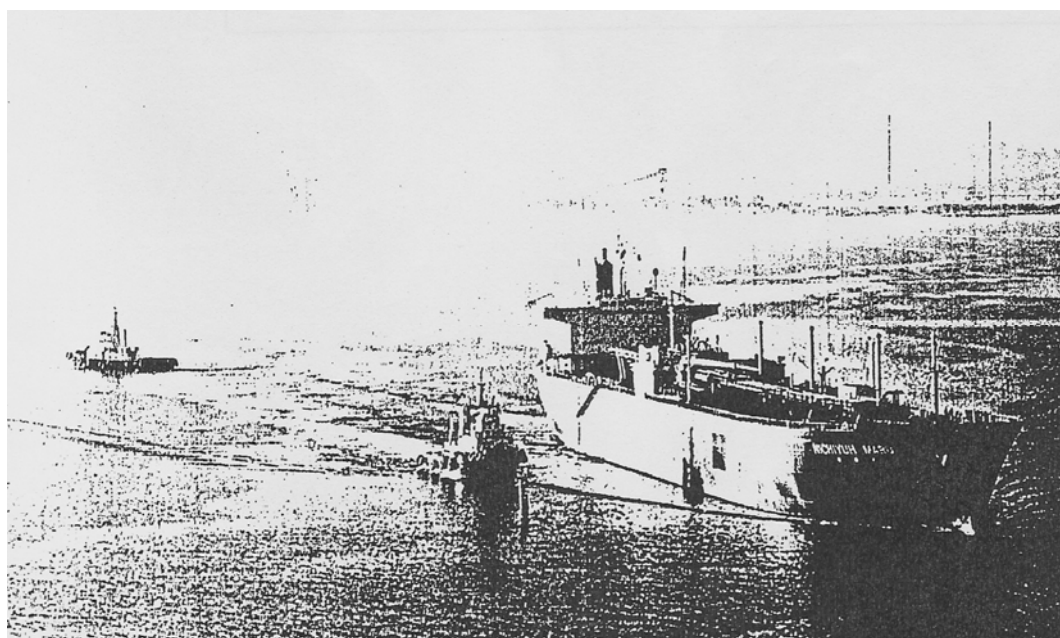




Canais de Acesso Um Guia para Projetos



PTC II- 30
Relatório final do Grupo de
Trabalho Conjunto PIANC e
IAPH em colaboração com
IMPA e IALA
Suplemento ao Boletim N° 95
(junho 1997)

Permanent International Association of Navigation Congresses¹
PIANC

International Association of Ports and Harbors²
IAPH

International Maritime Pilots Association³
IMPA

International Association of Lighthouse Authorities⁴
IALA

CANAIS DE ACESSO

Um Guia para Projetos

Relatório Final do Grupo de Trabalho conjunto
PIANC-IAPH II-30 em colaboração
com IMPA e IALA

Título Original: Approach Channels
A Guide for Design

Tradução: Ailton José Gonçalves Prado
com apoio e orientação técnica de
Marcio Cajaty
Dezembro de 2003

¹ Associação Permanente Internacional de Congressos da Navegação

² Associação Internacional de Portos e Estuários

³ Associação Internacional de Práticos Marítimos

⁴ Associação Internacional de Autoridades de Faróis

A PIANC tem Comitês Técnicos Permanentes tratando de hidrovias interiores e portos (PTC I), hidrovias costeiras e oceânicas (inclusive portos e estuários - PTC II), aspectos ambientais (PEC) e navegação de esporte e recreio (SPN).

Este Relatório foi produzido por um Grupo de Trabalho internacional convocado pelo Comitê Técnico Permanente II. Os membros do Grupo de Estudo representam vários países e são reconhecidos como peritos no assunto sob estudo.

O objetivo deste relatório é fornecer informações e recomendações para a aplicação correta do conhecimento. A conformidade com ele não é obrigatória e deve ser empregado discernimento de engenharia em sua aplicação, especialmente em circunstâncias especiais.

**Permanent International Association
of Navigation Congresses**
WTC – III – 26 ÉTAGE
Boulevard Simon Bolivar 30
B-1000 Brussels
BELGIUM

**The International Association
of Ports and Harbors**

Kotohira-Kaikan Building
1-2-8, Toranomon
Minato-ku
Tokyo 105
JAPAN

ÍNDICE

PREFÁCIO	5	5.3.6.2 Tabela 5.2 – Canal, Via Navegável, etc.	25
1. INTRODUÇÃO	6	5.3.6.3 Tabela 5.3 – Distância de Passagem	27
2. CONSIDERAÇÕES COMERCIAIS	7	5.3.6.4 Tabela 5.4 – Distância à Margem	27
2.1 O Porto como interface	7	5.3.6.5 Áreas de Atracação e Giro	27
2.2 Pressões sobre o Projeto do Canal de Acesso	7	5.4 Exemplos Calculados	27
2.3 Análise Custo/Benefício	8	5.5 Dados sobre Canais de Acesso Existentes	31
2.4 Impacto Ambiental	8	6. PROJETO DETALHADO	33
3. METODOLOGIA DE PROJETO DO CANAL DE ACESSO	9	6.1 Metodologia Geral	33
3.1 Coleta de Dados, Ferramentas de Projeto e Experiência	9	6.2 Avaliação do Ambiente	33
3.2 Definições Básicas	9	6.2.1 Geral	33
3.3 Estágios do Processo de Projeto	9	6.2.2 Dados Ambientais	34
3.4 Dados do Ambiente Físico	10	6.2.3 Técnicas de Coleta de Dados de Campo, Análise e Previsão	34
3.5 Alinhamento, Largura e Profundidade	10	6.2.4 Sistemas de Monitoração e Informações Marítimas	39
3.6 Auxílios à Navegação	10	6.3 Alinhamento do Canal	40
3.7 Limites Operacionais	10	6.3.1 Geral	40
3.8 Tráfego Marítimo e Análise de Risco	11	6.3.2 Configuração de Curvas	40
4. O NAVIO-PROJETO	11	6.3.3 Demarcação das Curvas	40
4.1 O Conceito de 'Navio Projeto	11	6.3.4 Avaliação da Largura das Curvas	41
4.2 A Escolha do Navio Projeto	11	6.4 Largura do Canal	41
4.2.1 Filosofia Básica	11	6.4.1 Geral	41
4.2.2 Tipo de Navio	12	6.4.2 Manobra do Navio e Simulação	41
4.2.3 Análise de Tráfego	12	6.4.3 Emprego de Simulação para Largura do Canal	42
4.2.4 Dimensões do Navio-Projeto	12	6.4.3.1 Tempo Real com Marítimos: o 'Grupo de Peritos'	42
5. PROJETO-CONCEITO	15	6.4.3.2 Simulação Rápida	45
5.1 Geral	15	6.5 Profundidade do Canal	46
5.2 Projeto do canal	15	6.5.1 Introdução	46
5.2.1 Alinhamento, Largura e Profundidade	15	6.5.2 Squat	46
5.2.2 Alinhamento	15	6.5.2.1 Fatores que Influenciam o Squat	46
5.2.3 Considerações sobre Largura	16	6.5.2.2 Recomendações para a Estimativa de Squat	47
5.2.3.1 Manobrabilidade Básica	16	6.5.2.3 Cálculo de Squat	48
5.2.3.2 Fatores Ambientais	16	6.5.2.4 Casos Especiais de Squat	49
5.2.3.3 Auxílios à Navegação	17	6.5.3 Lâmina d'água sob a Quilha em Ondas	49
5.2.3.4 Tipo de Carga	17	6.5.3.1 Espectro de Onda	49
5.2.3.5 Distância de Passagem	17	6.5.3.2 Movimento Vertical do Navio-Projeto	49
5.2.3.6 Distância às Margens	17	6.5.3.3 Movimento Vertical Máximo Permissível	49
5.2.4 Considerações sobre Profundidade	18	6.5.3.4 Critérios de Segurança e Regras de Decisões	49
5.2.5 Curvas	21	6.5.4 Profundidades do Canal em Áreas Lamacentas	49
5.3 Método de Projeto-Conceito de Canal	22	6.5.4.1 Motivação	49
5.3.1 Introdução	22	6.5.4.2 Enfoque de Fundo Náutico	50
5.3.2 Profundidade	22	6.5.4.3 Características da Lama	50
5.3.3 Largura: Seções Retas	22	6.5.4.4 Critérios para Determinação do Fundo Náutico	51
5.3.4 Largura e Raio da Curva	24	6.5.4.5 Comportamento de Navios em Áreas de Lama	52
5.3.5 Alinhamento	24	6.5.4.6 Recomendações para Profundidade de Canal em Áreas Lamacentas	53
5.3.6 Definições e Notas Relativas às Tabelas	24	6.6 Áreas de Atracação e Giro	54
5.3.6.1 Tabela 5.1 – Manobrabilidade do Navio	24	6.6.1 Emprego de Simulação	54

6.6.2	Alinhamento de Berços	54	12	LISTA DE SÍMBOLOS	76
6.6.3	Dimensionamento e Número dos Rebocadores	55		APÊNDICE A	77
6.6.4	Projeto da Área de Giro	55		Análise dos Ventos em Canais de Acesso Existentes	
6.7	Limites Operacionais	56		APÊNDICE B	83
6.7.1	Operação de Rebocadores e Botes de Amarração	56		Dimensões Típicas de Navios	
6.7.2	Embarque do Prático	56		APÊNDICE C	86
6.7.3	Velocidades de Impacto nas Defensas	56		Previsão de Squat	
6.7.4	Manobras à Ré	56		APÊNDICE D	106
6.7.5	Movimentos de Navios Amarrados	56		Profundidades da Água em Áreas Lamacentas: O Enfoque do Fundo Náutico	
7	RISCO MARÍTIMO E SEGURANÇA DA OPERAÇÃO	58			
7.1	Introdução ao Risco Marítimo	58			
7.1.1	Risco Marítimo	58			
7.1.2	Estimativa de Risco Marítimo	58			
7.1.3	Métodos de Redução de Riscos	59			
7.2	Redução do Risco Marítimo	59			
7.2.1	Vessel Traffic Service (VTS)	60			
7.2.2	Limites de Operação	60			
7.2.3	Regras de Operação	60			
7.2.4	Auxílios à Navegação	60			
7.2.5	Esquemas de Separação de Tráfego	61			
7.3	Coleta de Dados	61			
7.4	Planejamento e Simulação de Tráfego	62			
7.4.1	Introdução	62			
7.4.2	Modelos de Simulação de Fluxo de Tráfego	62			
7.4.3	Procedimentos para o Desenvolvimento de um Modelo de Fluxo de Tráfego	63			
7.4.4	Condições Limites e Dados de Entrada	63			
7.4.5	Dados de Saída	65			
7.4.6	Avaliação dos Resultados da Simulação	65			
7.5	Considerações sobre Praticagem	66			
7.5.1	Geral	66			
7.5.2	Variabilidade do Prático	66			
7.5.3	Áreas de Embarque de Prático	66			
7.5.4	Áreas de Fundeio e Berços de Espera (<i>Lay By Berths</i>)	66			
7.5.5	Número de Práticos	67			
7.5.6	Aspectos de Segurança	67			
7.6	Critérios de Segurança	67			
7.6.1	Geral	67			
7.6.2	Critérios Primário e Secundário	67			
7.6.3	Critérios de Risco	67			
7.6.4	Critérios de Atividade do Leme	68			
7.6.5	Critérios de Largura	68			
7.6.6	Critérios de Profundidade	69			
7.6.7	Critérios de Alinhamento	69			
8.	RESUMO DA METODOLOGIA: AVALIAÇÃO DO IMPACTO MARÍTIMO	70			
8.1	Resumo Geral	70			
8.2	Avaliação do Impacto Marítimo	71			
9.	TERMOS DE REFERÊNCIA	72			
10.	REFERÊNCIAS	72			
11	GLOSSÁRIO	74			

PREFÁCIO

O projeto moderno de canais de acesso veio a existir como uma disciplina separada nos anos 60, particularmente para o desenvolvimento de portos de águas profundas.

O projeto de dimensões de canais foi primeiramente considerado pelo Grupo de Trabalho 2 da Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), International Oil Tankers Commission⁵ (IOTC), tendo o relatório sido publicado em 1973. O trabalho da IOTC foi então revisado alguns anos mais tarde pelo Grupo de Trabalho 4 da PIANC – International Commission for the Reception of Large Ships⁶ (ICORELS) cujo relatório foi publicado em 1980. O relatório da ICORELS compreendia uma revisão detalhada, mas a Comissão concluiu que no estágio de conhecimento em que o assunto se encontrava, suas recomendações gerais teriam que ser conservadoras, tendo, no entanto, deixado em aberto a possibilidade de que tais recomendações fossem passíveis de refinamentos à medida que o conhecimento sobre a matéria evoluísse.

Desde o Relatório da ICORELS, tem havido progressos consideráveis não somente em termos de conhecimento, mas também de tecnologia e de técnicas analíticas:

- primeiramente, em pesquisas sobre comportamento do navio e desenvolvimento de sistemas de orientação
- segundo, em tecnologia de computadores e em sistemas matemáticos e físicos de modelagem (utilizando a pesquisa sobre comportamento do navio), possibilitando previsões de trajetórias de navios levando em consideração os fatores humanos
- terceiro, em experiência com navios de grande porte transitando por alguns anos em canais de acesso portuários, alguns destes com proporção entre largura do canal/boca do navio-projeto inferior ao que geralmente é recomendado pela ICORELS.

Reconhecendo a necessidade de uma revisão das recomendações apresentadas em relatórios anteriores, a PIANC e a International Association of Ports & Harbors (IAPH) formaram um Grupo de Trabalho conjunto (nº 30) e convidaram para dele participarem a International Maritime Pilots Association (IMPA) e a International Association of Lighthouse Authorities (IALA) com o intuito de avaliar e, se necessário, atualizar relatórios existentes, para fornecer diretrizes práticas para o projeto de canais de acesso e vias navegáveis. No centro desse trabalho estavam os resultados coletados por um Grupo de Trabalho da

PIANC anterior (nº 7), que foram combinados com recentes desenvolvimentos nas técnicas de projeto, para formar a base deste relatório.

Seu propósito é fornecer aos engenheiros em exercício diretrizes e dados que lhes permitam projetar um canal para um dado navio ou misto de tipos de navios ou, alternativamente, possibilitar a avaliação da compatibilidade de um canal existente com uma proposta de mudança no tipo de navio ou de operação. A intenção tem sido fornecer diretrizes práticas que sejam prontamente utilizáveis e fáceis de entender e justificar.

Conforme os Termos de Referência constantes no Capítulo 9, um Relatório preliminar foi preparado abordando aspectos de Projeto-Conceito, e este Relatório foi publicado conjuntamente pela PIANC/IAPH em abril de 1995. De qualquer forma, o presente relatório cobre todos os aspectos de Projeto de Canais (Conceito e Projeto Detalhado).

Os membros do Grupo de Trabalho nº 30 eram:

P.M. Fraenkel Presidente Engenheiro Consultor, Peter Fraenkel Maritime Ltd (Reino Unido)	IAPH
I.W. Dand* British Maritime Technology Ltd (Reino Unido)	PIANC
W. Dietze* Ex Wasser-und Schiffahrtsdirektion Nordwest (Alemanha)	PIANC
J. Barber* Engenheiro Consultor (Reino Unido)	IAPH
M. Hocter Ex-Diretor Gerente, Porto de Limerick (Irlanda)	IAPH
Comte. A. R. Boddy International Maritime Pilots Association (Reino Unido)	IMPA
R. Buchanan** Ex Department of Marine and Harbours (Sul da Austrália)	IAPH
Prof. K. d'Angremond Technische Universiteit Delft (Holanda)	PIANC
C. Deelen Porto de Róterdam (Holanda)	PIANC
R. Groenveld Technische Universiteit Delft (Holanda)	PIANC

⁵ Comissão Internacional para Navios Tanques

⁶ Comissão Internacional para Recepção de Navios de Grande Porte

F. R. Kalff Haskoning Consulting Engineers (Holanda)	IAPH
Y. Okuyama Instituto de Pesquisa sobre Portos e Baías (Japão)	IAPH
N. Matthews Ex Secretário Geral - IALA	IALA
K. Navali** Australian Construction Services (Austrália)	PIANC
O. Piet Ministère de L'Équipement, des Transports et du Tourisme, Service Technique Central des Ports Maritimes et des Voies Navigables, Compiègne (França)	PIANC
J. Read Ex-Maunsell Consulting Engineers (Reino Unido)	IAPH
T. Rekonen Conselho Nacional de Navegação (Finlândia)	PIANC
V.K. Shah Ex Marine Works, A & E Services (Canadá)	PIANC
J.C.K. van Toorenburg Rijkswaterstaat (Holanda)	PIANC
M. Vantorre Universiteit Gent (Bélgica)	PIANC

* Membros do subcomitê de edição

** Membros Correspondentes

navio, fatores humanos no seu manejo e efeitos do ambiente físico.

O projeto de um canal de acesso envolve determinar *layout* e dimensões da área marítima principal de um porto no que toca a:

- alinhamento e largura de canais de acesso e entradas do porto
- profundidade de canais de acesso
- dimensão e forma de áreas para manobras no porto, com referência particular às áreas de parada e giro.

Layout e dimensões são de grande importância, primeiramente porque em algumas situações a criação de áreas marítimas e trabalhos de proteção a elas relacionados constituem de longe o maior investimento em infra-estrutura portuária, e segundo porque fatores como largura da entrada, espaço para manobras e alinhamento de quebra-mares são muito difíceis de mudar ou adaptar uma vez que o porto tenha sido construído.

Para portos de águas profundas que devam receber navios de grande porte, digamos acima de 50.000 TPB, um importante problema a ser enfrentado é o fato que a trajetória real desses navios poderá desviar consideravelmente daquela que seria ideal. Isso é consequência da baixa resposta de navios grandes à ação do leme ou a movimentos de máquinas. Essa característica pode requerer a introdução de limites operacionais diferentes para tais navios quando em acesso ao porto ou em outras áreas de navegação. Como resultado, os cuidados a serem tomados para uma navegação segura deverão ser maiores nesses portos do que naqueles que atendam somente a navios de pequeno porte.

Progressos no transporte marítimo são continuamente estimulados por avanços tecnológicos e mudanças na demanda de transporte. Se um porto e suas facilidades não estiverem prontos a responder a esses progressos, então advirão demoras, congestionamentos, incidentes e acidentes; resumindo, ele funcionará inadequadamente. Os ônus daí resultantes para a economia regional e nacional são sempre pesados.

Conforme já observado, adaptar um porto existente a novas exigências marítimas é sempre uma tarefa difícil, cara e consumidora de tempo, especialmente se não foi incorporada flexibilidade suficiente ao projeto original. Assim, no desenvolvimento de um novo porto, de início deve ser feita uma avaliação completa do tipo, porte, carregamento e número de navios que o utilizarão tanto agora como no futuro. Então, devido às inadequações inerentes e erros nessas avaliações e previsões, deve ser incorporado um grau máximo de adaptabilidade futura a novos tipos de navios que poderão vir a utilizar os canais de acesso ao porto e áreas de manobra.

Todas as considerações acima conduzirão naturalmente à necessidade de um processo de projeto lógico e com bases racionais, que possibilite entre outras coisas, a determinação das dimensões

1. INTRODUÇÃO

O projeto de um canal de acesso abrange um número de disciplinas, que incluem manobra de navios e engenharia marítima, para que se possa projetar hidrovias com um nível desejável de navegabilidade e segurança. Isso demanda a avaliação de alguns elementos-chaves, incluindo porte e comportamento do

horizontais e verticais dos canais de acesso ao porto e às áreas de manobras.

O processo de projeto é apresentado em dois estágios:

- um estudo de Projeto-Conceito baseado em dados iniciais sobre o ambiente físico, um navio-projeto e outras exigências provenientes de considerações e previsões comerciais. Isto conduz a
- um estudo de Projeto Detalhado, envolvendo o desenvolvimento e a validação de aspectos particulares.

Neste relatório, as áreas mais complexas do Projeto Detalhado são discutidas com alguma profundidade e são descritas as técnicas de computação nelas empregadas. No entanto, ao invés de apenas nos determos nos detalhes de tais técnicas, foi dada atenção particular ao processo de preparação do projetista para o emprego de tais técnicas e interpretação de seus resultados.

Deve ser prestada atenção especial aos Apêndices C e D, que versam sobre *squat* e a determinação de profundidade em áreas de fundo de lama.

2. CONSIDERAÇÕES COMERCIAIS

2.1 O PORTO COMO INTERFACE

Um porto funciona como um elo vital em uma cadeia de transporte, formando uma interface entre os modais dessa atividade, como parte do comércio internacional ou doméstico ou do transporte de passageiros e/ou automóveis. O porto é uma interface entre os navios no lado marítimo e o transporte ou armazenagem no lado de terra.

(Outra possibilidade, naturalmente, é a transferência do navio para outro tipo de transporte sobre água).

