

Universidade Federal de Santa Catarina
Atividades de Pesquisa
Formulário de Tramitação e Registro

Situação: **Relatório Final em Aprovação**

O formulário original foi alterado.

Protocolo nº: **2012.1442**

Relatório Final

Situação da Atividade:	Atividade realizada
------------------------	---------------------

Título:	Estudo de critérios para especificações de projeto dos laboratórios do curso de engenharia naval do CEM
Resumo:	Levantamento da infraestrutura laboratorial necessário para atender o curso de engenharia naval (e eventual pós-graduação) e trabalhos de pesquisa e extensão do Centro de Engenharias da Mobilidade.
Palavras chave: (máximo 5)	Engenharia Naval. Tanque de prova. Canal circulante. Tunel de cavitação.
Grande Área do conhecimento:	Engenharias
Área do conhecimento:	Engenharias
Nome do Grupo de Pesquisa: (CNPq - Diretório)	
Está vinculado a outro projeto de pesquisa?	
Período de realização:	08/05/2012 a 08/04/2013
A atividade receberá algum aporte financeiro?:	Não
Propriedade Intelectual (o resultado do projeto é ou poderá ser protegido por):	

Envolvidos neste projeto de pesquisa

Coordenador	
Nº do SIAPE:	2646531
Nome do Coordenador:	LUIS FERNANDO PERES CALIL
CPF do Coordenador:	14447767899
Departamento:	CAMPUS DE JOINVILLE
Centro:	CAMPUS DE JOINVILLE
Regime de trabalho:	DE
Fone de contato:	37214664
E-mail:	fernando.calil@ufsc.br
Carga horária semanal nesta atividade:	2 horas
Receberá remuneração nesta atividade de pesquisa?	Não

Você gostaria de participar do guia de fontes da UFSC?	Não
--	-----

Outros prof. ou servidores da UFSC envolvidos?	Não
--	-----

Alunos da UFSC envolvidos?	Sim
----------------------------	-----

Pessoas externas à UFSC envolvidas?	
-------------------------------------	--

Participantes

Aluno: Dean Carlo Zimmermann ENGENHARIA NAVAL [Campus Joinville]

Aluno: Flavia Souza Flores ENGENHARIA DA MOBILIDADE [Campus Joinville]

Outras Considerações

**A. Produção Intelectual: Produção Bibliográfica**

1. Artigo completo em periódico especializado de circulação internacional indexado pelo ISI (http://isi0.isiknowledge.com/portal.cgi/).
--

2. Artigos completos em revistas nacionais indexadas
--

3. Artigo completo em periódico especializado não indexado pelo ISI, mas que pode constar em indexadores regionais como os da Unicamp, da UNAM (México) ou outros e artigo completo em periódico especializado de circulação restrita

4. Trabalho completo em anais de congresso internacional.

5. Trabalho completo em anais de congresso nacional.
--

6. Resumo publicado em anais de congresso internacional.
--

7. Resumo publicado em anais de congresso nacional.

8. Livro publicado.

9. Capítulo de livro publicado.

10. Livros Organizados.

11. Dissertações de Mestrado**12. Teses de Doutorado****13. Outros**

Relatório técnico do estudo quanto às características principais da proposta de tanque de reboque acadêmico para a Universidade Federal de Santa Catarina.

B. Produção Intelectual: Produção Técnica**Produção Técnica****Relatório financeiro e prestação de contas**

Despesas:	<input type="text"/>
Receitas:	<input type="text"/>
Órgãos financiadores:	<input type="text"/>
Saldo (se houver):	<input type="text"/>
Destino do saldo (se houver):	<input type="text"/>

Parecer do Departamento:	Aprovado
Data de aprovação:	10/17/2012 - Ad-referendum

Nº do Processo:	2012.1442
-----------------	-----------

TANQUE DE REBOQUE ACADÊMICO PARA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

ZIMMERMANN, Dean Carlos

SOUZA FLORES, Flavia

CALIL, Luís Fernando Peres

Resumo

O presente trabalho objetiva propor características principais de tanques de reboque para serem instalados em universidades brasileiras. Para tanto, tomou-se como base tanques de reboque existentes – suas funcionalidades, objetivos e dimensões – para determinar características como: comprimento, largura, profundidade e velocidade máxima de um tanque de reboque. Estas características, portanto, serão propostas com base no estudo dos tanques existentes e também do estudo de algumas relações desenvolvidas para dimensionar, por exemplo, a largura de um tanque reboque.

