade (DWT) | Deslocamento (DWT) | L _{OA} (m) | L _{PP} (m) | Boca (m) | Calado Carregado (m) | Coefficiente de bloco |
|------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------|----------------------|-----------------------|
| 250 | 400 | 40,0 | 38 | 7,0 | 3,5 | 0,43 |

*L_{OA} – comprimento total

L_{PP} – comprimento entre perpendiculares

Tabela 8: Embarcação de projeto II. Embarcação de recreio a motor (ROM 3.1-99).

| Capacidade (DWT) | Deslocamento (DWT) | L _{OA} (m) | L _{PP} (m) | Boca (m) | Calado Carregado (m) | Coefficiente de bloco |
|------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------|----------------------|-----------------------|
| - | 50 | 24,0 | - | 5,5 | 3,3 | - |

5. DIMENSÕES DO CANAL DE NAVEGAÇÃO

A análise da navegabilidade foi feita de acordo com as normas da PIANC - *Permanent International Association of Navigation Congresses* – (PIANC, 1997).

Para os cálculos da seção do canal de navegação, foram consideradas as embarcações apresentadas na Tabela 7 e na Tabela 8.

O projeto geométrico do canal de acesso é apresentado no Anexo A.

5.1 SEÇÃO DO CANAL DE NAVEGAÇÃO

Foi calculada a seção necessária do canal de navegação para cada uma das embarcações de projeto. A velocidade de serviço adotada foi de 8 nós.

5.1.1 LARGURA

A largura do canal (w) foi calculada para um canal de via dupla, de acordo com a Equação 1, onde w_{BM} é a raia de manobragem básica; w_i são as larguras adicionais em função das condições locais e operacionais; w_{Br} e w_{Bg} são as distâncias das margens esquerda e direita, respectivamente e w_p são as larguras adicionais em função da passagem de duas embarcações.

$$w = 2w_{BM} + 2 \sum_{i=1}^n w_i + w_{Br} + w_{Bg} + \sum w_p \quad \text{Eq. 1}$$

As larguras do canal de navegação necessárias para as duas embarcações de projeto consideradas são apresentadas na Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9: Largura do canal necessária para a embarcação de projeto I.

| Fatores que afetam a largura do canal (w_i) | Largura Adicional (Boca) |
|--|---------------------------------|
| Tipo de canal - Externo; Duas vias | |
| Auxílio à navegação - Moderado | 0,2 |
| Superfície do fundo - Material suave e macio | 0,1 |
| Correntes transversais predominantes - Negligenciáveis | 0,0 |
| Correntes longitudinais predominantes - Baixa | 0,0 |
| Ventos transversais predominantes - Moderado | 0,5 |
| Altura de onda - Média | 0,5 |
| Relação Profundidade/Calado – 1,28 | 0,1 |
| Velocidade da Embarcação - Lenta (≤ 8 nós) | 0,0 |
| Perigo da Carga - Baixo | 0,0 |
| Manobrabilidade – Moderada (w_{BM}) | 1,5 |
| Distância das margens - Material inclinado e rígido - rochas dos molhes (w_{Br}, w_{Bg}) | 0,5 |
| Distâncias de passagem adicionais para canais em duas vias (w_p) | |
| Tipo de canal – Externo; Duas vias | |
| Velocidade da Embarcação - Lenta (≤ 8 nós) | 1,2 |
| Densidade de tráfego - Leve | 0,0 |
| Largura total (Boca) | 8,0 |
| Largura total (m) | 56,0 |

Tabela 10: Largura necessária do canal para embarcação de projeto II.

| Fatores que afetam a largura do canal (w_i) | Largura Adicional (Boca) |
|--|---------------------------------|
| Tipo de canal – Externo; Duas vias | |
| Auxílio à navegação - Moderado | 0,2 |
| Superfície do fundo - Material suave e macio | 0,1 |
| Correntes transversais predominantes - Negligenciáveis | 0,0 |
| Correntes longitudinais predominantes - Baixa | 0,0 |
| Ventos transversais predominantes - Moderado | 0,5 |
| Altura de onda - Média | 0,5 |
| Relação Profundidade/Calado – 1,36 | 0,1 |
| Velocidade da Embarcação - Lenta (≤ 8 nós) | 0,0 |
| Perigo da Carga - Baixo | 0,0 |
| Manobrabilidade – Moderada (w_{BM}) | 1,5 |
| Distância das margens - Material inclinado e rígido - rochas dos molhes (w_{Br}, w_{Bg}) | 0,5 |
| Distâncias de passagem adicionais para canais em duas vias (w_p) | |
| Tipo de canal – Externo; Duas vias | |
| Velocidade da Embarcação - Lenta (≤ 8 nós) | 1,2 |
| Densidade de tráfego - Leve | 0,0 |
| Largura total (Boca) | 8,0 |
| Largura total (m) | 44,0 |