A logística do manuseio e operação de mercadorias, passageiros, automóveis ou caminhões no lado de terra dos portos é um vasto e importante assunto quando se considera a viabilidade comercial de um porto. Porém, é de igual importância o planejamento do lado marítimo do porto – aquela área do lado de mar dos cais, molhes ou fundeadouros que permitem com segurança a passagem, parada, giro, atracação e desatracação de navios que utilizam o porto.

Os métodos de projeto discutidos abaixo se referem inteiramente ao lado marítimo do projeto portuário; as operações de terra não são mencionadas. No entanto, na realidade, os dois aspectos coexistirão. Infra-estrutura e operação adequadas e eficazes no lado de terra são essenciais ao desempenho da operação no lado marítimo – por exemplo, possibilitando aos navios uma estadia rápida e eficiente e o acesso aos berços sem esperas. O projetista do lado marítimo deve ter

sempre isto em mente, visto que ele pode eventualmente se deparar com, por exemplo, extensões de cais ou áreas de aterro que podem ser determinadas mais pelas exigências do lado de terra do que pelas do lado de mar. A inventividade do projetista do lado marítimo será solicitada para assegurar que tais situações não impeçam a operação segura e eficiente dos navios.

2.2 PRESSÕES SOBRE O PROJETO DO CANAL DE ACESSO

Existem freqüentemente mudanças para otimizar aspectos econômicos em elos ou estágios individuais da cadeia de transporte, porém, planejadores de portos geralmente buscam otimizar aspectos econômicos da cadeia de transporte em seu todo, desde que o necessário investimento em infra-estrutura portuária e equipamento se justifique através de um retorno aceitável, e que todos os critérios ambientais sejam satisfeitos.

A pressão sobre as autoridades portuárias no sentido de que sejam providenciados canais de acesso para navios de grande porte, ou no sentido de que navios maiores sejam autorizados a utilizar os canais existentes é resultado do aspecto econômico da navegação. O custo tonelada/km da carga no que diz respeito a combustível, tripulação e valor do capital para um navio carregado no mar diminui à medida que o porte do navio aumenta.

O aumento no porte dos navios, uma vez aceito, prioriza a redução do tempo no porto, o que leva a pressões adicionais sobre o projeto do canal de acesso no sentido de:

- minimizar o tempo de trânsito do navio no canal de acesso
- providenciar acessibilidade com qualquer maré e sob quaisquer condições de tempo, ou pelo menos minimizar as restrições.

O desenvolvimento de um porto bem sucedido é um processo contínuo, dependente de variações tanto no comércio como nos mercados mundiais, bem como das tendências da navegação e práticas de movimentação de cargas. Torna-se necessário, portanto, que a autoridade portuária antecipe demandas e tendências e projete as quantidades de mercadorias que provavelmente passarão pelo porto em anos futuros, bem como os navios que serão empregados. Combinando as previsões, quantidades de mercadorias deverão ser convertidas em número de navios de vários tipos, sendo que todos devem ser atendidos pelo lado marítimo da operação portuária.

Dessas previsões, advirão as dimensões do Navio-Projeto, conforme descrito no Capítulo 4; porém o aumento no número de navios também impõe pressão sobre o projeto do canal de acesso, uma vez que provoca o aumento da freqüência de cruzamentos e ultrapassagens entre navios (ver Tabela 5.3 e Capítulo 7).

Mudanças na natureza das cargas movimentadas (por exemplo, pela introdução de cargas mais perigosas), também afetam o projeto do canal, conforme mostrado na Tabela 5.2 (i) e Capítulo 7.

2.3 ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO

Os estímulos comerciais estão sempre ativos nos projetos e operações portuários, e embora não se constituam no foco deste relatório (serão abordados de maneira breve), são eles que determinam as técnicas de planejamento discutidas abaixo.

A justificativa econômica global para um canal de acesso portuário é normalmente calculada como parte da análise custo/benefício para a cadeia total de transporte através do porto (juntamente com qualquer infra-estrutura hidroviária interior associada). O peso do custo do canal na análise total de custo/benefício variará, dependendo do comprimento do canal e da extensão de qualquer canal natural ou artificial preexistente.

Os custos do canal incluem os seguintes componentes:

- construção – normalmente dragagem principal e/ou reconstrução por meio de alargamento e/ou aprofundamento
- manutenção – normalmente dragagem de manutenção, a fim de corrigir assoreamento e depósito de lodo
- operação – rebocadores, praticagem e auxílios à navegação (incluindo custos de investimentos)
- redução do impacto ambiental ou exigências a esse respeito.

Como parte da análise global inicial de custo/benefício, o efeito de variáveis ajustáveis, como o porte máximo de navio permissível, restrições de maré ou outras regras de operação e padrões de auxílios à navegação, pode ser rapidamente calculado empregando-se o Método de Projeto-Conceito constante no Capítulo 5 para determinar as dimensões iniciais do canal, que podem também ser empregadas em estudos *trade-off*⁷.

Está implícito neste processo que o Método de Projeto-Conceito deve prover segurança adequada à navegação conforme as boas práticas modernas. Nele estão contidas as margens de segurança adotadas em muitos portos através do mundo (ver Apêndice A).

Uma análise profunda de acidentes com navios demonstra que dos acidentes e sinistros marítimos ocorridos em canais de acesso a portos, somente um pequeno percentual é devido ao projeto do canal. Porém, com as futuras pressões econômicas e ambientais que certamente virão a ser exercidas sobre os operadores portuários, é essencial que tal percentagem permaneça baixa.

Deve-se também aplicar análise de custo/benefício na avaliação de pequenos ajustes ou refinamentos propostos ao projeto do canal como parte do Projeto Detalhado, a fim de justificar o custo de tais ajustes relativamente ao efeito sobre o risco de acidentes com navios, bem como o benefício da redução dos custos e conseqüências desses acidentes. Tais custos incluem despesas de salvatagem e reparos de navios, perda de frete ou aluguel, perda ou avaria à carga, ferimento ou morte de pessoas, fechamento ou obstrução do canal, perda de reputação do porto, avaria à propriedade e danos ao meio ambiente.

A extensão do risco em termos de custos depende tanto do risco em termos de possibilidades de acidentes como das conseqüências ambientais de cada acidente. Pode-se esperar que as conseqüências de, por exemplo, um acidente de encalhe, sejam proporcionais ao porte do navio para um tipo de carga em particular, enquanto certas cargas terão um potencial muito maior de conseqüências. Métodos de avaliação dos efeitos do projeto do canal sobre os riscos marítimos são descritos no Capítulo 7.

É particularmente importante demonstrar que uma correlação apropriada entre segurança e custos tenha sido obtida, especialmente quando os custos do canal forem altos. Para um canal curto através do qual os navios passarão transportando somente cargas a granel inofensivas, um projeto conservador envolvendo esforços limitados em sua elaboração é perfeitamente aceitável. No entanto, para um canal longo, de tráfego denso e/ou para um canal destinado ao transporte de carga perigosa, torna-se necessário um esforço especial no projeto.

2.4 IMPACTO AMBIENTAL

O desenvolvimento de um novo canal ou a ampliação de um já existente afetará sempre o meio ambiente marítimo em suas vizinhanças. Conseqüentemente, hoje em dia é necessário que se faça uma avaliação de impacto ambiental (EIA)⁸.

No lado de mar, o porto e seu canal de acesso podem afetar a fauna e flora locais devido a modificações ou danos a seus habitats naturais. Ainda, mudanças no movimento das águas na localidade podem ter efeitos sobre a vida marinha.

Em terra, o ambiente pode ser afetado pelo impacto visual do porto, seus ruídos e emissões (como poeira ou fumaças), causados por sua operação ou durante sua construção. Ainda, a flora e fauna terrestres podem ser perturbadas (ou eliminadas) pelas mudanças propostas.

O EIA seguirá diretrizes agora bem estabelecidas que estão além da abrangência deste relatório. No entanto, deve ser lembrado que o projeto de um canal de acesso interagirá com a EIA e modificações terão que ser feitas se o impacto ambiental se revelar inaceitável. Isto por sua vez poderá afetar as condições ambientais do projeto do canal, bem como o projeto propriamente dito.

⁷ Tipo de estudo em que varias opiniões (frequentemente conflitantes) são avaliadas com o propósito de alcançar uma solução aceitável de consenso

⁸ Environmental Impact Assessment

3 METODOLOGIA DE PROJETO DO CANAL DE ACESSO

3.1 COLETA DE DADOS, FERRAMENTAS DE PROJETO E EXPERIÊNCIA

A metodologia de projeto apresentada neste relatório emprega uma gama de métodos de coleta de dados e de ferramentas de projeto que agora estão disponíveis ao projetista de canais de acesso. Todos devem ser empregados conjuntamente com a experiência. Os métodos mostrados são necessariamente baseados no estágio atual de tecnologia, técnicas e conhecimento. No entanto, pretende-se que tais métodos permitam e estimulem projetistas a se manterem atualizados com e fazerem uso de futuros progressos, desde que as limitações e suposições implícitas ou simplificações de métodos e modelos sejam consideradas.

As ferramentas de projeto disponíveis podem ser classificadas de modo geral como:

- analíticas
- numéricas
- físicas.

Ferramentas analíticas são modelos que permitem a análise de ventos, ondas e correntes, bem como de alguns dos aspectos probabilistas de tráfego marítimo e risco. Como exemplos, temos a análise elementar de ondas e as distribuições de frequência usadas para as chegadas de navios a um porto ou a uma posição ao longo do canal.

Modelos analíticos são suplementados (e em alguns casos substituídos) por modelos numéricos baseados no emprego de computadores digitais. Estes revolucionaram o projeto de canais de acesso; como exemplo, temos os modelos de fluxo de água, de manobra de navios e de fluxo de tráfego.

Modelos analíticos e numéricos podem ser somente tão bons quanto o permita o entendimento de seus processos físicos. Em alguns estágios do projeto portuário tal conhecimento pode ser escasso e os modelos matemáticos terão de ser complementados por modelos físicos, isto é, modelos de laboratório para investigar a propagação de ondas em um porto, ou modelos de navios passando sobre uma topografia complexa de fundo de mar.

Todas essas ferramentas de trabalho podem e devem ser complementadas pela experiência. Esta deve compreender a experiência global do projetista, baseada em envolvimento prévios com outros canais e portos, mas deve também incluir a experiência prática dos marítimos que empregam (ou, no caso de um novo porto, terão que empregar) os resultados dos esforços do projetista. É essencial que estas e outras experiências relevantes sejam buscadas e postas o quanto antes a influenciar o processo do projeto, sendo de grande vantagem um enfoque multi-disciplinar. O

modo como tal experiência pode ser integrada ao projeto será demonstrado abaixo.

3.2 DEFINIÇÕES BÁSICAS

Antes de considerar os vários estágios do processo de projeto, é necessário definir alguns termos básicos. O mais importante deles é o “canal de acesso”.

Um canal de acesso é definido como qualquer trecho de hidrovia ligando os berços de atracação de um porto ao mar aberto. Existem dois tipos principais:

- de mar aberto ou canal externo, em águas desabrigadas,
- o acesso principal ou canal interno, localizado em águas relativamente abrigadas.

O canal normalmente termina, em sua extremidade interna, em uma área de giro e/ou atracação, que possibilita que sejam efetuadas manobras de parar e girar.

Neste relatório, são considerados canais de acesso de todas as dimensões; os problemas de atendimento às necessidades de um pequeno navio de cabotagem em um pequeno porto podem ser tão grandes quanto os de um navio tanque de grande porte em um terminal petroleiro.

As definições de outros termos comuns estão incluídas no glossário no Capítulo 11.

3.2.1 ESTÁGIOS DO PROCESSO DE PROJETO

Neste relatório, o projeto de um canal de acesso é considerado como um processo de dois estágios que consistem de:

- Projeto-Conceito
- Projeto Detalhado.

Conforme será explicado abaixo, a metodologia baseia-se na premissa inicial de um Navio-Projeto, especificado para representar o navio mais difícil que se espera que venha a usar o canal. Em alguns casos, mais de um Navio-Projeto podem ser especificados. No estágio de Projeto-Conceito, estimativas dos parâmetros físicos globais do canal proposto – largura, profundidade e alinhamento – são determinadas a partir de dados do ambiente físico e outras informações disponíveis na fase inicial. O processo de Projeto-Conceito deve ser de execução rápida e não deve requerer dados de entrada em excesso, de modo que opções alternativas (para estudos *trade-off*) possam ser avaliadas rapidamente. Os parâmetros físicos de saída serão combinados com propostas ou suposições sobre limites operacionais e auxílios à navegação.

O Projeto Detalhado é um processo mais elaborado destinado a validar, desenvolver e refinar o Projeto-Conceito, no que toca tanto aos dados de entrada quanto aos de saída. Os métodos empregados no Projeto Detalhado geralmente se baseiam em modelos

de computador e, portanto, necessitam de dados de entrada mais extensivos e detalhados, bem como requerem julgamento e experiência adequados na interpretação de seus dados de saída.

Para que tenham aceitabilidade, os dados de saída do Projeto Detalhado devem ser submetidos a

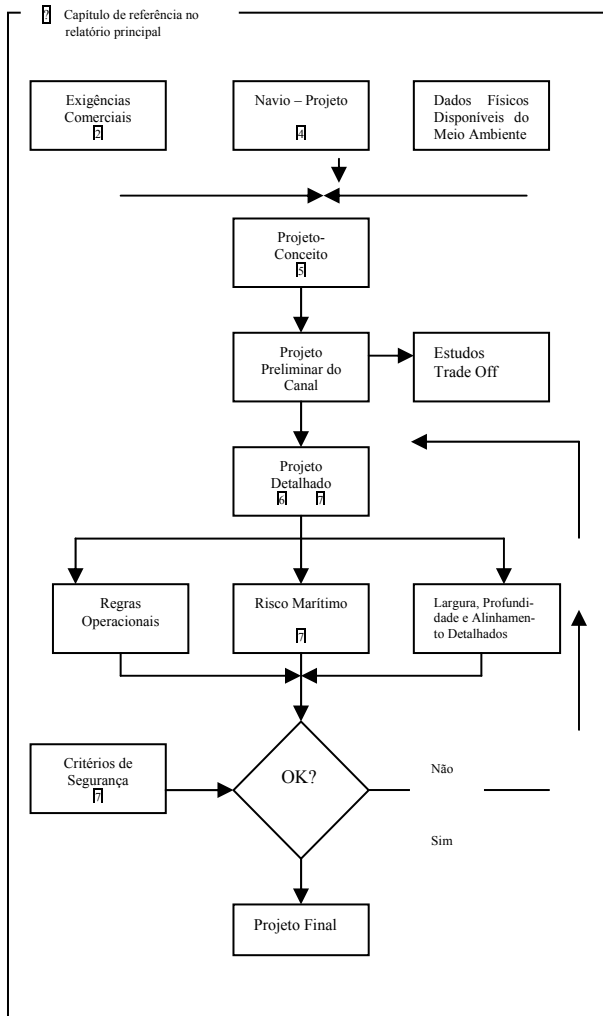


Figura 3.1: Método de projeto de canal de acesso

verificações adicionais, através de análises de tráfego marítimo, análise de riscos e estimativas de custos. Os resultados de tais verificações poderão conduzir a ajustes e a um ciclo adicional de projeto detalhado.

A lógica global da metodologia é mostrada na Figura 3.1, junto com uma indicação das principais seções do relatório em que os vários estágios estão descritos.

3.3 DADOS DO AMBIENTE FÍSICO

Os dados relativos ao ambiente físico referem-se aos dados sobre batimetrias existentes e características do fundo do mar, ventos, ondas, marés, correntes, visibilidade, condições do fundo do canal, etc. Na maioria dos portos, haverá disponibilidade suficiente de dados para possibilitar o Projeto Conceito; no entanto,

alguns levantamentos, investigações preliminares e cálculos aproximados deverão ser necessários.

Uma vez que a previsão de ventos, ondas, marés, correntes e visibilidade dependem de estatísticas de longo prazo, é importante que seja constatada o quanto antes a necessidade da coleta de dados adicionais. No entanto, diferentemente do que ocorre em outros aspectos da engenharia civil, no contexto de projetos de canais o interesse maior está na prevalência de condições naturais e não extremas.

3.5 ALINHAMENTO, LARGURA E PROFUNDIDADE

Muito deste relatório diz respeito à geometria dos canais de acesso, que subentende sua largura, profundidade e alinhamento. Embora, por conveniência, estes três aspectos sejam tratados separadamente, será visto que eles são até um certo ponto interdependentes, sendo elementos de ligação a velocidade do navio e o custo global do canal.

A velocidade do navio é parte importante do processo de projeto; por exemplo, ela não deve ser muito baixa (que venha a afetar a manobrabilidade e possa fazer com que o tempo de passagem pelo canal seja tão longo que exceda o período disponível de maré) e nem tão alta que venha a comprometer a segurança.

3.6 AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO

Conforme mencionado no Capítulo 2, as considerações sobre segurança da navegação desempenham um papel importante no processo de projeto. Embora largura, profundidade e alinhamento do canal sejam escolhidos para otimizar a segurança, não deve ser esquecido que o navegador somente terá indicação da largura e alinhamento pelas maneiras como estes são apresentados a ele. Isso será feito de duas maneiras:

- Em uma carta da área, seja impressa ou ECDIS⁹
- Pela sinalização de navegação.

O navegador poderá estar apto a proceder ao longo do canal somente pela carta se seus instrumentos de bordo lhe fornecerem informações sobre posição, profundidade e rumo com o necessário nível de precisão, mas seria muito improvável encontrar um canal que não seja demarcado de alguma maneira por auxílios à navegação que sejam visíveis a olho nu ou no radar. Tal sinalização define a largura e alinhamento do canal, e o tipo e a posição corretos da sinalização são de crucial importância para sua operação segura. A sinalização portanto é parte do processo de projeto e será considerada nas diretrizes abaixo.

3.7 LIMITES OPERACIONAIS

Conduzir um navio sob todas as condições de maré e tempo não é sempre possível nas águas confinadas e

⁹ Electronic Chart Display System – Sistema de Exibição de Cartas Eletrônicas

baixas velocidades associadas às operações portuárias. Se a lâmina d'água abaixo da quilha é muito pequena, as ondas muito altas, a corrente muito forte ou a velocidade do vento muito grande, o navio poderá estar em perigo. O prático poderá não ter condições de controlar o navio com segurança, a operação dos rebocadores poderá ser comprometida ou a atracação poderá não ser possível.

Existem certos limites além dos quais as operações se tornam inseguras e é importante que o projetista esteja apto a estimar esses limites no estágio de projeto. Ainda, o projetista pode necessitar deixar margem para quaisquer limites operacionais que existam. Se os limites operacionais forem particularmente restritos, poderão ter um impacto comercial significativo nas operações portuárias, e poder-se-á vir a decidir modificar o projeto para permitir maior liberdade. Se por exemplo um serviço de *ferries* ficasse restrito a atracar somente nas preamares devido à profundidade insuficiente do canal, seria impossível seguir qualquer tipo de horário e a profundidade do canal teria que ser aumentada. Limites operacionais nas atividades no atracadouro também necessitam ser considerados: por um lado, não há vantagem em possibilitar o acesso se o navio não puder carregar, descarregar ou ficar atracado ao cais; por outro lado, o projeto do atracadouro deve ter como base possibilitar ao navio condições de partir quando da aproximação de tempestades..

Limites de velocidade dos navios, tanto mínimos quanto máximos, são também considerados como limites operacionais. Em alguns casos, limites de maré e de velocidade podem interagir, por exemplo, quando um navio desce um longo canal na maré vazante.

3.8 TRÁFEGO MARÍTIMO E ANÁLISE DE RISCOS

Uma vez que o objetivo do projeto do canal de acesso é segurança e navegabilidade para o tráfego dos navios que utilizarão o porto, um estágio final, particularmente em um porto movimentado, será efetuar uma análise de tráfego marítimo e uma análise de riscos. O risco marítimo compreende o risco à vida, os danos ao meio ambiente marinho, e ocasionalmente as perdas comerciais que um porto possa vir a sofrer no caso de acidente.

O risco global é determinado a partir da frequência com que um tipo em particular de acidente pode ocorrer combinada com a medição de suas consequências. A consequência pode ser medida como sendo o número de vítimas (se estiver sendo considerado risco de vida), danos ao meio ambiente ou perda de receita em potencial.

No centro de tais estimativas está o conhecimento da frequência com a qual um tipo particular de acidente poderá ocorrer. Embora acidentes marítimos possam ser classificados sob vários títulos, existem alguns (notavelmente abaloamentos) que se prestam a análises por meio de modelos de computador. Dentre eles, um dos mais úteis é o modelo de simulação de

tráfego marítimo, que pode representar correntes de tráfego presentes e futuras e suas interações.