Palavras Chave: Tanque de reboque, Dimensionamento de tanques. Engenharia Naval.

Abstract

This paper infers some features which towing tank of Naval Hydrodynamics Laboratory from UFSC may have. The research had objectives like studying all towing tank in the world, its functionalities, its objectives and its dimensional parameters and then use these information as a base to design some features like length, width, deep and maximum carriage speed of towing tank with academic purposes. So, this features will be estimated by studying of all towing tanks in the world and through studying some techniques developed to design parameters like width. Besides that, this article does not have objective like infer which hardware and software for data acquisition or any type of economic prediction about the tank. The objective of this article is execute a previously study of the main parameters involved to design a towing tank.

Keywords: Towing tank, Design.**INTRODUÇÃO**

Um tanque de reboque é um equipamento que simula as condições que o casco de uma embarcação navega com o intuito de inferir a resistência hidrodinâmica que nele atua. Para se efetuar este teste, um modelo em escala reduzido de um casco de uma grande embarcação é produzido e então preso, na maioria dos casos, a um carro de reboque que o puxa em um tanque com dimensões de comprimento muito maior em relação a sua largura e profundidade.

Ao inferir essa força é possível dimensionar outras variáveis como a motorização, velocidade de cruzeiro que a embarcação terá. Essas são uma das principais características do projeto de uma embarcação que o fará comercialmente viável. Além das questões de cunho comercial, há também questões didáticas envolvidas em um tanque de provas. Para os estudantes é possível então unir a teoria vista em aula com a prática executada ao ver um ensaio acontecendo, além de muitas outras questões para aprendizado que não são vistas em sala de aula, mas exigidas na vida profissional de um engenheiro naval.

Assim, para a construção de tanque de reboque algumas variáveis principais do projeto precisam ser estudadas e inferidas de acordo com o objetivo que o equipamento terá. Uma metodologia então foi elaborada para tentar inferir essas variáveis para um tanque de reboque com um objetivo acadêmico. Para tanto, algumas teorias importantes de hidrodinâmica são utilizadas para ajudar a estimar esses parâmetros, além do uso de técnicas desenvolvidas para dimensionar algumas características físicas. Outras características serão dimensionadas a partir das recomendações de órgãos existentes especialistas no assunto e com base nos tanques existentes.

METODOLOGIA UTILIZADA

As informações sobre tanques apresentadas nesse trabalho foram as das dimensões como comprimento, largura e profundidade do mesmo, além dos comprimentos máximos e mínimos que os modelos em escala podem ter quando ensaiados e velocidades máximas que carros dinamométricos podem atingir.

Com a base de dados da ITTC (International Towing Tank Conference) que é uma instituição que reúne informações dos tanques de reboque e outros equipamentos de todo o mundo e faz recomendações de como o ensaio deve ser conduzido para que se obtenha uma boa precisão e a validade dos resultados, essas informações puderam ser obtidas. Por meio da catalogação feita pela ITTC essas informações foram obtidas e analisadas e questões importantes puderam ser levantadas o que ajudaram na determinação de algumas características do tanque. Esses dados descritos anteriormente foram coletados de 99 tanques de reboque diferentes de 23 países e organizados na forma de gráficos e tabelas para uma análise.