5.1.2 VERIFICAÇÃO DA PROFUNDIDADE

A profundidade do canal foi verificada a partir do cálculo do efeito *squat* (S), em função do deslocamento da embarcação. O cálculo do *squat* foi feito por meio da equação de ICORELS (PIANC, 1997), mostrada na Equação 2, onde ∇ é o volume de deslocamento da embarcação; e F_{nh}^2 é o número de Froude para a profundidade calculada.

$$S = 2,4 \frac{\nabla}{L_{PP}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad \text{Eq. 2}$$

Foi adotado, como profundidade de projeto do canal o valor de 4,50 m – DHN e, então, calculado o efeito *squat* da embarcação na seção do canal. Com o valor do efeito *squat* e o calado da embarcação, se calculou a folga líquida sob a quilha (UKC). Foi adotado 0,50 m, como um valor mínimo de UKC para as condições do canal e o tamanho das embarcações (pequeno porte).

Os resultados dos cálculos de profundidade de navegação são apresentados na Tabela 11 e na Tabela 12.

Tabela 11: Profundidade necessária do canal para embarcação de projeto I.

| Fatores que afetam a profundidade do canal | Valor |
|---|--------------|
| Profundidade do canal (m) | 4,50 |
| Relação Profundidade/Calado | 1,28 |
| Calado (m) | 3,50 |
| Número de Froude | 0,62 |
| <i>Squat</i> –ICORELS (m) | 0,43 |
| Folga líquida sob a quilha – UKC (m) | 0,57 |

Tabela 12: Profundidade necessária do canal para embarcação de projeto II.

| Fatores que afetam a profundidade do canal | Valor |
|---|--------------|
| Profundidade do canal (m) | 4,50 |
| Relação Profundidade/Calado | 1,36 |
| Calado (m) | 3,30 |
| Número de Froude | 0,62 |
| <i>Squat</i> –ICORELS (m) | 0,51 |
| Folga líquida sob a quilha – UKC (m) | 0,69 |

5.1.3 TALUDE

O talude do canal de navegação foi dimensionado em 1:6 com base nos resultados das investigações geotécnicas que caracterizaram o material do canal sendo areia fina (PRODUTO III – SONDAÇÃO DE SIMPLES RECONHECIMENTO POR SPT E PRODUTO IV - SONDAÇÃO EM MAR ABERTO POR JET PROBE).

5.1.4 SEÇÕES CURVAS

O raio mínimo de curva adotado foi de $6 L_{OA}$ e a sobrelargura da curva igual a 1,3 vezes a boca. As dimensões consideradas foram a da maior embarcação de projeto (I). Assim, foi adotado um raio de curva de 400,0 m, para a curva PC2-PT2 e 290,0 m para a curva PC1-PT2. Em ambas as curvas, foi adotada uma sobrelargura de 9,0 m, conforme mostrado no Anexo A.

6. CONCLUSÃO

Neste relatório foi apresentado o estudo de adequação do canal de navegação às embarcações de projeto definidas nesta fase do projeto. Todo estudo foi realizado com base nas formulações analíticas e normas da PIANC - *Permanent International Association of Navigation Congresses* (PIANC, 1997).

As embarcações de projeto foram definidas com base nas atividades de navegação a serem desenvolvidas, em um primeiro momento, na região de Araranguá. Essas atividades são a pesqueira e a turística. As características e dimensões das embarcações de projetos foram definidas com base nas informações fornecidas na ROM 3.1-99 (*Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Areas de Flotación*).

A partir das condicionantes ambientais de projeto e dos cálculos de largura e profundidade do canal, verificou-se que as embarcações de projeto propostas e a geometria do canal de navegação permitirão uma navegação adequada e segura entre os molhes de fixação da barra do Rio Araranguá.