Isso permite que sejam estimadas as probabilidades de encontros entre navios, o que por sua vez ajuda a estimar a frequência provável de abaloamentos. Uma vez que isto seja conhecido, o risco marítimo pode, em princípio, ser calculado. Na prática, tais computações são freqüentemente empregadas para avaliações de riscos comparativas ao invés de absolutas. Desse modo, pode-se determinar os benefícios (ou desvantagens) do projeto do canal em termos de risco, e quaisquer mudanças necessárias ao projeto podem ser feitas.

4. O NAVIO-PROJETO

4.1 O CONCEITO DE 'NAVIO-PROJETO'

A largura de um canal é convenientemente expressa como um múltiplo da boca de um navio, com raios de curva expressos em múltiplos de seu comprimento. Além disso, a profundidade do canal é relacionada ao calado do navio. Se o canal tiver que ser projetado para um navio somente, então a escolha de comprimento, boca e calado torna-se simples. Raramente este será o caso, e assim o conceito de Navio-Projeto deverá ser empregado.

O Navio-Projeto é portanto aquele para o qual o canal é projetado. Deve ser escolhido de modo a assegurar que o projeto do canal permita a ele, e a todos os navios utilizando o canal, navegarem com segurança. Ele terá que satisfazer a certos critérios e pode ser apropriado considerar mais de um navio projeto na fase inicial do processo de projeto para determinar largura e profundidade do canal.

4.2 ESCOLHA DO NAVIO-PROJETO

4.2.1 Filosofia Básica

A escolha do navio projeto é pautada por um número de considerações:

- Deve ser do tipo correto.
- Sua escolha deve assegurar que todos os outros navios que venham a utilizar o canal possam fazê-lo com segurança.

Ele não deve ser o maior navio a utilizar o canal, uma vez que os navios grandes são sempre alvos das maiores atenções e sujeitos a regras especiais de operação quando chegando ou saindo do porto e, desse modo, não deverão posar como a maior ameaça à segurança. A escolha do navio projeto deve, portanto, ter como base um ou mais dos seguintes critérios:

- Deve ter pouca manobrabilidade inerente.
- Deve ser muito grande no contexto das operações portuárias.
- Deve ter sensibilidade excessiva ao vento.

- Deve transportar uma carga particularmente perigosa.

Finalmente, se o canal for atender a uma vasta gama de tipos de navios, é possível que venha a ser necessário mais de um navio-projeto. Nestes casos, um navio-projeto de grande calado deve ser utilizado para determinar a profundidade do canal enquanto um navio de pouco calado e com grande sensibilidade ao vento deve ser empregado para determinar sua largura.

4.2.2 Tipo de navio

O tipo de navio-projeto deve ser especificado já de início pelo cliente. Pode ser um graneleiro (para terminais petroleiros ou de minério), um navio porta-containers (para um terminal de containers) um navio de passageiros, um *ferry* ou qualquer um dentre uma gama de outros tipos. Uma classificação característica dos tipos é dada na Tabela 4.1.

Uma categorização mais ampla ocorre para canais utilizados por muitos tipos de navios e para os quais devam ser impostas Regras de Operação que possam variar de um tipo para outro. Em tais casos, devem ser levadas em consideração as informações prontamente disponíveis para as autoridades portuárias e, como a mais comumente conhecida é a Tonelagem de Arqueação Bruta, as categorizações são freqüentemente feitas com base nesse parâmetro de dimensão e tipo do navio. Como exemplo, a seguinte classificação vem sendo empregada em um porto no Extremo Oriente (Tabela 4.2).

As tonelagens de arqueação bruta e de porte bruto são pouco adequadas para definir o navio-projeto. Navios podem de modo geral ser classificados em aqueles cujas cargas têm alta densidade e são portanto pesadas (os transportadores de “peso”) e aqueles cujas cargas são de baixa densidade (os transportadores de “volume”), como navios de passageiros, navios de gás e navios porta-containers. As principais dimensões (comprimento, boca e calado), bem como as formas acima da linha d’água (e conseqüentemente a sensibilidade ao vento) serão determinadas por ser o navio um transportador de “peso” ou “volume”. O primeiro será caracterizado por um grande calado e baixa sensibilidade ao vento; o último por um pequeno calado e grande sensibilidade ao vento. A tonelagem de porte bruto é uma medida razoável para o primeiro; a tonelagem de arqueação bruta o será para o último.

Outras classificações (quanto ao número de rebocadores necessários, por exemplo) podem ser baseadas no comprimento e boca (para navios Panamax) ou boca e calado (para navios Suezmax).

Entre todas essas classificações de tipo e porte de navios, pode ser encontrada uma gama de combinações de comprimento, boca e calado, sendo que todas devem ser consideradas quando da escolha do navio-projeto.

4.2.3 Análise de Tráfego

Em algumas ocasiões, pode não ser óbvio qual navio deve ser escolhido como navio-projeto. Isso ocorre quando o canal deve servir a um tráfego variado, abrangendo tanto navios de grande calado como navios de grande sensibilidade ao vento. Conforme mencionado na seção 4.2.1, o primeiro deve ser utilizado para determinar a profundidade do canal, enquanto o último deve determinar a sua largura.

Poderá então ser necessária efetuar a análise do tráfego presente e futuro para determinar os tipos de navios que provavelmente farão parte desse tráfego e, dessa análise, um navio-projeto (ou navios-projetos) adequado deve ser escolhido. A análise do fluxo de tráfego existente deve ser efetuada empregando-se:

- radares de porto e outras anotações
- observações visuais.

Do primeiro, será possível obter registros do Port Vessel Traffic Service (VTS)¹⁰, que deverá fornecer dados de navios em termos de tonelagem de porte bruto, tonelagem de arqueação bruta e dimensões principais. Com o segundo, poderá ser necessário observar os navios passando através de um ‘portal’ e anotar seus nomes de maneira que suas dimensões, etc. possam ser encontradas posteriormente em publicações de referência

4.2.4 Dimensões do Navio-Projeto

Para o processo de projeto, é necessário que sejam conhecidas as dimensões principais do navio-projeto. Se somente a Tonelagem de Porte Bruto ou Tonelagem de Arqueação Bruta estiverem especificadas, então aquelas dimensões devem ser deduzidas.

Para tanto, é geralmente necessário providenciar o registro gráfico das tendências das dimensões dos diversos tipos de navios na frota mundial a partir de publicações de referência convencionais ou eletrônicas. As principais fontes de tais informações são:

- Loyds Register of Ships
- Clarkson’s Guides
- Jane’s Publications
- Fairplay Publications

A partir disso, podem ser produzidos gráficos como comprimento em relação a Porte Bruto, boca em relação a comprimento e calado em relação a boca.

Se por exemplo, somente o porte bruto for conhecido, o emprego desses gráficos em sucessão possibilita que se obtenha comprimento, boca e calado. A Figura 4.1 mostra um exemplo da variação do comprimento total em função do porte bruto para navios transportadores de grãos sólidos acima de 100.000 TPB obtida do Clarkson’s Bulk Carrier Guide. A Figura 4.2 mostra a variação do comprimento total em função da boca, obtida da mesma fonte.

¹⁰ Serviço de Tráfego de Navios do Porto

Como pode ser visto, existe alguma dispersão, e é necessário discernimento para conseguir uma combinação realística de comprimento, boca e calado. O apêndice B fornece informações adicionais.

NAVIOS TANQUES	Petróleo	petróleo/derivados petróleo/derivados derivados não classificável
	Químico	Classes IMO 1, 2 e 3 Classes IMO A, B e C não classificados
	GNP	Tanques integrados Tanques atmosféricos independentes Tanques pressurizados independentes
	GLP	Tanques integrados Tanques atmosféricos independentes Tanques pressurizados independentes
GRANELEIROS	Cape Size, Panamax	
MÍNERO-PETROLEIROS		
PORTA CONTAINERS	Primeira à sexta gerações.	Panamax e pós Panamax.
CARGA GERAL		
RO-RO		
TRANSP. VEÍCULOS		
FERRIES		
PASSAGEIROS		
REBOCADORES, EMBARCAÇÕES DE SERVIÇO, ETC.		
BARCAÇAS, EMPURRADORES, ETC.		

Tabela 4.1

Classe	Tonelagem Bruta
AA	>120.000
A	80.001 - 120.000
B	30.001 - 80.000
C	15.001 - 30.000
D	300 - 15.000

Tabela 4.2

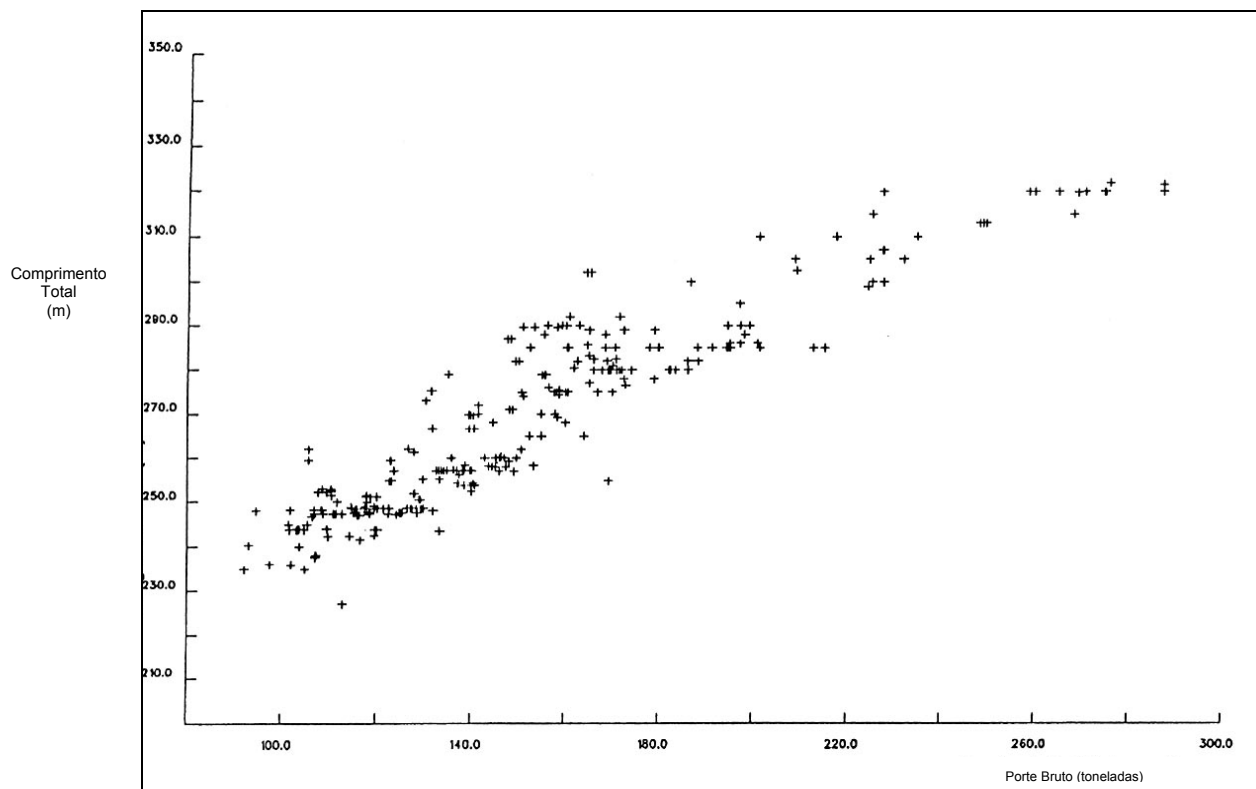


Figura 4.1 – Dados de Navios transportadores de Granel Sólido

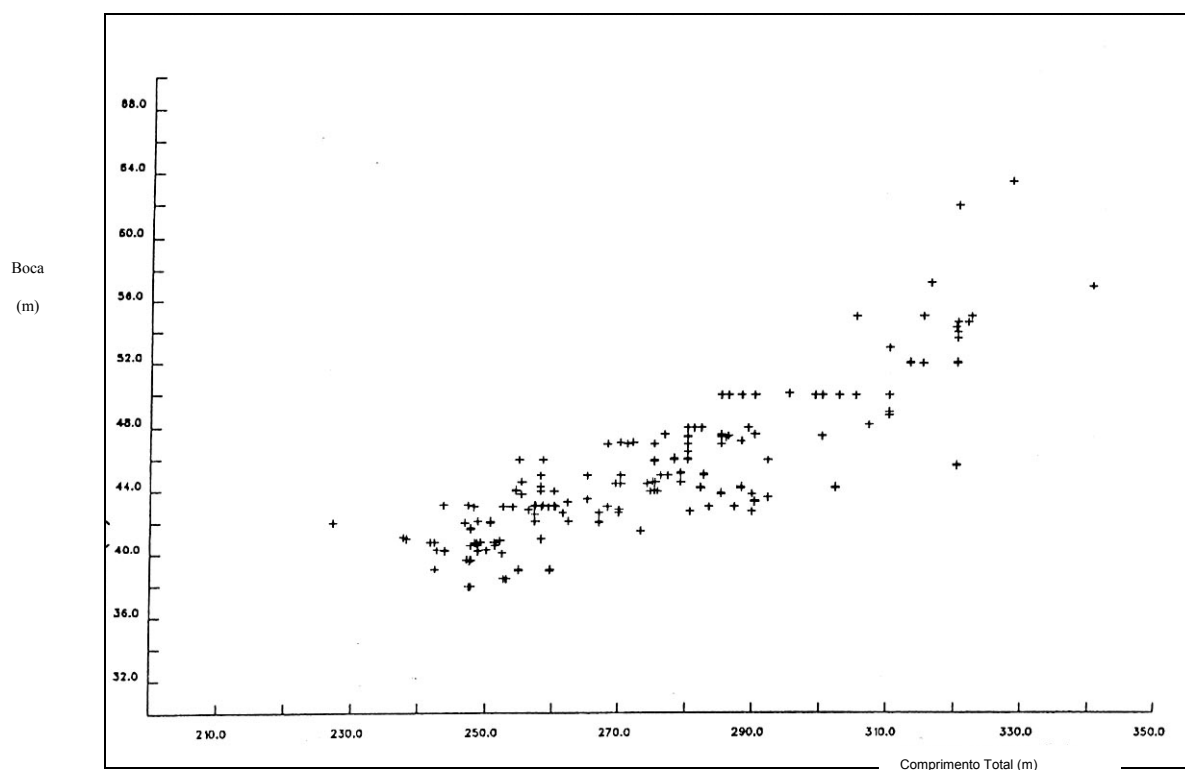


Figura 4.2 - Dados de Navios transportadores de Granel Sólido

5. PROJETO-CONCEITO

5.1 GERAL

Uma vez escolhidos o tipo e dimensões do navio-projeto, pode ser empreendido o projeto preliminar do canal. Neste, um ou mais conceitos de largura, profundidade e alinhamento podem ser desenvolvidos, para possibilitar decisões iniciais (geralmente baseadas em considerações econômicas) a serem tomadas com relação ao candidato (ou candidatos) que mais provavelmente será escolhido para considerações mais detalhadas.

Nesta seção, é apresentado um método para Projeto-Conceito.

5.2 PROJETO DO CANAL

O método de Projeto-Conceito aqui apresentado emprega informações coletadas ao redor do mundo, representativas de boas práticas modernas. Ele será satisfatório para o projeto preliminar da maioria dos canais, mas reconhece-se que existirão situações em que tal técnica será inadequada e os métodos mais elaborados do Projeto Detalhado terão que ser empregados, mesmo para projetos preliminares.

5.2.1 Alinhamento, Largura e Profundidade

Os parâmetros chaves de alinhamento, largura e profundidade estão todos interligados. Largura adicional pode compensar profundidade reduzida, e o alinhamento pode ser mudado para compensar largura ou profundidade reduzidas. No entanto, com algumas exceções (discutidas na Seção 5.2.3 abaixo), a interligação entre esses parâmetros não é forte, e, no estágio de Projeto-Conceito, alguns aspectos da largura e alinhamento podem, até um certo ponto, ser destacados dos aspectos de profundidade.

Partes deste relatório apreciarão, portanto, largura e alinhamento isoladamente de profundidade. A profundidade foi considerada em relatórios PIANC anteriores (Referências 5.1 e 5.2 – ver Capítulo 10) e é considerada em mais detalhes neste relatório nos Apêndices C e D com relação a canais em fundos de mares constituídos por materiais rígidos ou macios.

5.2.2 Alinhamento

O alinhamento do canal deve ser calculado tendo-se em mente:

- o menor comprimento do canal;
- condições/bacias, etc., em qualquer das extremidades do canal;
- a necessidade de evitar obstáculos ou áreas de assoreamento de difícil remoção ou que requeiram manutenção ou dragagem excessivas (e conseqüentemente dispendiosas).

- ventos, correntes e ondas predominantes;
- evitar curvas em proximidades de entradas de portos.
- a borda do canal deve ser de tal modo que navios que passem ao longo dela não causem perturbações ou avarias.

Trechos retos de canais são preferíveis a trechos curvos e o projetista deve se esforçar para obter um alinhamento que consista de uma série de trechos retos ligados por curvas suaves e de ângulos não acentuados. Trechos individuais podem ter larguras e profundidades diferentes e ser navegados a diferentes velocidades. Para maiores detalhes, ver Figura 5.1.

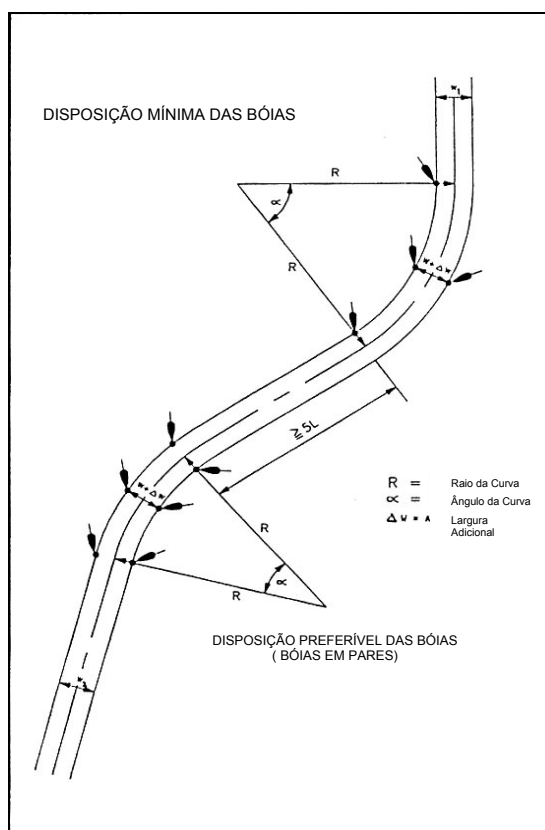


Figura 5.1 – Sinalização Sugerida para Curvas & Definições

É preferível que se tenha as correntes predominantes alinhadas com o canal para minimizar correntes pelo través. O mesmo se aplica a ventos e ondas, embora estes possam vir de qualquer direção. Em projetos, normalmente emprega-se a direção predominante de ventos e ondas, sendo que deve ser tomada uma decisão no tocante a serem ou não aceitáveis possíveis paralisações devidas a ventos fortes ou grandes ondas provenientes de outras direções.

Finalmente, é recomendável (e importante no caso de canais navegados por navios transportando cargas perigosas), que o canal seja alinhado de modo a evitar que o navio tenha a proa na direção do cais ou molhe durante a aproximação. Qualquer canal cuja direção seja perpendicular à face do berço de atracação deve ser alinhado a um lado do cais ou

molhe, de modo que o navio deva guinar (ou ser girado) para chegar ao berço. Isso minimiza o risco de navios demolirem o molhe ou cais no caso de perderem todo o controle na aproximação.

5.2.3 Considerações sobre Largura

No projeto da largura do canal, alguns ou todos os itens seguintes devem ser considerados:

5.2.3.1 Manobrabilidade Básica

A dinâmica dos navios é tal que, quando sob controle manual (como é normalmente o caso em canais de acesso) eles varrem uma faixa de trajetória que, na ausência de qualquer perturbação externa advinda de vento, ondas, corrente, etc., excede em largura sua boca (Figura 5.2). Isso se deve à velocidade de resposta tanto de quem maneja o navio, na interpretação das referências visuais que indicam posição, quanto do navio em reagir ao leme. É claro que a largura da faixa de trajetória varrida, que é a faixa básica de manobra, dependerá de um número de fatores, mas os elementos chaves são:

- a manobrabilidade inerente do navio (que variará com a relação profundidade/calado);
- a habilidade de quem manobra;
- as referências visuais disponíveis para quem manobra;
- a visibilidade total.