COMPRIMENTO

Para propor um comprimento para o tanque de reboque, foi feita uma análise das informações sobre comprimento dos tanques contidas na base de dados da ITTC (1995). A seguir no gráfico da Figura 1 mostra a quantidade de tanques de reboque catalogados pela ITTC e o intervalo de comprimento que ele pertence.

Pode-se observar que a maior parte dos tanques tem um comprimento menor que 200 metros. O comprimento é uma medida que contribui significativamente para a precisão dos resultados do ensaio. Como são feitos diferentes tipos de ensaios com diferentes tamanhos de modelos, o comprimento do tanque influencia diretamente no tempo de medição da resistência ao avanço, ou seja, o comprimento útil do tanque onde o ensaio é feito. Esse comprimento não é fixo, pois varia também com os tipos de ensaios a ser executado. O comprimento influencia também no comprimento do carro dinamômetro que reboca o modelo, no comprimento do absorvedor de ondas e do gerador de ondas, é ele quem determina as zonas de aceleração e desaceleração do carro, zonas estas muito importantes para o ensaio e para segurança do pessoal envolvido.

Figura 1 – Quantidade de tanques de reboque pelo intervalo de comprimento.

Assim os comprimentos envolvidos para a determinação do tamanho total do tanque podem ser vistos esquematicamente na Figura 2. Para os tanques existentes hoje essas características mudam conforme a tecnologia existente no tanque, finalidade e tipos de ensaios que podem ser efetuados. Um exemplo disso é a zona de aceleração e desaceleração, pois um carro com motores mais potentes e freios melhores, poderá fazer com que essas zonas diminuam fazendo com que a zona de medição aumente.

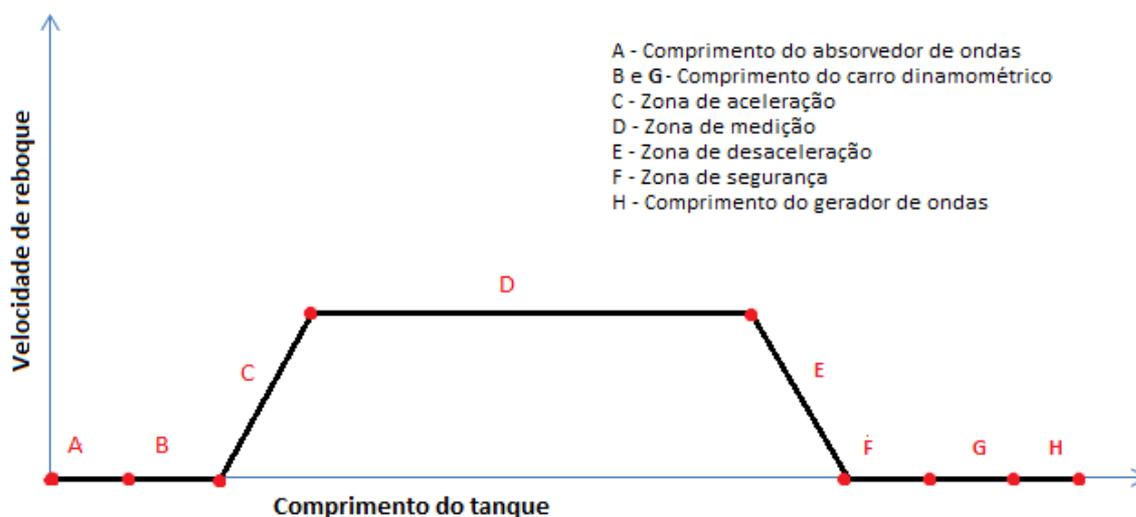


Figura 2 – Comprimentos para envolvidos para dimensionar o comprimento total do tanque

Estudando esses conceitos para dimensionar o comprimento do tanque mais os dados estatísticos dos tanques analisados, é possível propor um comprimento para o tanque. Então, com a base de dados estudada, e sem entrar a fundo no estudo de cada parte envolvida na determinação de um comprimento mais exato do tanque, é razoável pensar que o tanque terá entre 50m e 100m. Apesar de ser um intervalo grande, o resultado é aceitável, pois muitas questões que aqui não são abordadas fazem parte de uma determinação exata.