Ressalta-se que o canal projetado apresenta folga de largura (110,00 m, na largura mínima), quando avaliada a largura necessária para a maior embarcação de projeto considerada nesta fase (embarcação I). Isto vale tanto para o trecho reto, com largura de 56,00 m, quanto para o trecho em curva, com largura de 74,00 m, conforme apresentado no Anexo A.

A profundidade projetada para o canal teve o objetivo de permitir um tráfego marítimo de embarcações de pequeno porte na região. Caso haja demanda, ou a iniciativa, de viabilizar a navegação de embarcações de maior porte que as consideradas no estudo, as adequações no canal não devem ser feitas antes de análise das novas dimensões necessárias e intervenções de dragagem adequadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas <http://hidroweb.ana.gov.br/> - 03/05/2011.

D´AQUINO, C.A.; SCHETTINI, C.A.F.; PEREIRA Fo. J.; 2008. Fluvial Modulation of Salt Transport in a Highly Stratified Estuary. Revista. (no prelo)

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação - <https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html> - 03/05/2011.

PIANC- Approach Channels - A Guide for Design (1997);

ROM 3.1-99; 2007. *Recommendations for the Design of the Maritime Configuration of Ports, Approach Channels and Harbour Basins. Puertos del Estado*. Espanha.

TOLMAN, H. L.; 1997. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. *NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note 151*, 97 pp.