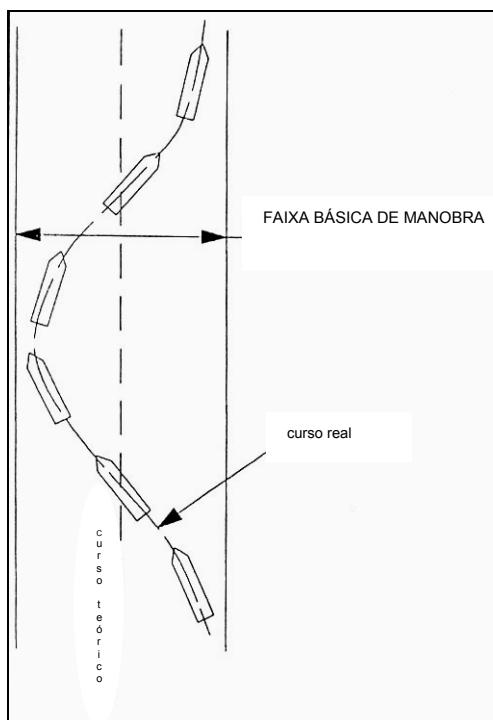


Figura 5.2 – Largura da faixa de manobra para: Habilidade & Resposta do Prático Manobrabilidade & Resposta do Navio

Daqueles, os dois primeiros são os mais importantes, uma vez que se pode lidar com os outros dois tanto

com auxílios à navegação adequados, que são externos ao navio (por exemplo, bóias), quanto com equipamentos de navegação, internos ao navio (por exemplo, radar).

5.2.3.2 Fatores Ambientais

Ventos Pelo Través

O vento pelo través afeta o navio em qualquer velocidade, mas tem seu maior efeito a baixas velocidades do navio. Ele faz o navio derivar para os lados ou formar um ângulo a sotavento, sendo que ambos aumentam a largura necessária para manobrar. Raramente o navio conseguirá manter um curso constante a baixas velocidades sob vento pelo través, com o prático tendo que manobrar orçando, o que resulta em um curso ligeiramente oscilante (Figura 5.3).

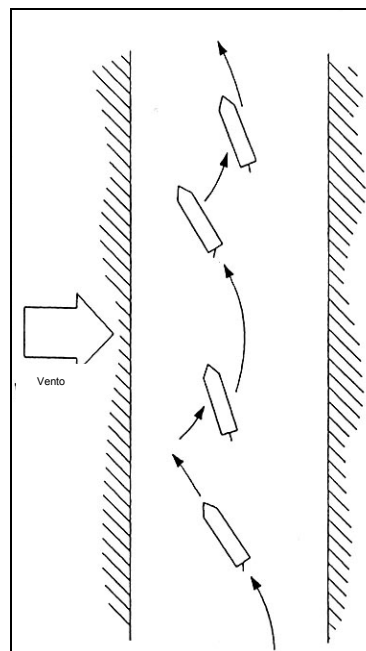


Figura 5-3 – Manobrando sob Vento Forte (Exagerado para Maior Clareza)

Os efeitos do vento pelo través dependem:

- da sensibilidade do navio ao vento;
- da razão profundidade/calado (porque a resistência de um navio ao movimento lateral muda à medida que a razão profundidade/calado se aproxima da unidade. O vento provoca menos deriva com menores lâminas de água abaixo da quilha);
- da velocidade do vento e sua direção relativa.

Deve ser, portanto, deixada margem de largura para os efeitos de vento, maior do que a necessária para manobras básicas. Para computar essa margem, é necessário que se disponha de informações sobre velocidades e direções do vento para a área em questão. A coleta desses dados é abordada na

Seção 6.2 abaixo; nesta seção presume-se simplesmente que tal informação esteja disponível.

Correntes

Correntes pelo través afetam a capacidade de um navio manter seu curso; correntes longitudinais afetam sua capacidade de manobrar e parar. Como será demonstrado, a manobrabilidade de um navio muda à medida que sua relação profundidade/calado aproxima-se da unidade. Como resultado, sua capacidade de enfrentar as correntes também mudará à medida que a profundidade das águas diminui.

Em alguns portos, as correntes em certos estágios da maré podem ser muito fortes para permitir que certos tipos de navios naveguem com segurança. Isso pode fazer com que suas chegadas e partidas sejam restritas a certos períodos de tempo (ou ‘*current windows*’¹¹) no ciclo das marés. Isto implica em períodos (*downtime*)¹² nos quais o canal não estará disponível para tais navios. A decisão a respeito de níveis aceitáveis de *downtime* será baseada principalmente em considerações econômicas.

A coleta de dados sobre correntes será abordada na Seção 6.2.

Ondas

As ondas terão um efeito na profundidade do canal, porém se elas se moverem perpendicularmente a ele, terão também um efeito sobre as manobras e, portanto, sobre a largura do canal. Ondas podem causar efeitos transientes nas guinadas (“empurrando” a proa do navio para fora de seu curso), que podem ser corrigidos por quem manobra o navio, e podem também provocar uma deriva moderada na direção da onda.

Tabelas de dispersão de ondas para a área (empregando informações locais obtidas conforme discutido na seção 6.2 ou informações de publicações como as mencionadas na Referência 5.3) devem ser obtidas e uma decisão deve ser tomada com base em experiência no tocante a qual altura e período (comprimento) de onda devem ser considerados para o projeto.

5.2.3.3 Auxílios à navegação

A importância dos auxílios à navegação reside nas indicações que eles fornecem a quem manobra um navio. Eles são normalmente visuais, embora possam ser empregados refletores radar. Meios eletrônicos estão sendo desenvolvidos, dentre os quais pode-se utilizar uma combinação de *DGPS* e cartas eletrônicas. Um canal bem demarcado necessitará de menos largura do que um deficientemente demarcado. Para o Projeto-Conceito, deve ser feita uma avaliação no tocante à adequação dos auxílios à navegação disponíveis, em conformidade com as

exigências compulsórias de transporte. Tipos e posições adequados de demarcação de canais podem ser determinados no estágio de Projeto Detalhado, através do emprego de simulação de manobra conforme discutido nas Seções 6.3 e 6.4. A Referência 5.5 fornece informações úteis.

5.2.3.4 Tipo de Carga

Se a carga que está sendo transportada pelo Navio-Projeto for de natureza perigosa, então torna-se necessária uma margem adicional de largura para reduzir os riscos de encalhe e para assegurar que tais navios mantenham boa distância de outros usuários da hidrovía.

5.2.3.5 Distância de Passagem

Se for proposto um canal de tráfego nos dois sentidos, então devem ser feitos arranjos que permitam que os navios passem com segurança. A distância deve assegurar que a interação navio a navio seja reduzida a um mínimo aceitável e é usual deixar-se uma ‘faixa’ central entre as faixas de manobra, igual a um múltiplo da boca do maior navio que por ali trafegue (Figura 5.4).

A largura necessária para o cruzamento dependerá também da densidade de tráfego nas duas faixas – quanto maior a densidade, maior a largura necessária.

5.2.3.6 Distância às Margens

A interação com as margens pode fazer um navio guinar incontrolavelmente (Figura 5.5). Para evitar esse efeito em um canal com margens submersas, é necessário providenciar largura adicional fora das faixas de manobra (Figuras 5.6 e 5.11). Isto dependerá da velocidade do navio (quanto maior a velocidade, maior a interação com a margem), da altura e ângulo de inclinação da margem e da relação profundidade/calado. Em um estágio inicial do projeto provavelmente seja mais adequado considerar somente os dois primeiros fatores.

¹¹ Períodos em que as correntes permitem a navegação no canal

¹² Período pelo qual o canal não pode ser utilizado

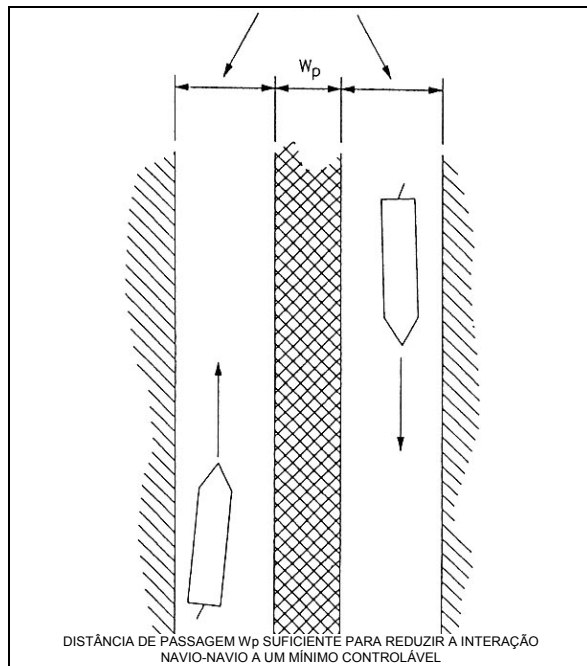


Figura 5.4 – Distância de passagem

5.2.4 Considerações sobre Profundidade

Evidentemente, os efeitos de profundidade/calado têm que ser levados em conta em certas considerações sobre a largura do canal. Alguns deles são aqui vistos, conforme segue:

Relação Velocidade/Calado

A resistência hidrodinâmica ao movimento de um navio em águas rasas é regida pelo Número Froude de Profundidade F_{nh} , que é de modo geral a razão não dimensional entre velocidade e profundidade. Ele é definido como:

$$F_{nh} = V / (\sqrt{gh}) \quad (1)$$

onde: V é a velocidade através da água em metros/segundo

h é a profundidade de águas tranquilas em metros

g é a aceleração da gravidade (cerca de $9,81 \text{ m/s}^2$).

Quando F_{nh} se aproxima ou se iguala à unidade, a resistência ao movimento atinge valores muito altos, que navios de maior deslocamento não têm potência suficiente para superar. De fato, é improvável que tais navios sejam capazes de superar valores de F_{nh} de 0,6 ou 0,7 (sendo o primeiro valor para navios tanques, o último para navios porta containers), os quais constituem verdadeiras barreiras à velocidade.

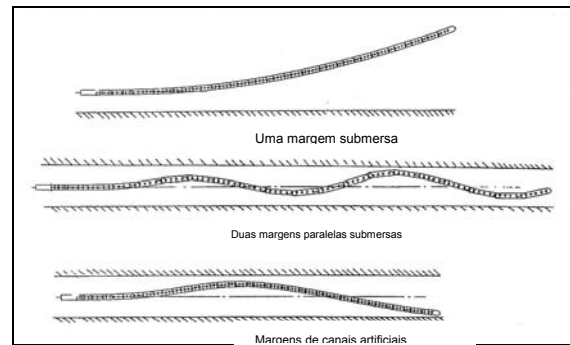
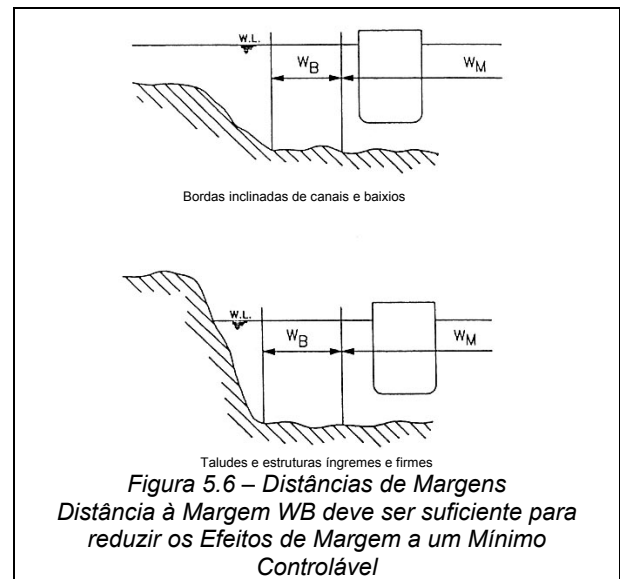


Figura 5.5 – Guinadas Devido aos Efeitos de Margens



Assim, antes de decidir sobre a velocidade em função da qual serão efetuados os cálculos de largura de canal, é aconselhável que se verifique se ela é compatível com a profundidade sob consideração. (Alternativamente, o Número de Froude limite pode ser utilizado com uma velocidade escolhida para determinar um limite mínimo de profundidade.)

Squat, Ondas e Relação Profundidade/Calado

Squat é a tendência de um navio afundar e adquirir trim quando em movimento, dessa maneira reduzindo a lâmina d'água sob sua quilha. O *squat* depende muito da velocidade e é acentuado (podendo se tornar crítico) em águas rasas. Assim, é prudente verificar se o calado do canal é suficiente para permitir qualquer *squat* conseqüente da velocidade que o navio em trânsito necessite desenvolver para não perder a maré e manter sua manobrabilidade. O *squat* pode ser estimado de muitas maneiras e será discutido em detalhes na Seção 6.5.2 abaixo. Para uma rápida estimativa inicial, pode-se empregar a expressão ICORELS (Referência 5.4) para águas abertas:

$$\text{Squat (m)} = 2.4 \frac{V}{L_{pp}} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{(1-F_{nh}^2)}} \quad (2)$$

onde ∇ = volume de deslocamento (m^3)=
 $C_B \cdot L_{pp} \cdot B \cdot T$
 L_{pp} = comprimento entre perpendiculares
do navio (m))
 B = boca do navio (m)
 T = calado do navio (m)
 C_B = coeficiente de bloco
 F_{nh} = Número de Froude de Profundidade
(Ver também Seção 6.5.2.3)

O método gráfico da Figura 5.7 pode também ser usado com o fim de fornecer valores de *squat* adequados para o Projeto-Conceito.

Uma maneira simples de levar em consideração *squat*, calado e incertezas de sondagem (e também proporcionar uma margem de segurança) é estabelecer um valor mínimo para a proporção profundidade/calado. Em muitos portos do mundo, o valor de 1,10 tornou-se aceito embora possa ser encontrado o valor de 1,15. Tais valores são para águas tranquilas somente, e valores maiores serão necessários se o canal estiver sujeito à ação de

ondas, quando então valores de 1,3 ou mais devem ser usados. Quanto mais próxima da unidade estiver essa proporção, mais direcionalmente estável ficará o navio e, conseqüentemente, mais lentas suas respostas. É usual contornar esse efeito aumentando a largura do canal – outra situação em que largura e profundidade estão ligadas.

Altura da Maré

Se a hidrovia estiver sujeita à ação da maré, pode ser necessário tomar uma decisão quanto a se o canal deve ser utilizável em todo o ciclo de marés. Se não, deve ser escolhido um período adequado de maré em que o canal poderá ser utilizado, tendo-se em mente as conseqüências comerciais de qualquer paralisação. Tal período deve ser compatível com calado, velocidade e *squat*. Diminuir esse período pode exigir um aumento na velocidade do trânsito, o que resultaria em problemas de *squat*, resistência e mais um acréscimo à largura.

Devem ser colhidas informações de maré para a área em questão, prestando-se especial atenção ao modo como as marés altas se movem ao longo de uma hidrovia longa. É comum estabelecer períodos utilizáveis de maré de modo que os navios transitem em um canal de acesso em maré enchente. Isto nem sempre pode ser possível, e se um navio deve navegar em um canal em maré vazante, pode vir a ser necessário um perfil detalhado da profundidade.

Fundo Náutico

Se o fundo sólido da hidrovia for coberto com uma camada não consolidada de lodo ou lama em estado líquido, não existe uma definição clara da profundidade do canal. Neste caso, o conceito de fundo náutico é apropriado (ver Seção 6.5.4).

5.2.5 Curvas

Por enquanto, presume-se que o navio trafegue sem o auxílio de rebocadores e, portanto, qualquer curva conectando trechos retos de um canal deve levar em conta sua capacidade de guinar. Um navio com manobrabilidade de média a boa deve, em águas tranquilas profundas e sem vento, completar uma guinada com leme carregado todo a um bordo com um raio inicial de cerca de 2,0 a 3,0 vezes o comprimento desse navio, aumentando para talvez 5 comprimentos do navio ou mais a uma relação profundidade/calado de 1,10 (Referência 5.6 e Figura 5.8).

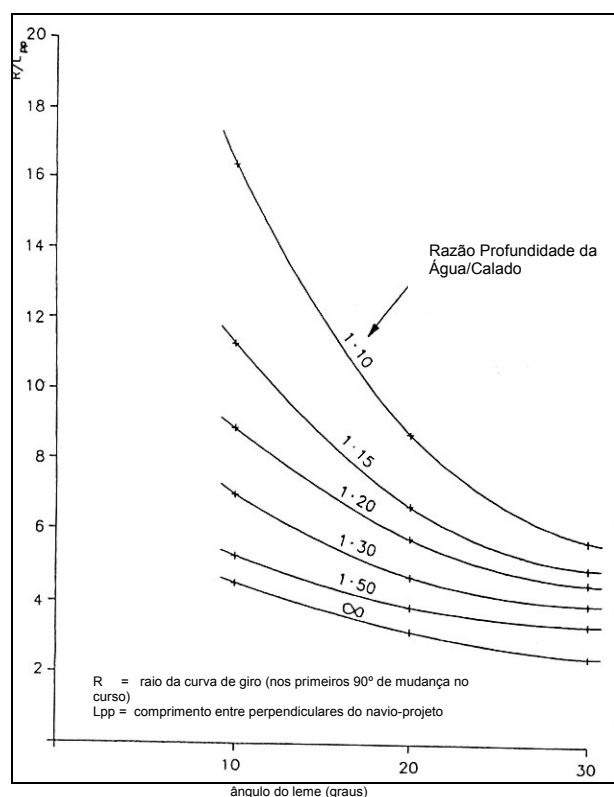


Figura 5.8 – Raio da Curva de Giro em Função do Ângulo de Leme e Profundidade da Água (Com Base em Navio Porta-Containers com Um Hélice/Um Leme)

À medida que guina, o navio ‘escorrega lateralmente’ e conseqüentemente varre uma faixa de trajetória com largura maior que sua boca. Este excesso pode variar, em percentuais sobre a boca do navio, de 30%-40% a uma relação profundidade/calado de 1,10, até 100%-160% em águas profundas (Referência 5.6), dependendo da profundidade das águas.

Portanto, o modo como um navio guina depende muito da relação profundidade/calado. Isto afeta tanto o raio de guinada quanto a largura da faixa de trajetória varrida, demonstrando que, em relações mínimas profundidade/calado, o raio estará em seu máximo e a largura adicional necessária será mínima (ver Figuras 5.8 e 5.9). Ao determinar raio e largura de curvaturas, é desaconselhável projetá-las de modo que requeiram que se carregue o leme todo a um bordo. Isto não deixaria “reserva” de ângulo de leme para fazer face a ventos, ondas ou correntes e afetaria portanto a segurança.

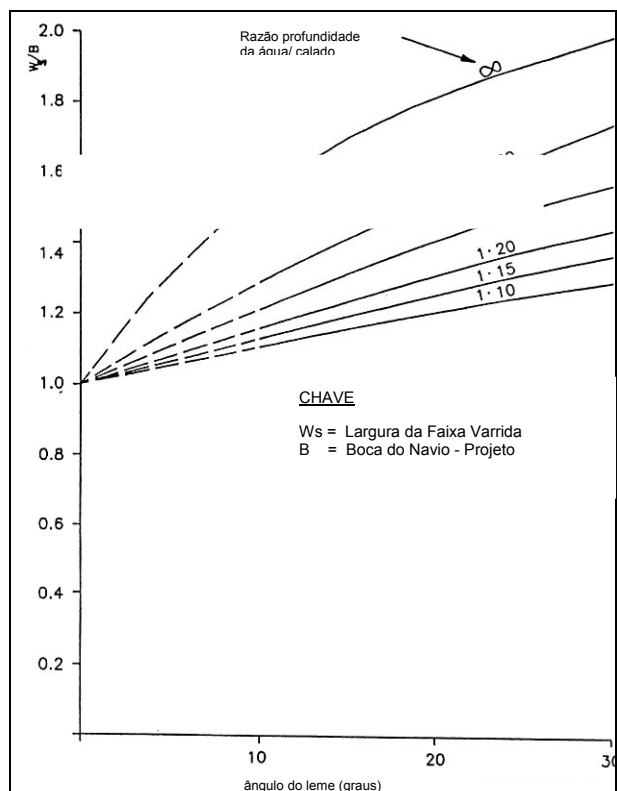


Figura 5.9 – Largura da Faixa de Trajetória Varrida em uma Curva em Função do Ângulo de Leme e Profundidade da Água (Com Base em Navio Porta Container de Um Hélice/Um Leme)

Assim, para o Projeto-Conceito, sugere-se que sejam empregados como parâmetros raios de curvas e larguras de faixas de trajetórias varridas em que o navio-projeto empregue um ângulo constante de leme, que seja menor do que seu ângulo máximo de manobra. Comandantes de navios normalmente ficam felizes em empregar de 15% a 20% do ângulo máximo de leme em uma guinada; valores maiores deixam margem de segurança muito pequena e valores menores (que implicam em raios maiores)

tornam a guinada difícil devido ao comprimento da trajetória e aos problemas de manejo de manter um navio precisamente em sua rota em uma curva suave.

Para se manter a posição em qualquer curva é necessário que ela seja bem demarcada. Em um canal de tráfego em sentido único, a sinalização no lado de dentro da curva constitui melhor referência visual e recomenda-se um mínimo de três – localizadas no ápice, na entrada e na saída – com, se possível, uma outra demarcando o ápice pelo lado externo (ver Figura 5.1). Se mais sinalização estiver disponível, recomenda-se a colocação de pares de bóias no ápice, na entrada e na saída. Sem demarcação adequada, o responsável pela manobra do navio pode ficar desorientado em uma curva (especialmente uma curva longa) e então será necessária largura extra para compensar essas situações.