PROFUNDIDADE

Em profundidades rasas (*shallow water*) existe um aumento da velocidade da água e, por consequência o modelo enfrentar mais arrasto. Para dimensionar a profundidade do tanque, será usado como referencia os procedimentos: *Proceedings of the 22nd ITTC (Final Report and Recommendation – Seul e Xangai, 1999)* e *Proceedings of 12th ITTC (Specialist Committee on Trials and Monitoring – Roma, 1969)* que levam em consideração variáveis como a velocidade do ensaio, boca e calado do modelo.

Este procedimento é executado para evitar o mínimo o efeito de águas rasas. Assim, estipulando parâmetros máximos para a velocidade máxima de ensaio (V) de 3,5 m/s, um calado máximo (T) de um modelo a ser ensaiado de 0.7m e uma boca máxima (Bm) do modelo de 1m, obtêm-se a partir das equações dos procedimentos recomendados que:

$$h > 3\sqrt{Bm * T} \quad (1) : h > \frac{2,75 V^2}{g} \quad (2)$$

onde: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$;

Utilizando as condições de contorno estabelecidas nestas duas relações, chega-se a dois valores de profundidade mínima para o tanque:

$$h > 2,51 \text{ m} : h > 3,43 \text{ m}$$

Com esses resultados é possível propor que profundidade do tanque deve ser superior a 3,43m.

LARGURA

A definição da largura do tanque tem como objetivo evitar que a reflexão das ondas nas paredes laterais do tanque interfira no experimento. Essa reflexão pode causar efeitos indesejáveis nas medições de arrasto do modelo, pois se a largura não for suficientemente grande para impedir que as ondas reflitam-se nas paredes e choque-se contra o casco do modelo, o teste será prejudicado com um tipo de resistência adicional, que não existe em embarcações de escala real. Esse efeito é chamado de águas restritas ou *blockage* pode ser avaliado pela expressão a seguir (VACA, 1973):

$$Bt = 4Lm \tan 19^\circ, 28' + Bm \quad (3)$$

Onde:

Bt: Largura do tanque;

Lm: Comprimento do modelo;

Bm: Boca máxima;

Para tentar estimar a largura do tanque, será utilizado como base os comprimentos dos modelos dos tanques catalogados pela ITTC. Os comprimentos dos modelos (Lm) catalogados variam na faixa de 1m até 13m. E para a boca do modelo (Bm), valores de 0,2m até 1m com intervalos de 0,2m. Na Figura 3, pode-se observar as curvas geradas pela Equação 3:

Figura 3– Largura do tanque de provas em função do comprimento dos modelos

Pode-se perceber que a variação da largura da boca do modelo interfere pouco na largura do tanque de prova. Porém, para os fins de determinação da largura do tanque, deve-se utilizar a boca máxima de um modelo que pode ser utilizado que é de 1m. Com isso resta apenas estimar o comprimento máximo dos modelos que poderão ser ensaiados no tanque e, assim, é possível obter o valor da largura do tanque.

VELOCIDADE MÁXIMA E FAIXA DE COMPRIMENTO DOS MODELOS

O dimensionamento do tamanho dos modelos que serão utilizados e a faixa de velocidades estão intimamente ligados. O carro dinamômetro precisa estar apropriadamente dimensionado para suportar variações nos tamanhos dos modelos. Além disso, seguindo as recomendações da ITTC, deve-se adotar um comprimento mínimo do modelo para que não se perca os fenômenos relacionados a geração de onda (número de Froude). Esse assunto é abordado na 25th ITTC (2008), onde foram feitos ensaios com modelos geometricamente semelhantes, mas com escalas diferentes e obteve-se um resultado aceitável para a questão de diminuir a escala.