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

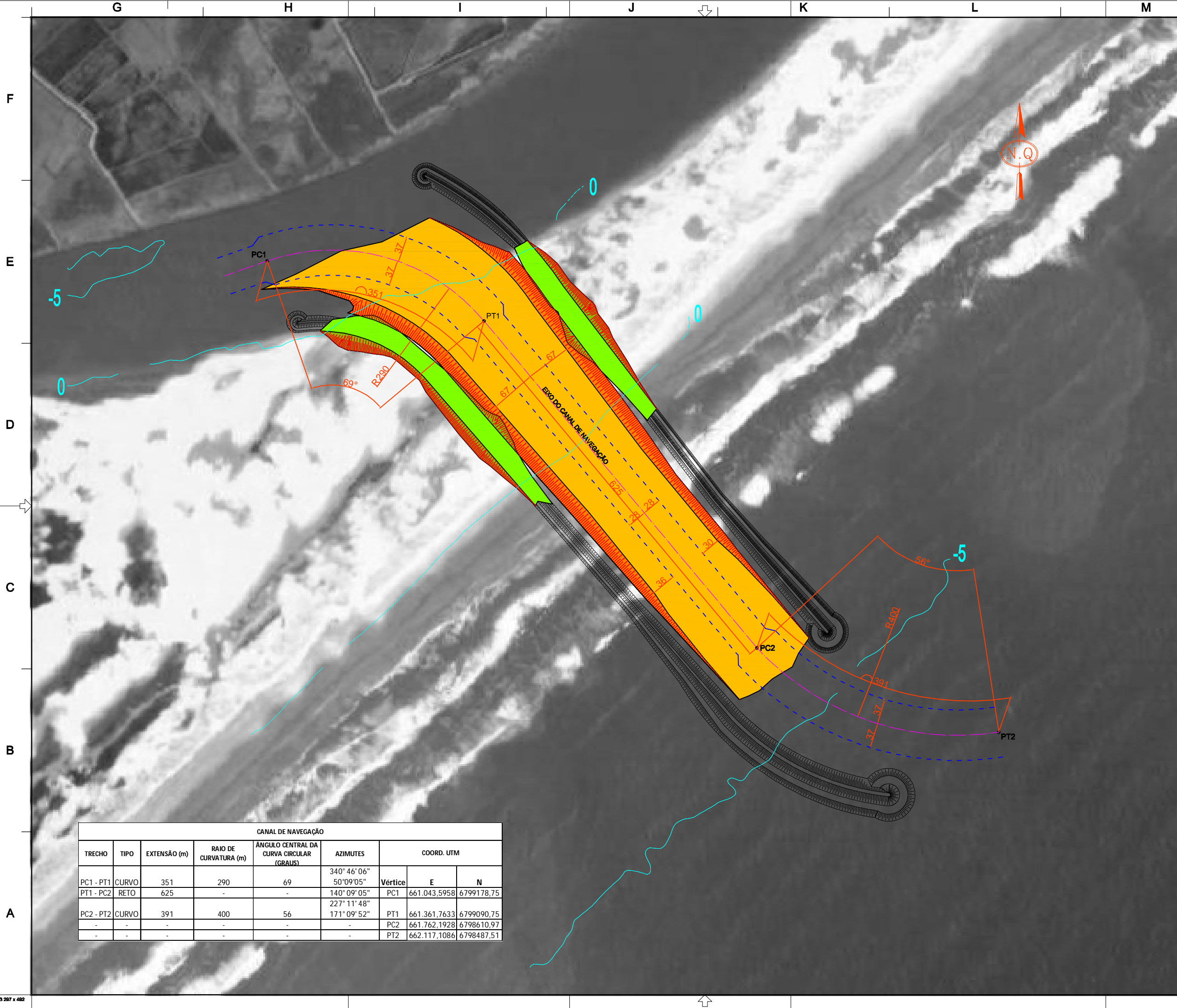


**PROJETO BÁSICO COM DETALHAMENTO CONSTRUTIVO DOS MOLHES DE
FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ, MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ (SC)**

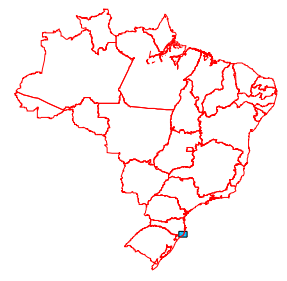
**PRODUTO VI
DIMENSIONAMENTO E CONCEPÇÃO DA OBRA - ANÁLISE DE
NAVEGABILIDADE E DIMENSIONAMENTO DO CANAL**

**ANEXO A
PROJETO GEOMÉTRICO DO CANAL DE ACESSO**

Maio de 2011



LOCALIZAÇÃO



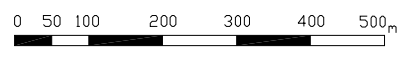
LEGENDA

- EIXO DO CANAL DE NAVEGAÇÃO
- - - LARGURA MÍNIMA PARA EMBARCAÇÕES DE PROJETO
- ISOBATIMÉTRICAS

NOTAS GERAIS

* Todas coordenadas estão em UTM (Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator), Zona UTM 22S, MC -51°, WGS-84

ESCALA GRÁFICA



| | | | | | |
|------|-----------|----------|------|-------|--------|
| 0 | ORIGINAL | 25/05/11 | FOA | BC | LB |
| REV. | DESCRIÇÃO | DATA | DES. | PROJ. | APROV. |



Coastal Planning & Engineering do Brasil Ltda.

DADOS DO PROJETO

CLIENTE: Prefeitura Municipal de **Araranguá**

TÍTULO: **Projeto Conceitual Geométrico - Alternativa 3**

ÁREA: **Araranguá - SC**

EMPREENDIMENTO: **DIMENSIONAMENTO E CONCEPÇÃO DA OBRA ANÁLISE DE NAVEGABILIDADE CANAL DE NAVEGAÇÃO**

Resp. Técnico: Eng.º Viviane Gudi M. CREA/SC: 069882-7

ESCALA: 1:5000

DATA: 25/05/2011

DES.: F.Oliveira

CÓDIGO: BR073

APROV.: L. Benedet

FOLHA: 1 DE 1

| CANAL DE NAVEGAÇÃO | | | | | | | | |
|--------------------|-------|--------------|-----------------------|--|--------------|------------|--------------|------------|
| TRECHO | TIPO | EXTENSÃO (m) | RAIO DE CURVATURA (m) | ÂNGULO CENTRAL DA CURVA CIRCULAR (GRAUS) | AZIMUTES | COORD. UTM | | |
| PC1 - PT1 | CURVO | 351 | 290 | 69 | 340° 46' 06" | Vértice | E | N |
| PT1 - PC2 | RETO | 625 | - | - | 50° 09' 05" | | | |
| PC2 - PT2 | CURVO | 391 | 400 | 56 | 227° 11' 48" | PT1 | 661.361,7633 | 6799090,75 |
| - | - | - | - | - | 171° 09' 52" | PC2 | 661.762,1928 | 6798610,97 |
| - | - | - | - | - | - | PT2 | 662.117,1086 | 6798487,51 |