Curvas sujeitas a correntes, ventos e ondas pelo través necessitam de largura adicional.

5.3 MÉTODO DE PROJETO-CONCEITO DE CANAL

5.3.1 Introdução

Nesta seção, será apresentado um método de Projeto-Conceito para canais de acesso. Ele se destina ao uso no projeto inicial e em estudos de *trade off*¹³ e constitui boa prática moderna. Canais projetados com este método devem apresentar níveis adequados de segurança da navegação.

Embora possam ser aplicados a canais ao redor do mundo, condições locais podem requerer dimensões ou alinhamentos que difiram, em parte, daqueles derivados das informações fornecidas abaixo. O Projeto Detalhado, que sucederá o Projeto-Conceito, dedicar-se-á aos aspectos particulares de uma dada localidade, e será discutido no Capítulo 6.

O método de Projeto-Conceito lida com largura e profundidade em seções retas e fornece diretrizes para curvas. É acompanhado por algumas notas e definições e a ele seguem-se alguns exemplos calculados para ilustrar seu emprego.

5.3.2 Profundidade

A profundidade é estimada a partir de:

- calado em repouso do navio projeto;
- altura da maré em todo o trânsito pelo canal;
- *squat* (da Figura 5.7, equação (2) ou, para discussão detalhada, Seções 6.5.2 e 6.5.4);
- movimento induzido por ondas;

- uma margem dependendo do tipo de fundo;
- densidade da água e seus efeitos no calado.

Todos os valores acima de calado, *squat*, ação das ondas e margens são cumulativos.

Na ausência de maiores informações, devem ser considerados valores mínimos de relação profundidade/calado de 1,10 em águas abrigadas, 1,3 em ondas de até um metro de altura e 1,5 em ondulações mais altas com períodos e direções desfavoráveis.

O Número Froude de Profundidade F_{nh} deve ser menor do que 0,7.

5.3.3 Largura: Seções Retas

A largura do fundo w da hidrovia (Figura 5.11) é dada para um canal de tráfego em sentido único por:

$$W = W_{BM} + \sum_{i=1}^n w_i + W_{Br} + W_{Bg} \quad (3)$$

e para um canal de tráfego nos dois sentidos por:

$$W = 2W_{BM} + 2 \sum_{i=1}^n w_i + W_{Br} + W_{Bg} + \sum w_p \quad (4)$$

onde, conforme demonstrado na Figura 5.11, w_{Br} e w_{Bg} são as distâncias das margens nos lados “encarnado” e “verde” do canal, $\sum w_p$ é a distância de passagem (compreendendo a soma de uma distância de separação baseada na velocidade do navio e uma distância adicional baseada na densidade de tráfego) e w_i é dado na Tabela 5.2.

A largura básica de manobra w_{BM} , como múltiplo da boca B do navio-projeto, é dada na Tabela 5.1. Essa largura básica de manobra é a largura que o navio-projeto necessita para navegar com segurança em condições ambientais e operacionais muito favoráveis. (ver Figura 5.2).

Tabela 5.1
Faixa Básica de Manobra

Manobrabilidade do navio	Boa	moderada	fraca
Faixa Básica de Manobra, W_{BM}	1,3 B	1,5 B	1,8 B

À largura da faixa básica de manobra w_{BM} somam-se larguras adicionais (para compensar os efeitos de vento, corrente, etc.), resultando na faixa de manobra w_M . As larguras adicionais são dadas na Tabela 5.2.

¹³ Estudo no qual várias opções (frequentemente divergentes) são avaliadas e comparadas com o fim de atingir uma solução por composição

Tabela 5.2 – Larguras Adicionais para Seções Retas de Canais

LARGURA W_i	Velocidade Navio	Canal Externo exposto a mar aberto	Canal Interno águas abrigadas
a) Velocidade do navio (nós) - alta > 12 - moderada > 8-12 - baixa 5 – 8		0,1 B 0,0 0,0	0,1B 0,0 0,0
b) Vento pelo través (nós) - brando ≤ 15 ($\leq$ Beaufort 4) - moderado > 15-33 (> Beaufort 4 - Beaufort 7) - forte > 33 – 48 (> Beaufort 7 - Beaufort 9)	toda Alta Moderada baixa Alta Moderada Baixa	0,0 0,3 B 0,4 B 0,5 B 0,6 B 0,8 B 1,0 B	0,0 - 0,4 B 0,5 B - 0,8 B 1,0 B
c) Corrente pelo través (nós) - desprezível < 0,2 - fraca 0,2 - 0,5 - moderada > 0,5 - 1,5 - forte > 1,5 - 2,0	Toda Alta Moderada Baixa Alta Moderada Baixa Alta Moderada Baixa	0,0 0,1 B 0,2 B 0,3 B 0,5 B 0,7 B 1,0 B 0,7 B 1,0 B 1,3 B	0,0 - 0,1 B 0,2 B - 0,5 B 0,8 B - - -
d) Corrente longitudinal (nós) - fraca $\leq 1,5$ - moderada > 1,5 - 3 - forte > 3	toda alta moderada baixa alta moderada baixa	0,0 0,0 0,1 B 0,2 B 0,1 B 0,2 B 0,4 B	0,0 - 0,1 B 0,2 B - 0,2 B 0,4 B
e) Altura significativa de onda Hs e comprimento λ (m) - Hs ≤ 1 e $\lambda \leq l$ - $3 > Hs > 1$ e $\lambda = L$ - Hs > 3 e $\lambda > L$	toda alta moderada baixa alta moderada baixa	0,0 $\approx 2,0$ B $\approx 1,0$ B $\approx 0,5$ B $\approx 3,0$ B $\approx 2,2$ B $\approx 1,5$ B	0,0
f) Auxílios à Navegação - excelentes c/controle de tráfego com base em terra - bom - moderado, com baixa visibilidade ocasional - moderado com baixa visibilidade freqüente		0,0 0,1 B 0,2 B $\geq 0,5$ B	0,0 0,1 B 0,2 B $\geq 0,5$ B
g) Tipo de fundo - se profundidade $\geq 1,5$ T - se profundidade < 1,5 T, então - liso e mole - liso ou inclinado e duro - irregular e duro		0,0 0,1 B 0,1 B 0,2 B	0,00 0,1 B 0,1 B 0,2 B
h) Profundidade da hidrovía - $\geq 1,5$ T - $1,5$ T - $1,25$ T - < $1,25$ T		0 0,1 B 0,2 B	$\geq 1,5$ T 0,0 < $1,5$ T - $1,15$ T 0,2 B < $1,15$ T 0,4 B
i) Nível de periculosidade da carga - baixo - médio - alto		0 $\sim 0,5$ B $\sim 1,0$ B	0 $\sim 0,4$ B $\sim 0,8$ B

Tabela 5.3 – Largura Adicional para Distância de Passagem em Tráfego nos Dois Sentidos

Largura para distância de passagem W_p	Canal Externo exposto a mar aberto	Canal Interno Águas Protegidas
Velocidade do navio (nós)		
- alta > 12	2,0 B	-
- moderada > 8 - 12	1,6 B	1,4 B
- baixa 5 – 8	1,2 B	1,0 B
Densidade de cruzamentos		
- baixa	0,0	0,0
- moderada	0,2 B	0,2 B
- alta	0,5 B	0,4 B

Tabela 5.4 – Largura Adicional para Distância de Margens

Largura para Distância de margens (W_{Br} ou W_{Bg})	Velocidade do navio	Canal Externo Exposto a mar aberto	Canal Interno águas abrigadas
Margens de canal inclinadas e baixios:			
	Alta	0,7 B	-
	moderada	0,5 B	0,5 B
	Baixa	0,3 B	0,3 B
Penhascos e barragens, estruturas:			
	Alta	1,3	-
	moderada	1,0 B	1,0 B
	Baixa	0,5 B	0,5 B

Nota: Com referência ao navio projeto: B = Boca
L = Comprimento
T = Calado

5.3.5 Alinhamento

5.3.4 Largura e Raio de Curva

A largura e o raio da curva podem ser estimados a partir dos dados de giro do navio nas Figuras 5.8 e 5.9. Escolhido um ângulo de leme médio para a curva, raio e largura adequados serão dados para uma determinada razão profundidade/calado.

Se no estudo de tráfego ficar aparente que a passagem em curvas é inevitável, será necessário efetuar um estudo detalhado em separado para cada curva onde isso for ocorrer.

Na fase de Projeto Detalhado, devem ser deixadas margens para ventos e correntes pelo través em curvas. No entanto, como regra geral, a largura do canal navegável na curva não deve ser inferior à dos trechos retos.

A largura adicional é colocada preferivelmente na parte interna da curva.

O alinhamento deve seguir as diretrizes fornecidas na Seção 5.2.2. acima.

5.3.6 Definições e Notas Sobre as Tabelas

As seguintes definições se aplicam aos vários quadros das Tabelas 5.1 a 5.4. Quando necessário, são inseridas algumas notas para esclarecimento.

5.3.6.1 Tabela 5.1 – Manobrabilidade do Navio

A classificação racional da manobrabilidade de navios não é fácil e requer geralmente uma boa dose de discernimento. Em pleno oceano, um navio com boa manobrabilidade é aquele que tem estabilidade de curso em sua velocidade de projeto ou de serviço. No entanto, as mesmas qualidades que o fazem estável em seu curso não o ajudam em manobras rápidas ou a

navegar curvas fechadas, que caracterizam a 'boa manobrabilidade' nos acessos a um porto.

Como mencionado acima, a manobrabilidade de um navio também muda sensivelmente em águas rasas. Conforme a razão profundidade/calado diminui para cerca de 1,3 a 1,5, o navio pode se tornar um pouco menos direcionalmente estável e mais "nervoso". À medida que a razão profundidade/calado diminui mais ainda, o navio pode se tornar mais direcionalmente estável até que, com lâminas d'água muito pequenas sob a quilha (razões profundidade/calado de 1,05 a 1,10), suas guinadas tornam-se por demais lentas. Essa melhora na estabilidade direcional (ilustrada para guinada na Figura 5.8) é vantajosa em um canal estreito se o navio não for desviado de seu curso correto. Mas se o for, sua resposta lerda poderá causar problemas de manejo, e portanto poderá vir a ser necessário mais espaço para manobrar.

Desse modo, torna-se difícil uma classificação geral da manobrabilidade inerente de navios, pois isso depende muito do contexto. À guisa de orientação em termos gerais, o seguinte pode ser adotado:

1. Navios longos e esguios ($L/B > 6,5$) são mais direcionalmente estáveis do que navios curtos e largos ($L/B < 6$). Estes últimos serão capazes de manobrar em curvas fechadas mais facilmente.
2. Em águas rasas ($h/T \leq 1,5$), todos os navios guinarão mais lentamente.
3. A manobrabilidade em baixas velocidades deve ser muito diferente da manobrabilidade à velocidade de serviço para a qual o navio foi projetado.
4. Navios de um hélice/um leme manobram muito bem, mas sofrem a influência do hélice (um deslocamento devido ao movimento lateral da popa induzido pelo hélice, que para ser compensado necessita leme em sentido contrário).
5. Navios com um hélice de passo variável podem sofrer influência do hélice, mesmo quando o passo do hélice estiver ajustado para baixa propulsão ou propulsão zero.
6. Navios de dois hélices/dois lemes têm geralmente boa manobrabilidade e controle em todas as velocidades.
7. Navios de dois hélices/um leme podem ter boa manobrabilidade à velocidade de serviço, mas têm manobrabilidade fraca a baixas velocidades.
8. Navios equipados com *bow thrusters* ou propulsores de outros tipos podem ter manobrabilidade muito boa a baixa velocidade. Navios com propulsores azimutais geralmente têm excelente manobrabilidade em baixa velocidade.

5.3.6.2 Tabela 5.2 – Canal, Via Navegável, etc. 'Canal' e 'Via Navegável' são definidos na Figura 5.10. Em muitos canais exclusivos, os

auxílios à navegação encontram-se próximos à borda do canal para indicar os limites da navegação segura, porém naqueles com uma variedade de tráfego, a demarcação de águas navegáveis deve ser posicionada de modo a possibilitar a passagem de navios menores em qualquer dos lados do canal dragado. Ainda em outros casos, devem ser demarcadas tanto as águas profundas como as faixas externas para navios pequenos.

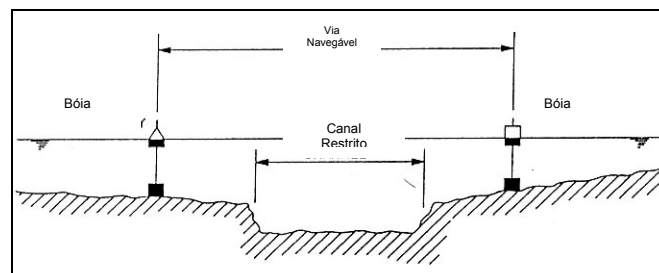


Figura 5.10 – Definições de Canal Restrito e Via Navegável

Os três elementos da largura do canal estão definidos na Figura 5.11.

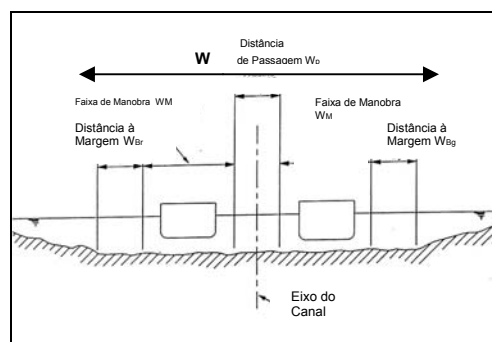


Figura 5.11 – Elementos da Largura de um Canal

Canal Interno e Canal Externo

Canal Externo é aquele exposto à ação de ondas, de tal intensidade que produzam movimentos significativos no navio. Tais movimentos são normalmente de arfagem, caturro e balanço e de tal magnitude que reduzam consideravelmente a lâmina d'água abaixo da quilha.

Canal Interno é aquele que não está sujeito à ação de ondas de qualquer intensidade e é geralmente abrigado.

Quadro b): Ventos Predominantes pelo Través

Devem ser coletados de registros de ventos apropriados à localização do canal e devem ser o valor médio do período de uma hora em que se verificarem os ventos mais fortes.

Conforme foi dito acima, o comportamento de um navio sob vento depende muito de sua sensibilidade a esse fator. Assim, se um canal é utilizado frequentemente por navios de costado alto, seria aconselhável, para efeito do Projeto-Conceito, classificá-los como sendo de 'pouca manobrabilidade' na Tabela 5.1.

Quadros (c) e (d): Correntes

São coletadas dos registros de correntes reais ou previstas para a área de localização do canal. Se a corrente varia ao longo de um canal extenso, pode ser necessário efetuar cálculos de largura em vários pontos-chaves ao longo de seu comprimento.

Embora correntes pelo través de até 2,0 nós sejam mostradas na Tabela, é preferível alinhar o canal, se for de alguma maneira possível, de modo a evitar tais correntes fortes pelo través. Em certas ocasiões, essas correntes poderão ser inevitáveis em uma seção curta do canal; em tais circunstâncias o navio deve passar através delas tão rapidamente quanto possível para evitar desvios de seu curso. No entanto, como uma regra simples, correntes pelo través superiores a 1,5 nós agindo através de trechos de canal de comprimento significativo devem, se possível, ser evitadas através de realinhamento.

Quadro (e): Ondas

Esta seção providencia indicações gerais somente e deve ser utilizada com um certo discernimento. Tabelas de dispersão fornecerão as alturas (H_s) e períodos (T_w) significativos de ondas mais prováveis para a área. A relação geral entre comprimento de onda λ e períodos de onda T_w em águas de profundidade h é:

$$\lambda = \frac{gT_w^2}{2\pi} \tanh(2\pi h / \lambda) \quad (5)$$

Em águas rasas, quando $h \rightarrow 0$, a equação (5) se torna

$$\lambda = T_w \sqrt{gh} \quad (6)$$

enquanto em águas profundas, quando $h \rightarrow \infty$, a equação (5) assume a forma

$$\lambda = gT_w^2 / (2\pi) \quad (7)$$

Comprimento e altura de onda não estão relacionados de maneira simples (daí o emprego de tabelas de dispersão) e assim algum discernimento deve ser empregado a respeito das combinações altura/comprimento utilizadas nesta seção.

Também deve ser tomado cuidado especial para verificar se as ondas vêm em direção contrária, pelo través ou na mesma direção. As primeiras e as últimas afetam o período de encontro (e conseqüentemente caturro e

arfagem), enquanto o mar pelo través provoca balanço e arfagem. Todos reduzem a lâmina d'água abaixo da quilha.

Quadro (g): Conformação do Fundo

Materiais de composição de fundo do mar lisos e macios incluem lodo e lama, para os quais o conceito de fundo náutico é apropriado (ver Seção 6.5.4). Lodo e lama podem impedir tanto a manobrabilidade quanto a propulsão de um navio.

O efeito da conformação do fundo é de importância somente em hidrovias rasas. Se a profundidade das águas for maior do que 1,5 vezes o calado do navio projeto, não há necessidade de largura adicional.

Quadro (h): Profundidade da Hidrovia

Deve ser verificada com relação à velocidade (Número Froude de Profundidade limite) e à relação mínima profundidade/calado (ver Seção 5.2.4 acima). A largura adicional quando operando com pequenas lâminas d'água abaixo da quilha (quando a estabilidade direcional é aumentada) leva em conta as respostas lerdas que tal situação implica caso o navio venha a ser desviado de seu curso por qualquer motivo.

Quadro (i): Periculosidade da Carga

A periculosidade da carga é definida em termos de sua:

- toxicidade
- potencial de explosão
- potencial de poluição
- potencial de combustão
- potencial de corrosão.

As classificações de periculosidade para cargas são fornecidas na referência 5.7. A Tabela 5.5 fornece um breve sumário indicando as de baixo, médio e alto risco.

Tabela 5.5

Categoria	Carga
Baixo	Granel sólido, carga geral, containers passageiros, fretes em geral, Carretas
Médio	Petróleo a granel
Alto	Combustível de aviação, GLP, GLN, produtos químicos de todas as classes

Note-se que no quadro (i) são fornecidos valores aproximados. Isto se deve ao fato de que a periculosidade da carga e seus efeitos sobre uma área variam de um local para outro. Geralmente, um julgamento racional do risco global deve ser feito uma vez que todas as questões tenham sido consideradas (Referência

5.8). Por outro lado, devem ser levados em consideração os progressos recentes na legislação para incrementar a segurança do tráfego marítimo em vias navegáveis.

5.3.6.3 Tabela 5.3 – Distância de Passagem

Nesta seção, deve ser empregada a boca do maior navio que cruzará e ultrapassará outros navios no canal, independentemente se este é ou não o navio-projeto. Os valores fornecidos presumem que as passagens ocorram somente devido ao tráfego nos dois sentidos, que resulta em cruzamentos. Quando ultrapassando a uma baixa velocidade relativa, existem maiores possibilidades de a interação afetar qualquer um dos navios e desse modo a distância de passagem deve ser aumentada em 50%.

A densidade de encontros no tráfego é definida na Tabela 5.6, onde os navios considerados excluem embarcações pequenas como barcos de esporte, recreio e de pesca.

Tabela 5.6

Categoria	Densidade de Tráfego (navios/hora)
Baixa	0-1,0
Média	>1,0 - 3,0
Alta	>3,0

5.3.6.4 Tabela 5.4 – Distância à Margem

A distância à margem é definida na Figura 5.6 para os dois tipos principais de margem constantes na Tabela 5.4. É definida de modo que um navio, quando próximo ao limite de sua faixa de manobra, experimente efeitos de margem em um mínimo controlável.

5.3.6.5 Áreas de Atracação e Giro

Áreas de atracação e giro são normalmente dimensionadas de acordo com as manobras a serem efetuadas. Se estas (como freqüentemente ocorre) envolverem o giro do navio a 180°, então a área de giro é dimensionada como um círculo que tem por diâmetro entre 1,8 e 2,0 vezes o comprimento do navio.

Avaliações mais precisas da área de giro e manobra podem ser feitas no estágio de Planejamento Detalhado, quando a simulação de manobra é empregada conforme descrito na Seção 6.6 abaixo.

5.4 EXEMPLOS CALCULADOS

Nesta seção, são fornecidos exemplos calculados para ilustrar o emprego dos dados das Tabelas. Embora não haja conexão com qualquer canal existente, eles são representativos do enfoque que deve dado ao

Projeto-Conceito e devem também ilustrar um número de pontos.

Embora o cálculo seja mostrado em sua totalidade, o método se presta ao emprego em computador. Um programa FORTRAN foi elaborado para esse propósito e utilizado para checar os exemplos dados abaixo.