É interessante notar que outro fator limitante da faixa de velocidades do carro dinamométrico são as questões de segurança envolvidas. O carro dinamométrico deve dispor de dispositivos de segurança para pararem quando for requisitado, caso contrário pode ocasionar risco ao pessoal envolvido no ensaio e ao desempenho do ensaio.

Analisando agora a Figura 4, que apresenta um gráfico com o número de tanques existente pelo comprimento mínimo dos modelos.

Figura 4 – Comprimento mínimo dos modelos dos tanques catalogados pela ITTC

Observando o gráfico da Figura 4, conclui-se que a maioria do comprimento mínimo dos modelos está na faixa de 1m até 3 metros. Assim, seguindo a recomendação da ITTC para não ter um comprimento de modelo pequeno o suficiente que faça com que perdesse os fenômenos de geração de onda, será adotado um comprimento mínimo do modelo de 1m.

Para definir o comprimento máximo do modelo, também será utilizada uma análise baseada nos tanques catalogados pela ITTC. O fator que restringe um comprimento grande é o de produção desses modelos e o próprio aparato de medição e de reboque que tem que ser mais robusto puxar um modelo com dimensões maiores. Visto isso, na Figura 5 é mostrado um gráfico semelhante ao da Figura 3, porém nesse é demonstrado os comprimentos máximos que os modelos dos tanques possuem.

Figura 5 – Comprimento máximo dos modelos dos tanque catalogados pela ITTC.

No gráfico da Figura 5 têm-se muitos mais dados que no gráfico da Figura 4. Isso se deve ao fato de que alguns catálogos dos tanques não possuíam a dimensão mínima do comprimento do modelo e somente a máxima. Observa-se nesse gráfico que a maioria dos modelos possui comprimento máximo entre 1m e 7m com uma média, dentro desse intervalo, de 4.1m. Com isso pode-se propor que o comprimento máximo do modelo que poderá ser ensaiado será de 4m.

Definido o comprimento máximo do modelo, pode-se voltar a Figura 3 e encontrar a largura do tanque necessária para não ocasionar o efeito de águas restritas no tanque. Como a boca máxima do modelo também já foi estipulada (1m) na determinação da profundidade do tanque, será utilizada a curva de $B_m=1m$ para determina a largura do tanque. Assim, a largura do tanque para que não ocorra esse efeito é de 6.6m.

A determinação da faixa de velocidade do carro dinamométrico, também utilizará a base de dados dos tanques, apresentada na Figura 6. No entanto, apenas a velocidade máxima do carro será estipulada, pois a velocidade mínima que ele poderá ensaiar dependerá muito do sistema de medição e de sua precisão, questão essa que aqui não será abordada.

Figura 6 – Intervalo de velocidade máxima dos modelos dos tanques catalogados pela ITTC.

A maioria das velocidades encontra-se na faixa de 0.5 m/s a 6 m/s, dentro dessa faixa de valores a média de velocidades é 4.1m/s. Anteriormente foi estipulada uma velocidade máxima de reboque de 3.5m/s, para dimensionar a largura do tanque, o que está coerente com os dados observados; assim, este valor será mantido.

Com isso pode-se determinar quais números de Froude que o tanque proposto poderá ensaiar. Na Figura 7 é apresentado um gráfico com a com um retângulo de cor preta que contemplada a área que a maioria dos tanques catalogados pela ITTC pode fazer ensaios.

Dentro dessas áreas estão as curvas que representam um determinado número de Froude, e assim é possível saber em velocidades e tamanho dos modelos que o tanque pode operar. O retângulo em azul representa a área que o tanque proposto poderá operar. Como essa área está dentro da área que os tanques catalogados pela ITTC podem operar, existirá então uma boa base de dados que o tanque proposto poderá se firmar quando estiver operando. Como a ITTC recomenda como devem ser conduzidos os ensaios para que se tenha uma acuracidade nos resultados, o tanque proposto poderá também seguir estas recomendações.