Exemplo I: Canal Reto de Tráfego em Sentido Único

Um canal externo de acesso reto, de tráfego em sentido único, com 10 milhas de comprimento, deve ser projetado para navios graneleiros transportadores de minério, de um hélice, carregados, com dimensões máximas conforme segue:

Comprimento total	315 metros
Comprimento entre perpendiculares	300 metros
Boca	50 metros
Calado a plena carga	20 metros

O vento predominante alcança a velocidade máxima de 25 nós de través com o canal. As ondas são pequenas com altura significativa de menos de um metro e prevalecem em toda a extensão do canal.

O canal será demarcado por pares de bóias a espaços de uma milha e a visibilidade é geralmente boa. O canal é exclusivo para navios transportadores de minério, e os auxílios à navegação são modestos.

O canal deve ser dragado através de um plano liso, de material macio em cuja extensão a profundidade é de 12 metros abaixo do nível de referência da carta. O ciclo de maré é semi-diurno com característica senoidal, com uma preamar de 5 metros e baixa mar de 0,5 metro acima do nível de referência (ver Figura 5.12). As correntes são somente de marés, direcionadas a 45° do eixo do canal e suas velocidades constam na Figura 5.12.

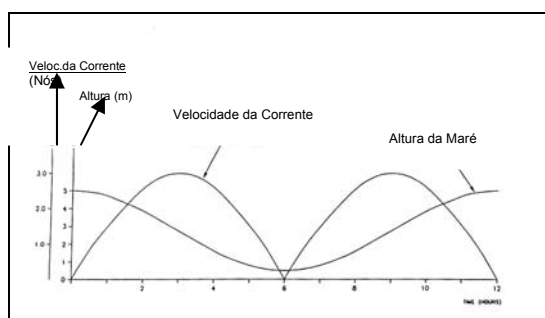


Figura 5.12 – Informação presumida de maré

Como este é um canal reto, de tráfego em sentido único, não existe a necessidade de considerar distâncias de passagem ou curvas. O navio-projeto é conhecido, de modo que não existe problema de múltipla escolha a este respeito.

Manobrabilidade do Navio

Navios graneleiros de um hélice, transportadores de minério e carregados manobram razoavelmente bem em baixas velocidades comparados com, digamos, navios porta containers de dois hélices/um leme. No entanto, existem variações e seria prudente atribuir inicialmente manobrabilidade ‘moderada’ a tais navios. Assim teremos, da Tabela 5.1:

Faixa Básica de Manobra = 1,5 B

Velocidade do Navio

Velocidade, profundidade e maré estão interligadas e, como a profundidade não foi determinada neste estágio, escolhemos uma velocidade inicial, tendo em mente que esta poderá mais tarde ter que ser mudada.

Foi escolhida uma velocidade de 10 nós, o que significa que o navio levará uma hora para transitar pelo canal. Pelas informações de maré, isso significa que se o navio inicia o trânsito no canal com maré alta, o nível da água terá diminuído cerca de 0,3 metro quando ele chegar ao final (ver Figura 5.12). Por agora, presume-se que tal seja aceitável.

Adição para Velocidade (Tabela 5.2, quadro (a)) 0,0 B

Profundidade do Canal

Como o calado do navio excede a profundidade máxima disponível da água ($12,0 + 5,0 = 17$ metros) em maré alta, torna-se necessário um canal dragado. Para uma relação mínima profundidade/calado de 1,10, é necessária uma profundidade em maré alta de $1,10 \times 20 = 22$ metros, o que dá uma profundidade dragada do canal de $22 - 17 = 5$ metros abaixo do fundo plano do mar.

Verificação da velocidade:

$$F_{nh} = 10 \times 0,515 / \sqrt{(gx22)} = 0,35 \text{ - aceitável}$$

Verificação de *squat*:

da Figura 5.6, *squat* na proa = 0,72 metro

Uma redução na lâmina d'água abaixo da quilha devido a um *squat* de 0,72 metro resulta em $2,0 - 0,72 = 1,28$ metros em maré alta e $2,0 - 0,3 - 0,72 = 0,98$ metro a uma hora antes ou após a maré alta. Este último valor é ligeiramente pequeno para a segurança e parece prudente aumentar a profundidade do canal dragado para que se obtenha uma relação profundidade/calado de 1,15. Isto resulta:

- Profundidade das águas: 23 metros na preamar
- Profundidade do canal dragado: 6 metros abaixo do fundo plano
- Número Froude de Profundidade: 0,34

- *Squat* na proa: 0,7 metro
- Lâmina d'água abaixo da quilha:
 - preamar: 2,3 metros
 - preamar + 1 hora : 2,0 metros

Todos esses valores são tidos como aceitáveis.

Deve-se notar que o canal teria profundidade insuficiente para o navio-projeto por volta de 3 horas antes até 3 horas após a preamar, quando a velocidade da corrente estaria em seu valor máximo. A operação segura seria geralmente restrita ao período compreendido entre 1 hora antes e 1 hora após a preamar, no qual as correntes estariam fracas e a profundidade adequada.

Isto teria implicações quanto ao número de navios deste tipo que poderiam ser aceitos em uma dada maré. Esse número teria que ser comparado com o fluxo de tráfego necessário e os ajustes à profundidade do canal seriam então efetuados conforme necessário. Por exemplo, para se operar em todo o ciclo de marés seria necessário aumentar a profundidade dragada para 10,5 metros abaixo do fundo plano do mar. Ainda, devido a se ter que enfrentar a plenitude da corrente de meia-maré, seria necessário aumentar a largura do canal (ver Tabela 5.2, quadros (c) e (d)).

Haveria, portanto, muita economia em dragagem operando-se o canal somente por volta da preamar. Se isto for inaceitável do ponto de vista comercial, então deve ser comparada a vantagem comercial obtida da operação em tempo integral com o aumento dos custos de dragagem.

No presente projeto, presume-se a seguir que a operação próxima à preamar seja a única opção aceitável.

Aumento na Largura: Vento pelo Través

Um vento predominante de través com velocidade máxima de 25 nós resulta, a uma velocidade moderada de 10 nós através da água, em um acréscimo de 0,4 B à faixa básica de tráfego (Tabela 5.2, quadro (b)).

Acréscimo devido a vento pelo través 0,4B

Aumento da Largura: Correntes

A corrente máxima pelo través será encontrada uma hora antes ou depois da preamar. A referência à Figura 5.12 mostra a velocidade da corrente como sendo de 1,5 nós nesses horários, com um valor de corrente de través de $1,5 \text{ sen } 45^\circ = 1,1$ nós. Da Tabela 5.2, quadro (c), temos:

Acréscimo devido a corrente pelo través 0,7 B

A corrente longitudinal tem a mesma velocidade de modo que:

Acréscimo devido a corrente longitudinal
0,0 B

Acréscimo à Largura: Ondas

As ondas têm altura inferior a 1,0 metro de modo que:

Acréscimo devido a ondas 0,0 B

Acréscimo à Largura: Auxílios à Navegação

Os auxílios à navegação são modestos o que, de acordo com a Tabela 5.2, quadro (f), significaria um acréscimo de 0,2 B:

Acréscimo devido a Auxílios à Navegação
0,2 B

Acréscimo à Largura: Conformação do Fundo

O plano através do qual o canal será dragado é liso e composto de material mole. Presumindo-se que inspeções não acusem a existência de material rígido sob o fundo do mar, a margem para tipo de fundo do mar (Tabela 5.2, quadro (g)) seria:

Acréscimo devido a tipo de Fundo
0,1 B

Acréscimo à Largura: Profundidade da Hidrovia

A relação profundidade/calado é de 1,15, que é inferior a 1,25. Assim, da Tabela 5.2, quadro (h), temos:

Acréscimo devido à
Profundidade da Hidrovia 0,2 B

Acréscimo à Largura: Nível de perigo da Carga.

Como o minério constitui um nível baixo de perigo, deduz-se da Tabela 5.2, quadro (i), que:

Acréscimo devido a Periculosidade da Carga
0,0 B

Distância à Margem

O canal será dragado em um fundo de mar que já está sob 12 metros de água. Terá, portanto, bordas inclinadas e baixios, e desse modo, teremos da Tabela 5.4:

Acréscimo para Distância à Margem 0,5 B

Aplicável a ambos os lados do canal.
Sumário

O canal, conforme projetado, pode ser utilizado por um período que se estende de uma hora antes a uma hora após a preamar e exige uma velocidade de trânsito de 10 nós. Será dragado no fundo plano do mar, com margens de 6 metros de altura acima do fundo dragado.

Sua largura navegável é dada por:

Faixa básica de manobra	1,5 B
Acréscimo devido a velocidade	0,0 B
Acréscimo devido a ventos pelo través	0,4 B
Acréscimo devido a correntes pelo través	0,7 B
Acréscimo devido a correntes longitudinais	0,0 B
Acréscimo devido a ondas	0,0 B
Acréscimo devido a auxílios à navegação	0,2 B
Acréscimo devido ao tipo de fundo	0,1 B
Acréscimo devido à profundidade da Hidrovia	0,2 B
Acréscimo devido à periculosidade da Carga	0,0 B
Distância da Margem	2 x 0,5 B
	4,1 B

O que resulta na necessidade de uma largura de $4,1 \times 50 = 205$ metros.

Exemplo 2: Dois Trechos Retos Ligados por uma Curva

O trecho reto de canal do Exemplo 1 deve ser ligado por uma curva a outro trecho de 5 milhas náuticas de comprimento, alinhado a 45° do primeiro. Estime o raio da curva e a largura do canal na parte curva. Determine a largura do segundo trecho reto de canal. As profundidades dragadas, profundidades do mar e velocidades de trânsito permanecem as mesmas conforme determinado no Exemplo 1.

O desenho esquemático para o canal é mostrado na Figura 5.13, na qual pode ser visto que o segundo trecho do canal recebe a corrente de maré em ângulo reto com seu eixo. O vento predominante, que era de 25 nós pelo través no primeiro trecho, agora forma um ângulo com o segundo trecho. Ambas as situações indicam que a largura do segundo trecho deve ser diferente do primeiro.

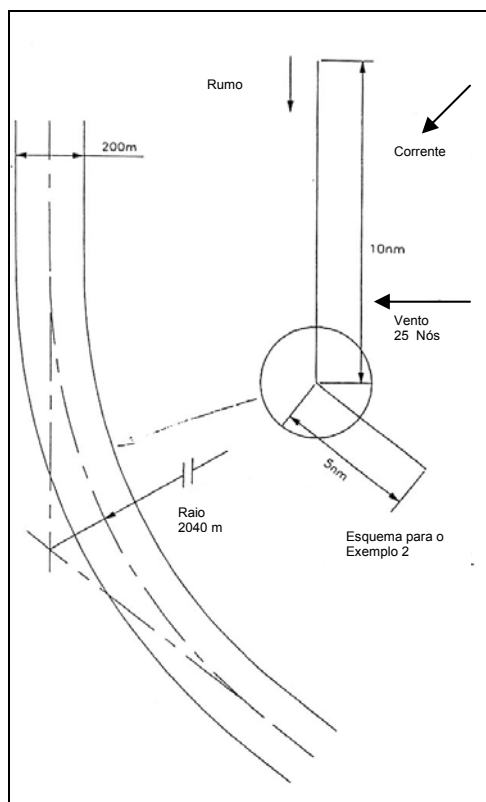


Figura 5.13 – Esquema e traçado de curva para o Exemplo 2

O segundo trecho tem 5 milhas de extensão e isto, combinado com o comprimento da curva, pode requerer alguns ajustes à velocidade de trânsito caso se pretenda dispor de água suficiente após transitar pelo canal e não haja a intenção de aumentar as profundidades dragadas.

Velocidade do Navio

Se uma velocidade média de 10 nós for mantida, o navio levará cerca de 1,6 horas para transitar no canal, presumindo-se que o comprimento da curva seja de cerca de uma milha náutica. Isso sugere que o navio deve dispor de água suficiente para passar ao longo do canal se começar a fazê-lo na preamar – 0,8. Se no entanto o navio tiver que iniciar seu trânsito na preamar em maré vazante (ou na preamar – 1,6 em maré enchente) ele terá que enfrentar uma altura mínima de maré de cerca de 4,2 metros (Figura 5.12). Isso implica em uma diminuição no nível da água em 0,8 metro ao invés dos 0,3 metro do Exemplo 1.

Profundidade

Como a profundidade dragada deve se manter a mesma do Exemplo 1, a profundidade mínima encontrada será de $23 - 0,8 = 22,2$ metros, resultando em uma razão profundidade/calado de 1,11 e um Número Froude de Profundidade de 0,349. A lâmina d'água sob a quilha na preamar + 1,6 será (presumindo-se um *squat* de

0,71 metro pela proa) de $23 - 20 - 0,8 - 0,71 = 1,49$ metros. Isto é pouco, e enquanto possa ser apenas aceitável em algumas circunstâncias, seria claramente preferível transitar no período de tempo correspondente à preamar $\pm 0,8$ hora, se possível.

Acréscimo à Largura: Segundo Trecho do Canal

O segundo trecho do canal, tendo orientação diferente em relação ao vento e corrente predominantes, terá acréscimos de largura diferentes. Estes são calculados como no Exemplo 1 e resumidos como:

Faixa básica de manobra	1,5 B
Acréscimo devido à velocidade	0,0 B
Acréscimo devido a ventos pelo través	0,4 B
Acréscimo devido a correntes pelo través (preamar +1,6)	1,0 B
Acréscimo devido a correntes longitudinais	0,0 B
Acréscimo devido a ondas	0,0 B
Acréscimo devido a auxílios à navegação	0,2 B
Acréscimo devido ao tipo de fundo	0,1 B
Acréscimo devido à profundidade da Hidrovia	0,2 B
Acréscimo devido à periculosidade da Carga	0,0 B
Distância da Margem	$2 \times 0,5 B$
	4,4 B

Isto resulta em uma largura necessária de $4,4 \times 50,0 = 220$ metros, indicando um ligeiro alargamento do canal no segundo trecho. A largura adicional é, no entanto, tão pequena (7%) que provavelmente fosse mais sensato fixar a largura navegável em 220 metros para todo o canal.

Largura e Raio da Curva

A curva requererá uma mudança de 45° no rumo e um ângulo médio de leme de 20° será empregado. As figuras 5.8 e 5.9 dão assim os seguintes valores para a largura da faixa de trajetória varrida e raio de giro a 10 nós, a uma relação profundidade/calado de 1,15 e a um ângulo médio de leme de 20° .

$$\text{Largura da Faixa de Trajetória Varrida} = 1,26 B = 1,26 \times 50 = 63 \text{ metros}$$

$$\text{Raio da Curva} = 6,8 \cdot L_{pp} = 6,8 \times 300 = 2040 \text{ metros}$$

O vento predominante tenderá a auxiliar a guinada (visto que um transportador de minério, tendo suas acomodações à ré, tenderá a orçar) e desse modo não será acrescida largura devido ao vento. As tolerâncias para correntes, auxílios à navegação, distâncias de margem, etc., mantêm-se iguais às dos trechos retos,

presumindo-se que a interação com a margem não será utilizada pelos práticos para auxiliar na guinada como em algumas vezes ocorre em hidrovias interiores e canais artificiais para navios.

Isso dá os seguintes valores para largura e raio da curva:

Largura da curva: $3,36 B = 168$ metros de largura necessária

Raio da curva: 2.040 metros

Mesmo sendo menor a largura necessária na curva, esta será estipulada em 220 metros, como nos trechos retos.

Exemplo 3: Múltipla Escolha do Navio-Projeto

É necessário um canal externo reto de acesso para operação com tráfego nos dois sentidos, envolvendo tráfego misto. Os tipos de navios que devem usar o canal são:

*Petroleiro Panamax: comprimento 250m,
Boca 32,25m,
calado 13m*

*Porta-Containers: comprimento 280m,
boca 32,25m,
calado 12m*

*Navios de GNP: comprimento 180m,
Boca 30m,
calado 8m.*

A velocidade de trânsito deve ser de 10 nós e as correntes de través devem ser presumidas como fracas durante o trânsito. As correntes longitudinais são de cerca de um nó e ventos de través de até 25 nós não devem interromper o trânsito.

As ondas são desprezíveis e os auxílios à navegação são bons. O fundo é suave e macio, e o canal deve ser dragado em um fundo de mar plano com uma profundidade média de 8 metros. A densidade de tráfego é de cerca de 1,0 navio/hora.

O problema aqui reside principalmente na escolha do navio-projeto. O navio porta containers é o maior e o Panamax o de maior calado, mas o navio de GNP transporta a carga mais perigosa. Além disso, a manobrabilidade inerente do navio Panamax será de moderada a boa, a do navio porta containers a baixa velocidade e com vento forte pelo través será de moderada a fraca e a do navio de GNL com vento pelo través pode ser fraca. Torna-se portanto necessário executar um exercício preliminar de projeto com todos esses três navios para descobrir qual determinará as dimensões do canal.

Para simplificar o assunto, presume-se que a profundidade do canal seja fixada em 1,10 vezes o calado do navio que cala mais (o Panamax), o que resultará em uma profundidade de águas de 14,3 metros.

As margens adicionais de largura são resumidas na Tabela 5.7.

Empregando as medidas de boca dos três navios, as seguintes larguras são encontradas:

Largura para:

Panamax: $8,4 \times 32,25 = 271\text{m}$

Porta containers: $7,8 \times 32,25 = 251\text{m}$

Navio de GNP: $10,4 \times 30 = 312\text{m}$

Disto fica claro que a largura de canal para o navio de GNP deve ser adequada aos outros dois navios. Assim, o menor navio dos três seria tomado como navio projeto devido à natureza perigosa de sua carga, combinada com sua pouca manobrabilidade. No entanto, a profundidade do canal seria determinada pelo grande calado do petroleiro.

Tabela 5.7

Margem de largura para:	Navio		
	Panamax	Container	GNP
Manobrabilidade	2 x 1,5 b	2 x 1,8 B	2 x 1,8 B
Velocidade	2 x 0,0	2 x 0,0	2 x 0,0
Vento pelo través	2 x 0,4 B	2 x 0,4 B	2 x 0,4 B
Corrente pelo través	2 x 0,0	2 x 0,0	2 x 0,0
Corrente longitudinal	2 x 0,0	2 x 0,0	2 x 0,0
Ondas	2 x 0,0	2 x 0,0	2 x 0,0
Auxílios à navegação	2 x 0,1B	2 x 0,1 B	2 x 0,1B
Fundo	2 x 0,1 B	2 x 0,1 B	2 x 0,1 B
Profundidade	2 x 0,2 B	2 x 0,2 B	2 x 0,0 B
Periculosidade da carga	2 x 0,6 B	2 x 0,0	2 x 1,5 B
Distância de passagem (tráfego leve)	1,6 B	1,6 B	1,6 B
Distância da margem	2 x 0,5 B	2 x 0,5 B	2 x 0,5 B
Totais	8,4 B	7,8 B	10,4 B

5.5 DADOS SOBRE CANAIS DE ACESSO EXISTENTES

Os termos de referência do Grupo de Trabalho exigiram que fosse distribuído um questionário às Autoridades Portuárias ao redor do mundo. Isso foi feito para obter informações sobre a largura dos canais de acesso existentes e as bases de seus projetos. O objetivo era obter um compêndio de informações sobre canais de acesso que seria não somente de interesse por si próprio, mas proveria dados úteis com base nos quais poderiam ser comparadas previsões embasadas nas diretrizes fornecidas na Seção 5.3.

Assim, o Grupo de Trabalho desenvolveu um questionário, que foi enviado às Autoridades Portuárias ao redor do mundo pela Secretaria da IAPH. Após uma resposta inicial, foi produzido um questionário de *follow up* para obtenção de informações adicionais e esclarecimentos sobre as primeiras respostas recebidas. Após completado este processo, dados de 45 portos estavam disponíveis para que fossem feitas comparações confiáveis entre larguras de canais existentes e aquelas computadas empregando as Tabelas 5.1 a 5.6.

Os resultados são apresentados no Apêndice A, juntamente com uma discussão crítica das comparações entre os cálculos e a realidade.

De modo geral, a comparação entre as dimensões deduzidas do emprego das Diretrizes de Projeto-Conceito e as dimensões dos canais reais demonstraram uma boa correlação, considerando-se a gama de condições locais que tem que ser levada em conta quando se estima largura de canais. No entanto, deve-se ter em mente que as diretrizes do Projeto-Conceito são gerais e não particulares. Cada novo canal é único e exige que, às estimativas gerais do Projeto-Conceito, sigam-se as necessidades particulares que serão estudadas no Projeto Detalhado.

6. PROJETO DETALHADO

6.1 METODOLOGIA GERAL

Enquanto o método de Projeto-Conceito pode ser empregado para se chegar rapidamente a um possível projeto de canal, torna-se freqüentemente necessário efetuar uma avaliação mais detalhada a respeito. O propósito pode ser simplesmente prover informações adicionais para convencer o cliente, seus representantes e os marítimos que terão que utilizar o canal de que este é de fato satisfatório, ou providenciar dados adicionais para o projeto.

detalhados de navegação (como navegação sob pontes) ou problemas localizados do canal onde as exigências quanto à largura recomendada não possam ser atendidas e o canal não possa ser realinhado. Exemplos do primeiro problema ocorrem em muitos portos da Europa, enquanto um exemplo notável do último caso ocorre no acesso a Helsinki descrito na Referência 6.1.

Nesta seção, é esboçado o processo de Projeto Detalhado. A metodologia básica envolve o emprego de modelos de computador cujo tipo, propósito e funcionamento são apenas brevemente descritos, porém seu uso é discutido em maiores detalhes. Disto advém naturalmente a consideração do risco marítimo e a incorporação desse risco ao projeto é discutida no Capítulo 7.

Nesta seção, estuda-se o Projeto Detalhado da largura, profundidade e alinhamento do canal, empregando-se técnicas e metodologias atuais. Como no Projeto-Conceito, a largura, a profundidade e o alinhamento são considerados separadamente, embora, conforme já foi antes frisado (e se tornará óbvio), eles estejam todos interligados. A metodologia básica de projeto é mostrada diagramaticamente na Figura 6.1.

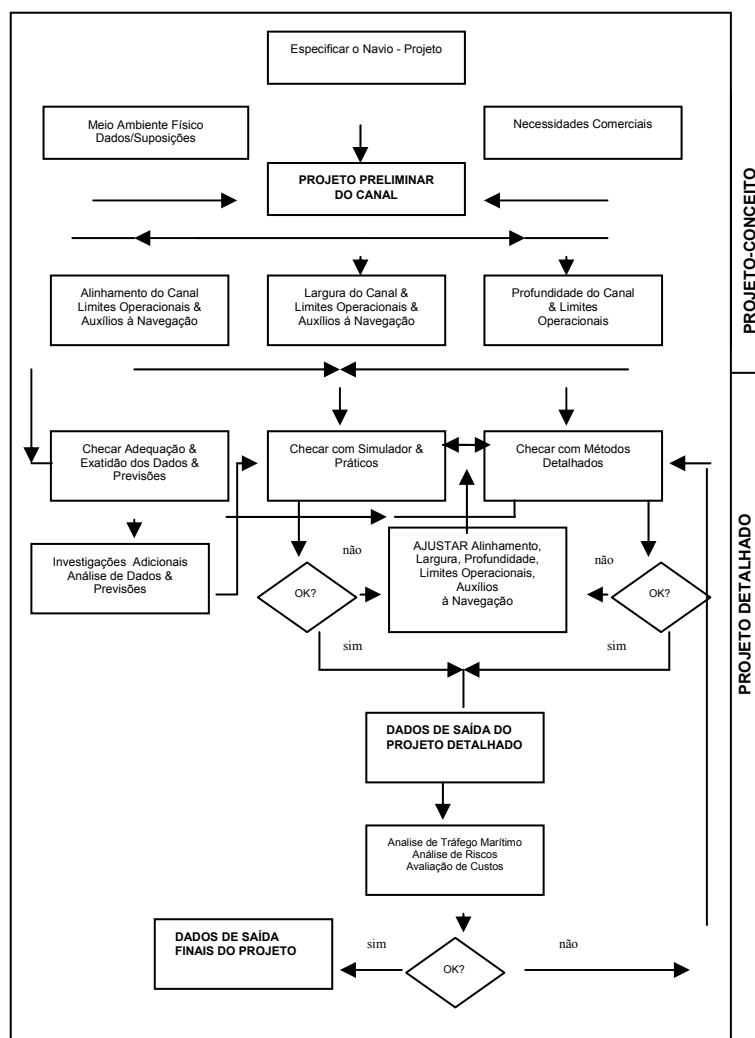


Figura 6.1 – Lógica Geral do Projeto

Outros aspectos do projeto detalhado envolvem o número, tipo e posicionamento dos auxílios à navegação, a consideração de aspectos

6.2 AVALIAÇÃO DO AMBIENTE

6.2.1 Geral

Conquanto os aspectos detalhados de engenharia civil de construção de canais de acesso estejam além do enfoque deste relatório, é importante que se obtenha tanta informação quanto possível sobre o ambiente no qual o canal se situará de modo que sua largura, profundidade e alinhamento possam ser adequadamente determinados. Ainda, é de vital importância que os efeitos sobre o meio ambiente do canal, áreas de giro e molhes/berços de atracação sejam avaliados acuradamente à medida que o projeto se desenvolve.

Em alguns casos, podem estar disponíveis somente informações esparsas e é com elas que decisões chaves relativas ao projeto do canal terão que ser tomadas. Um projeto fundamentado originalmente em dados ambientais esparsos é, necessariamente, baseado em extrapolações do conhecimento existente e no emprego de freqüências presumidas de ocorrência de efeitos ambientais. Um bom projetista tende a ser cauteloso quando a situação ambiental não lhe é totalmente conhecida e ele é, portanto, obrigado a supor. Seu projeto original então pode a partir daí ser refinado, e economias poderão possivelmente ser feitas, se o ambiente estiver sujeito à monitoração contínua.

Esse processo envolve tanto coleta, análise e interpretação de dados existentes quanto

previsão de mudanças que serão produzidas nesse quadro pelo projeto proposto. Tais previsões terão uma importante influência no próprio projeto e também no comportamento de navios que tenham que operar no ambiente existente ou modificado.

As técnicas para coleta e análise desses dados são indicadas sumariamente, como o são os vários métodos de previsão de mudanças que podem ocorrer como resultado do projeto proposto.

6.2.2 Dados sobre o Ambiente

Para o projeto de um canal e área de giro, são necessárias informações sobre:

- vento
- ondas
- correntes e marés
- ciclos e elevações de marés
- batimetria de fundo
- geotécnica do fundo do mar
- assoreamento
- efeitos da água salgada/água doce
- visibilidade

Destes, os seguintes terão mais probabilidades de serem afetados diretamente pelo projeto do canal:

Ondas

A construção de um canal longo pode causar mudanças na altura e direção das ondas locais (Referência 6.2), uma vez que as ondas geralmente tendem a refratar e se mover ao longo de um canal inundado. Em um canal cujas margens são (ou ficam em certos estágios da maré) expostas, as ondas que afetam os navios serão unidirecionais e poderão ser provocadas pelo vento, ondas solitárias ou vagas.

Ciclos e elevação de Marés

Em um canal longo, dragado através de um estuário onde exista um *tidal river*¹⁴, é possível que os ciclos e elevações de marés sejam modificados pelas velocidades aumentadas dos extremos de preamar e baixa-mar, juntamente com a redução nos níveis da baixa-mar e aumento dos níveis da preamar. Para prever tais mudanças, são necessários modelos matemáticos da área envolvida para comparar condições “com” e “sem” o canal novo ou ampliado.

Correntes e Marés

Quando um canal é oblíquo às correntes que agem sobre as águas rasas à sua volta, a corrente que cruza esse canal é defletida na direção do canal e sua velocidade poderá

aumentar ou diminuir. As mudanças na direção e velocidade das correntes dependerão basicamente da orientação da corrente em relação ao canal e da profundidade e largura do canal em relação à profundidade da água nas áreas de pouca profundidade. Quando as correntes forem consideráveis, deve ser procurada a assessoria de um especialista.

Batimetria do Fundo

A batimetria será claramente modificada pela presença de um canal ou área de giro. No entanto, é de certo modo importante saber como a própria batimetria do canal mudará ao longo do tempo devido ao assoreamento, tanto natural como induzido por navios (Referência 6.3).

6.2.3 Coleta de Dados de Campo Técnicas, Análise e Previsão

Um novo canal de acesso, área de giro, novos berços de atracação e a infra estrutura a eles associada podem afetar as condições ambientais. Como o navio-projeto deve operar sob tais condições, é importante que sejam feitas previsões acuradas e confiáveis empregando dados coletados no local, combinadas com previsões através de modelos.

Para se coletar dados ambientais in loco, as técnicas listadas abaixo são comumente empregadas:

Vento

Anemômetros convencionais medem força e direção dos ventos. O ideal é que dados sobre o vento sejam, durante um ou alguns anos, coletados de modo que se disponha de estatísticas relativas a longos períodos. Ainda, vários dados relativos a médias em relação a diferentes períodos de tempo (um, três ou mais minutos ou horas) devem estar disponíveis de modo que se possa ter uma idéia de velocidades médias de vento e rajadas.

Todas as velocidades têm que ser corrigidas para 10 metros de altura acima do nível do mar e quaisquer mudanças na velocidade e direção (devido, talvez, a aspectos da topografia local) devem ser determinadas.

Pode-se obter resultados de estações montadas em terra (aeroportos ou pistas de pouso próximas podem prover estatísticas de longos períodos, na ausência de outros dados) ou, menos acuradamente, de observações efetuadas de bordo de navios nas vizinhanças. Os resultados podem ser apresentados mais convenientemente na forma de rosas dos ventos (Figura 6.2) ou na forma de tabelas estatísticas (Figura 6.3).

¹⁴ Rio caudaloso por onde entra a maré enchente

É necessário que se disponha das velocidades médias constantes dos ventos e espectros das rajadas. A velocidade média constante do vento deve ser a apropriada à manobra em questão. Por exemplo, se a manobra de atracar a um berço leva 30 minutos, então a média de cada meia hora de velocidade do vento deve ser empregada. Para o projeto do canal, a média de hora em hora de velocidade do vento é mais apropriada.

Embora modelos numéricos (empregando, por exemplo, técnicas de Dinâmica Computacional dos Fluidos (*Computational Fluid Dynamics – CFD*) possam ser utilizadas para prever o ambiente de ventos, modelos físicos empregando túneis de vento talvez forneçam as previsões mais detalhadas e confiáveis. Efeitos de abrigo, tão importantes para a condução de navios e manobras de atracação, podem ser definidos, bem como podem ser previstas mudanças localizadas nos ventos (devidas a novos edifícios no porto ou massas de terra próximas, por exemplo).

Ondas

A altura significativa de ondas H_s e um espectro das ondas deverão estar disponíveis. Tabelas de difusão de ondas fornecem uma fonte útil de altura e período; no entanto para a maioria dos trabalhos de simulação de navios, será necessário um espectro de ondas. Os períodos fornecidos nas tabelas de dispersão de ondas devem, portanto, ser definidos e adequadamente interpretados antes que possam ser usados como espectro.

Se os espectros das ondas locais medidas não estiverem disponíveis, então podem ser feitas aproximações utilizando-se um dos seguintes recursos:

- Pierson-Moskowitz (para águas profundas)
- Darbyshire (para águas costeiras)
- JONSWAP (com fator de ajuste adequado às condições locais)
- Bretschneider.

Informações sobre esses e outros espectros podem ser encontradas nas Referências 6.4 e 6.5.

Dados sobre ondas são normalmente coletados por:

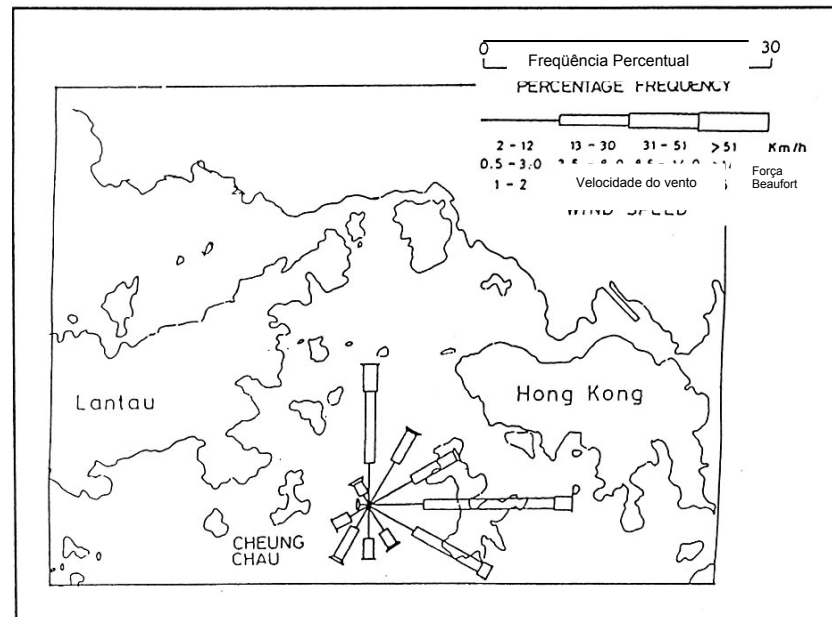


Figura 6.2 – Rosa dos Ventos Típica

- bóias de ondas
- transdutores de pressão instalados no fundo
- radares baseados em terra
- medidores de ondas
- sistemas baseados em satélite

SERVIÇO Nº

LOCAL:

VELOC.VENTO—DIREÇÃO

PERCENTAGEM

OCORRÊNCIA

MATRIZ

LATITUDE:

LONGITUDE:

ELEV AHD: 10,0 M

ELEV AGL: 10,0 M

PERÍODO: 1. 9.80

- 30. 9,80

VELOCIDADE DO VENTO (M/S)

	0,1	2,1	4,1	6,1	8,1	10,1	12,1	14,1	
	A	A	A	A	A	A	A	E	
	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	ACIMA	
									TOTAIS
N		1,2	1,1	,1	,4				2,9
NE	1,1	5,4	4,0	,1					10,7
E	0,7	6,5	3,9	,3	,1				11,5
SE	0,8	4,9	3,5	2,2	,1				11,5
S		1,2	2,0	2,1	1,7	1,8	,6		10,1
SW	1,0	3,6	4,0	3,7	3,9	3,1	3,7	1,2	24,3
W	0,6	3,5	,4	1,1	2,9	5,3	1,7	,4	15,8
NW	0,3	1,7	1,7	2,9	2,6	3,5	,4		13,1
TOTAIS	4,4	28,1	21,4	12,6	11,8	13,6	6,4	1,7	

OCORRÊNCIAS DE CALMARIA: ,0%

RESUMO DA ESTATÍSTICA

720 PONTOS DE DADOS UTILIZADOS

MÉDIA

MAX

S.D.

U - COMP.

2,5

14,5

5,1

V - COMP.

1,6

12,0

4,5

VELOC. VENTO

6,5

16,3

3,5

NOTAS:

1 * DENOTA QUE A OCORRÊNCIA É < 0,05%

2 VELOCIDADES EM GRUPO 0,1 A 2,0 IMPLICA 0,0 < S < * 2,0 ETC

3 GRUPOS DE DIREÇÃO 22,5 GRAUS AMBOS OS LADOS DA DIREÇÃO ESPECIFICADA

4 INTERVALO AMOSTRA DE DADOS 60 MINUTOS

5 U - COMP É * VE LESTE, V - COMP É * VE NORTE

Figura 6.3 – Estatística de Ventos Típica

Esses dispositivos fornecem informações sobre alturas e períodos de ondas. As direções das ondas são fornecidas somente por meio de radares e bóias de ondas. O primeiro o faz

através da exibição visual enquanto o último o faz empregando um grupo de bóias de ondas.

Dados relativos a ondas devem ser coletados por um período tão longo quanto possível, de maneira que se possa obter estatísticas (e estimativas para os valores máximos). Estatísticas globais de ondas estão disponíveis a partir de observações

por satélites ou de coletas de dados como os das Referências 6.4 e 6.5. No entanto, estas tendem a se referir a mar aberto, sendo o detalhamento das informações geralmente insuficiente para o trabalho de projeto de um canal de acesso. Os dados de saída de tais sistemas vêm na forma de diagramas de dispersão (Figura 6.4), curvas de excedência ou curvas de previsão. Um exemplo destas para um espectro JONSWAP é mostrado na Figura 6.5.

Modelos de ondas devem ser capazes de prever os efeitos do canal, área de giro, etc. no regime de ondas, e devem também ser capazes de lidar com ondas refletidas em aterros, faces de atracadouros, etc. Em muitos portos a ação das ondas pode ser relativamente insignificante para os navios maiores, mas pode ainda ser significativa para embarcações de serviço como rebocadores e botes de amarração. O modelo de ondas deve, portanto, ser capaz de lidar não somente com mudanças causadas às maiores ondas no espectro medido, mas deve também considerar tais mudanças quanto às menores ondas.

Existem os seguintes tipos de modelos numéricos de ondas:

- formulações espectrais de ondas
- reconstituição de regimes de ondas através de modelos
- ambiente de ondas
- modelos de refração e difração de ondas
- modelos ray e de diferença finita para modos de transformação de ondas à medida que, a partir de águas profundas, se aproximam e adentram um porto.

Além dos modelos matemáticos, pode ser necessário (ou de fato essencial) empregar um modelo físico de ondas de baía para determinar o regime de ondas que prevalecerá em uma

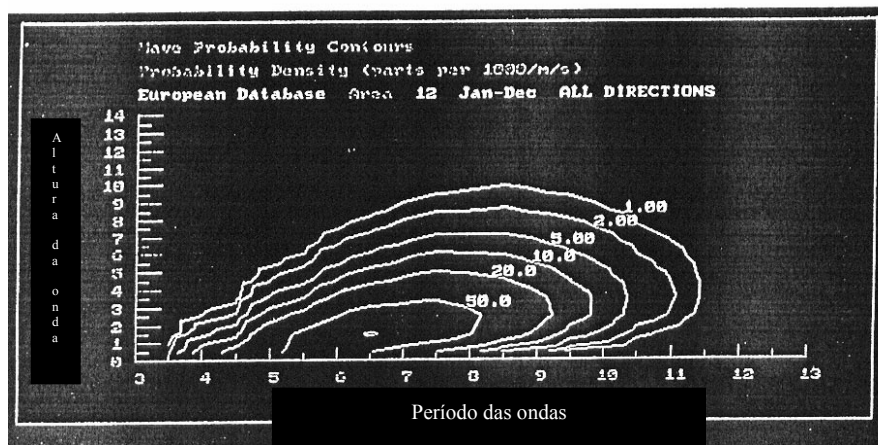


Figura 6.4 – Diagrama de Dispersão de Ondas

nova ampliação. O modelo será calibrado pelas medições de campo da situação existente.

Correntes e Marés

Deve-se dispor das velocidades e direções das correntes (de maré e outras) a meio calado (ou suas médias calculadas para o calado) do navio-projeto. Se houver grandes variações na corrente a espaços, então devem ser encontrados os valores na proa e na popa (pelo menos). De modo geral, uma demarcação com vetores sobre a área em questão é satisfatória, com um espaçamento de grade tão pequeno quanto praticável, ou de cerca de um terço a metade do comprimento do navio-projeto em regiões onde as correntes variem rapidamente.

Uma alternativa à apresentação do tipo demarcação por vetores é um disco contendo dados do vetor corrente em bases de tempo e espaço, desde que sejam compatíveis com as exigências dos dados de entrada do simulador de manobras.

As correntes e correntezas de maré são medidas com correntômetros dos seguintes tipos:

- Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)¹⁵
- Acoustic Doppler Current Meter (ADCM)¹⁶
- Direct Reading Current Meter (DRCM)¹⁷
- Recording Current Meter (RCM)¹⁸
- OSCAR – Radar Based Current Meter¹⁹
- Float Tracking²⁰
- Log Ship Observations²¹

¹⁵ Perfilador de Corrente Doppler Acústico

¹⁶ Correntômetro Doppler Acústico

¹⁷ Correntômetro de Leitura Direta

¹⁸ Correntômetro de Registro.