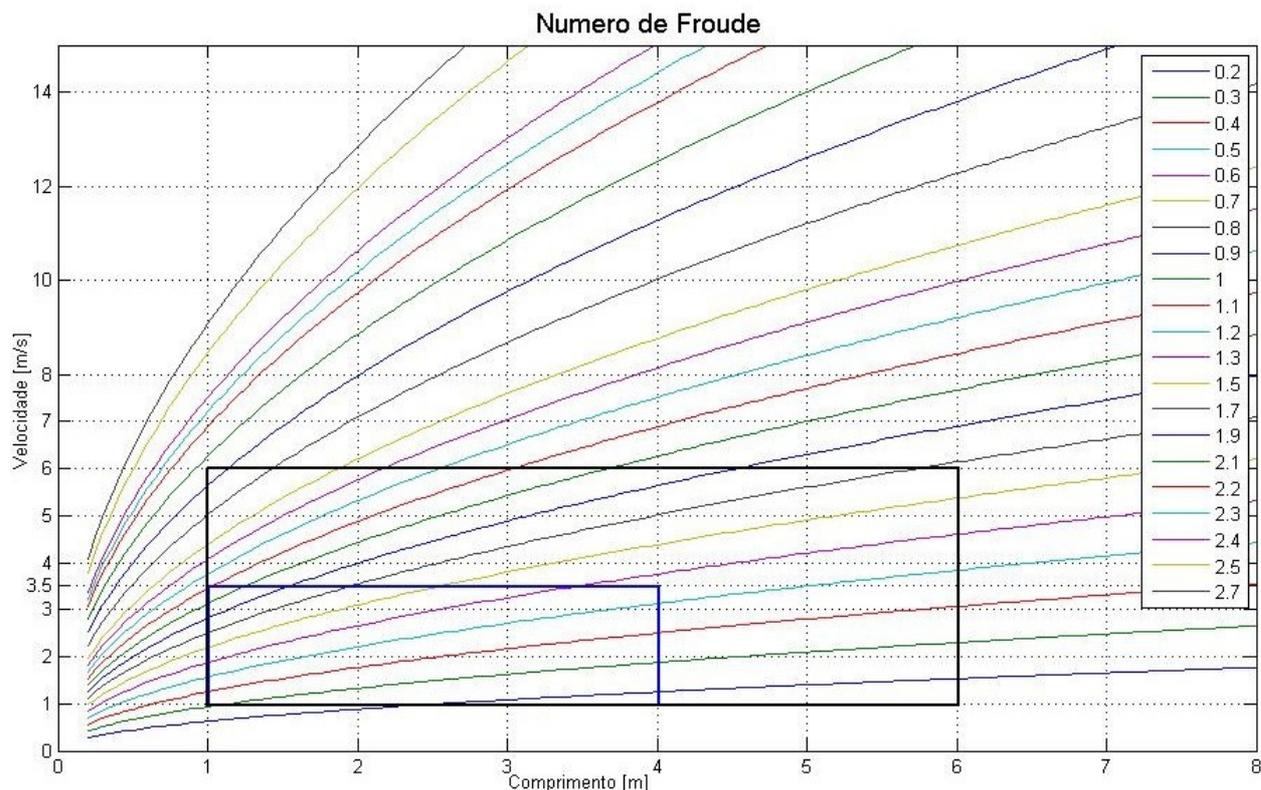


Figura 7 – Área do tanque proposto e dos tanques catalogados pela ITTC que contém os números de Froude que podem ser ensaiados.

CONCLUSÃO

O projeto de um tanque de reboque vai muito além das questões levantadas aqui. Cada tanque construído tem uma função muito específica seja para universidades, institutos de pesquisa ou até mesmo para o país onde ele está como é o caso do tanque do [Stevens Institute of Technology](#) que presta serviço a Marinha Americana.

No Brasil existem muito poucos tanques de reboque - na base de dados da ITTC consta apenas 1 tanque, que não pertence a uma universidade. Com um objetivo acadêmico, um tanque de reboque de uma universidade contemplará as áreas de ensino, pesquisa e extensão; portanto, o tanque deve ter capacidade de realizar uma gama de ensaios que deem subsídio ao aprendizado do aluno (que de graduação ou pós-graduação) e aos projetos de pesquisa e extensão.

O dimensionamento teve como base relações obtidas na bibliografia e dados de tanques existentes catalogados pela ITTC (1995), sendo analisados 99 tanques de 23 países distintos. Com os dados foi observado que a maioria dos tanques tem um comprimento menor que 200 m, e ainda ver que a faixa de 50m até 100m contém o maior número de tanques. Assim, adotou-se esta faixa de valores como referência, já que questões de custo restringem os parâmetros do tanque - quanto maior o comprimento, menor o número de restrições em comparação a geometria do modelo.

Para a profundidade, as referências foram: *Proceedings of the 22nd ITTC (Final Report and Recommendations – Seul e Xangai, 1999)* e – *Proceedings of 12th ITTC (Specialist Committee on Trials and Monitoring – Roma, 1969)*.

Chegou-se à conclusão que uma profundidade adequada seria $h > 3,43$ m, que é o valor mínimo para que o teste não seja prejudicado pela profundidade rasa (*shallow water*).

O tamanho do modelo interfere diretamente na largura do tanque de reboque. As medidas mínimas e máximas do modelo foram estimadas fazendo uma média dos dados catalogados da ITTC, as mínimas notam-se que estão na faixa de 1m a 3m, levando em consideração o número de Froude, adotou-se 1 metro como a menor medida de modelo a ser ensaiada. Já as máximas estão dentro de um intervalo de 1m a 7m, com uma média de 4,1m. Foi proposto, assim, o limite de 4 metros.

O problema a ser superado na dimensão da largura foi de águas restritas ou *blockage*, para que as reflexões das ondas nas laterais do tanque não se chocassem com o casco do modelo, fazendo que no teste exista uma força de resistência não existente nas embarcações de escalas reais. Como a maior dimensão do modelo foi definido em 4 metros, e a boca 1 metro:

$$Bt = 4Lm \tan 19^{\circ}, 28' + Bm$$

E, portanto, a menor largura foi estipulada em 6,6 metros.

A indústria naval no Brasil esta ganhando cada vez mais força e a necessidade de laboratórios capazes de acompanhar e desenvolver tecnologias que melhorem os desempenhos das embarcações é de grande importância. Acreditando na potencialidade do Brasil para uma crescente neste ramo de tanques de reboque, achamos de cunha importância que essa pesquisa seja de domínio público, para que universidades que venham a inserir cursos referentes à área naval e houver interesse na instalação, possam fazer uso deste trabalho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ITTC (International Towing Tank Conference). **Report and recommendations of the specialist committee on trials and monitoring.** In: 12th International Towing Tank Conference. Roma-Italy, 1969.

ITTC (International Towing Tank Conference). **Catalog of Facilities.** In: 21th International Towing Tank Conference. Berkeley, 1995

ITTC (International Towing Tank Conference). **Report and recommendations of the specialist committee on trials and monitoring.** In: 22th International Towing Tank Conference. Seul and Xangai, South Korea and China, 1999.

ITTC (International Towing Tank Conference). **Report and recommendations of the resistance comitee.** In: 25th International Towing Tank Conference. Fukuoka, Japan, 2008.

MICHIMA, P. S. dos S., **Estudo de um absorvedor de ondas ativo para tanque didático.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, 2007.

MUÑOZ, J. M. M. S., **Estudo de metodologia de implantação de tanque de reboque.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, 2011.

National Committee for Fluid Mechanics, Films Notes for Waves in Fluids

VACA, B. **Pesquisa e desenho de um tanque de provas para modelos de navios para o departamento de engenharia marítima e ciências do mar.** Escola Superior Politécnica do Litoral, Equador, 1973.