¹⁹ Correntômetro Baseado em Radar

²⁰ Rastreamento de Bóias Derivantes

²¹ Dados do Diário de Navegação de Navios

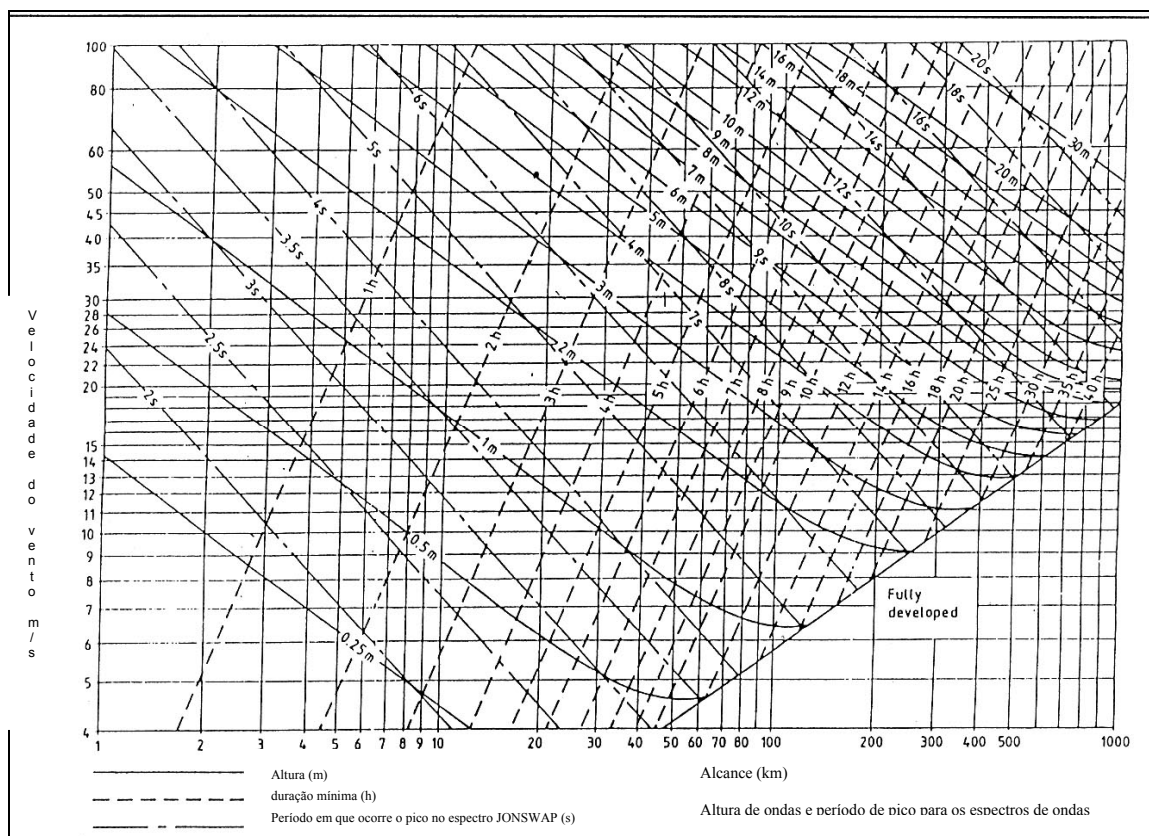


Figura 6.5 – Previsor de Altura de Ondas

Velocidades e direções de correntes devem ser medidas através da coluna d'água para que forneçam indicação dos vetores de corrente agindo no navio-projeto. Idealmente, devem ser empregados valores médios integrados sobre o calado do navio, porém valores obtidos a meio calado são uma alternativa adequada.

Deve-se coletar informações sobre correntes durante pelo menos um mês para determinar com exatidão adequada tanto as variações devidas a marés como quaisquer correntes residuais (devidas a ventos, variações na densidade da água ou a outros efeitos).

Pode ser necessário estipular períodos mais longos para coleta de dados, porém deve-se lembrar que não se pode fazer previsões até que tenham sido coletados e analisados todos os dados relativos a correntezas de maré e correntes.

A previsão de correntes no porto e em seu canal de acesso é crucial para qualquer projeto de canal. Medições da situação existente permitirão que um modelo numérico ou físico de movimento de águas seja calibrado e desenvolvido. Uma vez desenvolvido, ele pode ser utilizado para prever mudanças nos movimentos das águas devido à

presença do canal, da área de giro e da nova estrutura portuária. Confirmação adicional deste modelo pode ser obtida uma vez terminada a construção, após o que o modelo pode formar a base de um *Digital Tidal Atlas* (DTA)²² para emprego em futuras operações portuárias (Figura 6.6)

Modelos numéricos de fluxo de águas tratam a coluna d'água como uma ou mais 'camadas' de fluido, sendo as equações de fluxo resolvidas numericamente para satisfazer condições limites conhecidas e medidas. Os limites devem ser distantes da área de interesse, de modo que não possa ocorrer distorção no fluxo e deve ser deixada margem adequada para mudanças no contorno do fundo do mar. Na ausência de qualquer outra informação, podem ser utilizados *Admiralty Tidal Stream maps*²³.

Elevações de Maré

Em um porto existente e seus acessos, já estarão instalados marégrafos, de modo que dados diários, mensais e anuais sobre elevações de maré devem estar disponíveis. As

²² Atlas Digital de correntezas de Marés

²³ Cartas Admiral de Correntes de Maré

informações devem ser obtidas de tantos locais quantos forem possíveis, pois a “onda” da preamar demora a se deslocar de um lugar para o outro e isto afetará a determinação de profundidade em um canal longo.

utilizando-se técnicas de levantamento convencionais. O nível em questão pode ser:

- nível de referência de carta
- nível de referência principal
- nível de referência local

Deve-se tomar cuidado para assegurar que todas as medidas de profundidade e altura de marés sejam relativas a um nível de referência comum, sendo este aspecto especialmente importante quando as profundidades forem tiradas de uma carta náutica e as elevações de maré de medições locais.

A definição de profundidade de águas em áreas de lama é discutida em maiores detalhes na Seção 6.5.4 abaixo e no Apêndice D, onde técnicas de medição e interpretação nessas áreas são discutidas.

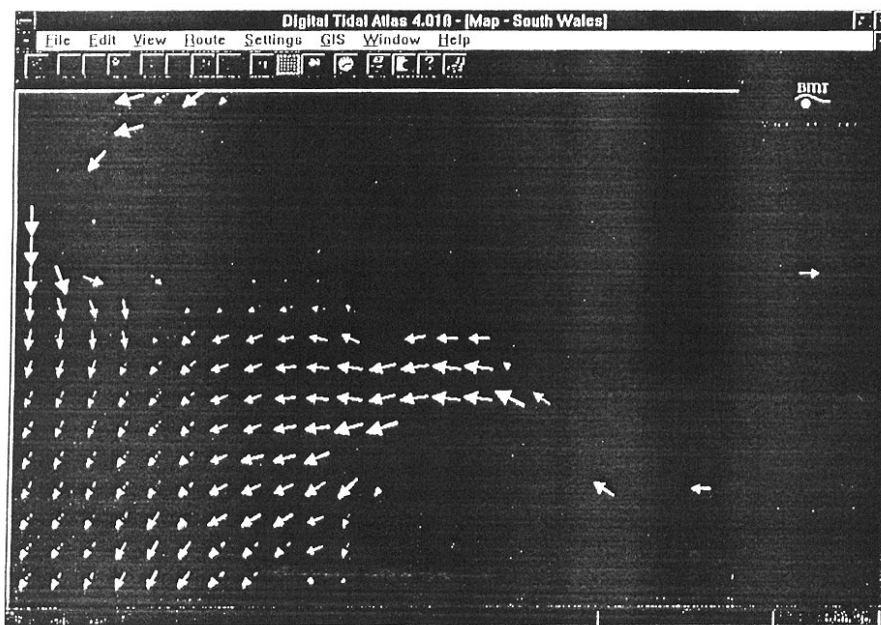


Figura 6.6 – Dados de Saída Típicos de Atlas de Maré

Na ausência de marégrafos, medidores ultrassônicos, medidores de pressão instalados no fundo ou *wave probes* podem ser empregados para medir as mudanças básicas na elevação da maré. Devem ser efetuadas medições por períodos adequados que não devem ser inferiores a um mês, e que idealmente devem ser de cerca de 12 meses.

Elevações de maré, que variam com horário e posição, são melhor representadas por uma grade sobre a área em questão. Alternativamente, o ciclo temporal de marés pode ser fornecido, presumindo-se que varie por toda a área do canal. O ciclo de marés deve então ser simplesmente digitalizado e utilizado como dado de entrada para o Projeto Detalhado.

Previsões de variações de altura de marés em função do tempo seguem uma prática padrão, conforme descrito, por exemplo, na Referência 6.6. No entanto, o possível efeito do projeto do canal sobre altura e ciclo das marés, conforme mencionado na Seção 6.2.2, deve ser levado em consideração.

Batimetria de Fundo

Profundidades de águas em relação a um nível de referência reconhecido são medidas

Medições de profundidade efetuadas prévia e posteriormente a dragagens terão um certo nível de exatidão implícito, que pode ser melhorado pela colocação estratégica de marégrafos na área. Deve ser tomado cuidado quando da interpretação de medições de profundidades pós-dragagem, para assegurar que a profundidade de projeto tenha sido atingida. Em casos complexos, para determinar a topografia do fundo, pode vir a ser necessário o emprego de um *Digital Terrain Model (DTM)*²⁴

Profundidades de águas são melhor representadas em uma carta ou por plotagens de sondagens. Elas devem então ser digitalizadas em base de grade, para uso no Projeto Detalhado, geralmente após interpretação e simplificação. O emprego de um jogo completo de sondagens em simulações de manobras de navios geralmente não é praticável (e é muito dispendioso em termos de tempo de computação) de modo que devem ser introduzidas simplificações.

Geotécnica do Fundo

Os dados necessários ao projeto consistem de tipo de fundo, ângulos de repouso para material de margem, etc. A inclinação das margens bem

²⁴ Modelo Digital de Terreno

como sua proximidade interferem no comportamento do navio.

As propriedades geotécnicas do material do fundo serão medidas utilizando-se técnicas convencionais. A importância de tais medições está não somente em seu valor inerente para a determinação dos métodos e custos de dragagem, da estabilidade do fundo, etc., mas também na determinação da margem a ser deixada ao se computar a profundidade correta para assegurar a passagem segura do navio-projeto.

As técnicas empregadas para determinar a geotécnica do fundo são:

- amostragem por perfuração
- sonar de varredura lateral
- sensores ultra-sônicos (para lama – ver Seção 6.5.4 abaixo)

Obviamente, fará parte do processo de projeto assegurar que o alinhamento do canal, se possível, não o faça passar através de material de fundo de mar cuja dragagem e manutenção seja difícil ou dispendiosa. Ainda, o que já existir no fundo (como tubulações ou cabos) não deve ser perturbado e deve ser adequadamente protegido de contacto físico com navios e dos efeitos de abrasão induzidos por sua passagem.

Sedimentação

Serão necessárias estimativas dos tipos e índices de sedimentação, de modo que se possa ter alguma idéia da efetiva redução na profundidade do canal com o tempo. O efeito que isto tiver sobre o comportamento do navio, *squat*, etc., determinará as necessidades de dragagem de manutenção.

O assoreamento é medido por:

- análise das anotações de dragagem e monitoração das operações
- informações locais e históricas
- métodos de retro dispersão para sedimentos em suspensão
- estudos de rastreador de sedimentos
- medições de fluxo de areia
- medições de velocidade de decantação empregando técnicas de vídeo
- medidas de densidade in loco
- análise de sedimentos de perfurações

A previsão dos índices de assoreamento do novo canal ou no acesso ao porto pode ser feita através de estudos morfológicos utilizando a atividade prevista de ondas e correntes no porto juntamente com um modelo ou fórmula apropriado de sedimentação. Modelos de computador podem prever padrões de erosão e depósito em certas áreas com precisão moderada.

Modelos diferentes são empregados para sedimentos coesivos e não coesivos.

Efeitos da Água Salgada/Água Doce

Em alguns locais no porto, a água doce de um rio pode desembocar na água salgada do porto. Isso pode causar a passagem de uma “cunha” de água salgada/doce através da área, com efeitos sobre o comportamento dos navios. Não somente o comportamento de manobra do navio será afetado, mas também seu calado devido a mudanças na densidade da água. O calado aumenta aproximadamente na proporção ρ água do mar/ ρ , onde ρ é a densidade da água doce ou salobra. A densidade varia com a temperatura da água conforme indicado na Figura 6.7.

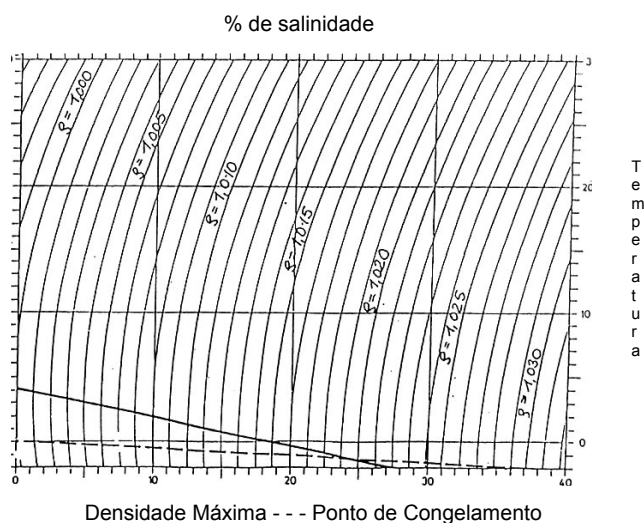


Figura 6.7 – Densidade da Água em Relação a Salinidade e Temperatura

Medições dos efeitos da água salgada/doce podem ser feitas pelo uso de medidores de salinidade e a previsão dos efeitos da interface água salgada/água doce pode ser feita com o emprego de modelos físicos e numéricos, sendo que o último simula os efeitos da salinidade pela inclusão da densidade apropriada da água no modelo de fluxo (corrente).

6.2.4 Sistemas de Monitoramento e de Informações Marítimas

Uma vez completados o novo canal e a ampliação portuária a ele associada, seu ambiente será monitorado como auxílio às operações portuárias. Muitas das medições efetuadas e modelos desenvolvidos para o projeto do canal podem ser utilizados nesta atividade posterior.

Previsões de altura de maré serão um auxílio padrão para as operações portuárias, mas um *Digital Tidal Atlas* pode ser uma ferramenta operacional poderosa, especialmente se as normas operacionais do porto forem mais afeitas a velocidades aceitáveis de corrente do

que a condições de maré. Em alguns portos o comportamento das marés pode ser complexo ao ponto de não se poder presumir que uma velocidade conhecida de corrente coincidirá com certas partes do ciclo de marés. Nesses casos, as correntes no canal (ou próximas a ele) devem ser continuamente monitoradas para que se forneça uma calibragem em tempo real ao DTA (*Digital Tide Atlas*), cujas previsões fornecerão informações aos práticos ou aos operadores de VTS que poderão então decidir a respeito de *operational windows*²⁵ adequados para a passagem segura do navio.

Alguns equipamentos de demarcação do canal podem ter correntômetros instalados para auxiliar nessa operação; pode ser possível ao prático consultá-los de outras partes do canal pelo rádio, a fim de obter um quadro da estrutura de correntes no momento e de como ela estaria mudando.

O *Port Control*²⁶ deve ser continuamente alimentado com Informações sobre altura e período de ondas, para que possa auxiliar os práticos caso o canal seja limitado devido à sua profundidade, para certos navios. Informações sobre ventos têm também que estar continuamente disponíveis. Todas essas informações são parte de um Sistema de Informações Marítimas, que pode ser sofisticado em maior ou menor grau, e cuja extensão e complexidade estarão intimamente ligadas ao projeto e operação do canal de acesso ao porto e às características a ele associadas.

6.3 ALINHAMENTO DO CANAL

6.3.1 Geral

Se o canal foi alinhado de acordo com os princípios da Seção 5.2.2, poucos problemas de navegação poderão existir que requeiram que seu projeto seja refeito. Os estudos de simulações feitos para as seções retas do canal (ver Seção 6.4 abaixo) serão utilizados para verificar as curvas, se as houver, de modo que a adequação dos raios e larguras dessas curvas possam ser checados. No entanto, a questão da demarcação apropriada das curvas é importante e um simulador de navio providenciará informações valiosas a este respeito. Alguns princípios básicos podem ser observados, que serão discutidos abaixo após uma breve consideração sobre a configuração de curvas.

6.3.2 Configuração de Curvas

Uma curva normalmente liga dois trechos retos de canal. Esta não é uma regra inflexível, uma vez que podem ocorrer duas curvas em

seqüência, embora isso deva, se possível, ser evitado em um bom projeto.

Em alguns casos, curvas concatenadas serão inevitáveis, e a simulação de manobras constitui a única técnica para determinar sua adequação. Será de particular importância o posicionamento do navio na primeira curva. Este deve ser correto (normalmente com uma pequena margem de erro) para que as curvas que se sucedem possam ser navegadas com sucesso. Se possível, a distância entre curvas sucessivas deve ser maior do que cinco comprimentos do navio, como na Figura 5.1. Transições mais curtas do que isto devem ser objeto de um estudo de simulação de manobras.

Uma curva pode ter ou não margens. No primeiro caso, na baixa mar ela poderá se tornar quase que como um canal artificial e, no último, ela simplesmente indicará uma manobra de guinar de uma seção do canal para a outra. O comportamento do navio e, como resultado, a demarcação da curva diferirão para cada tipo. A curva com margens pode fazer com que o navio mude seu comportamento devido aos efeitos da margem, portanto sua presença necessitará ser indicada.

Raio e ângulo de curva terão sido escolhidos no Projeto-Conceito, seguindo as sugestões feitas na Seção 5.2.5 acima. O emprego do simulador determinará se a configuração particular é adequada ou não. Isso logo se tornará aparente se o responsável pela manobra do navio sentir-se à vontade ao navegar uma curva. O problema de uma curva muito longa com raio muito grande se manifestará através de desorientação e uso excessivo do leme. O problema de um raio de curva muito pequeno é óbvio e, em tal situação, pode se tornar necessário apelar para o emprego de um rebocador para assistir o navio caso o raio não possa ser aumentado.

6.3.3 Demarcação da Curva

As orientações fornecidas na Seção 5.2.5 devem prover um mínimo adequado. Curvas com margens altas devem necessitar de mais pares de bóias emparelhadas para melhor definição.

Os ritmos das luzes para os auxílios à navegação devem ser escolhidos para que estejam em conformidade com:

- a) O Sistema IALA de Sinalização Marítima (Ref. 6.7)
- b) As Recomendações IALA para Características Rítmicas de Luzes em Auxílios à Navegação – Abril 1982 (Ref. 6.8)

Dentro das limitações dessas recomendações, deve-se evitar grandes períodos de eclipse, devido à importância da sinalização como

²⁵ Períodos em que o canal está disponível para uso

²⁶ Controle do Porto (executado de fato pelas praticagens na maioria dos portos brasileiros)

orientação visual, especialmente à noite. O sistema IALA oferece uma gama de ritmos de lampejos ou lampejos rápidos dentre os quais se pode escolher.

Deve ser tomado cuidado para assegurar que essas luzes sejam claramente visíveis contra quaisquer luzes na retaguarda, localizadas em terra.

Em curvas sem margens que tenham um raio adequado, um meio alternativo de demarcação é a colocação de uma sinalização bem visível ao radar no centro do círculo do qual a curva é parte. Se o práctico do navio conhecer a distância dessa bóia à linha central do canal na curva, poderá utilizar técnicas de indexação paralela no radar para navegar. Isto requer conhecimento dessa técnica pelo práctico e pessoal do passadiço e deve ser empregado com cuidado caso qualquer membro da equipe do passadiço não esteja familiarizado com a citada técnica. Um excesso de informações fornecidas pelo oficial que estiver monitorando o radar pode confundir a condução do navio.

6.3.4 Avaliação da Largura da Curva

O uso de simulação rápida (e, em menor grau, em tempo real) em curvas sob várias condições de maré e ventos resultará um número de trajetórias. Uma curva de variação dessas trajetórias pode ser comparada com o projeto da curva e, se necessário, podem ser feitas modificações. Em particular, ficará aparente se é necessário aumentar a largura na curva e nos trechos de transição a ela associados.

Pode-se recorrer aos critérios da Seção 7.6 para determinar se são necessárias mudanças.

6.4 LARGURA DO CANAL

6.4.1 Geral

A largura terá sido determinada para uma passagem segura, porém sua adequabilidade poderá ter que ser demonstrada ao cliente e, o que é mais importante, aos marítimos que deverão usar o canal. Essa tarefa poderá indicar mudanças no Projeto Detalhado e quase que certamente indicará quaisquer problemas operacionais que possam surgir. Estes podem ser relacionados a assuntos de percepção, reação humana e técnicas de manejo, todos envolvendo o comportamento e reação do ser

humano (ou “fatores humanos”) no processo de projeto.

Se a incorporação de fatores humanos é um elemento crucial do processo de Projeto Detalhado, outro é o risco marítimo (discutido mais amplamente no Capítulo 7). O objetivo de todo o projeto e operação é a movimentação segura e eficiente de navios para e de um porto, e para tanto a segurança (ou risco) da operação pode, algumas vezes, ter que ser comparada a seu custo em termos econômicos e comerciais. Os clientes podem querer que a segurança e o risco sejam demonstrados de maneira tangível e mensurável de modo que fiquem convencidos de que a largura (e o alinhamento) do canal e áreas de giro e atracação a ele associadas sejam satisfatórias.

A ferramenta de projeto que auxiliará a satisfazer essas exigências de Projeto Detalhado é o modelo de simulação de manobra de navios. É na determinação da largura do canal (e seu alinhamento) que ele se revela uma ferramenta poderosa.

6.4.2 Manobra de Navios e Simulação

Uma simulação de manobra de navio é um modelo matemático, instalado em um computador, que reproduz, tão precisamente quanto possível, o comportamento de manobra de um navio. Nas Referências 6.9 e 6.10 serão fornecidos detalhes desses modelos de simulação. Eles não são discutidos aqui. Ao invés disso, a atenção será concentrada em seu uso e importância para o projetista.

Manobrar navios é uma habilidade que, no caso de navios mercantes, é mais frequentemente solicitada quando estes se movem a velocidades relativamente baixas em ou próximos a um porto. No mar, a velocidades de ‘cruzeiro’, o navio estará geralmente sob o controle de um Piloto Automático ao passo que, no porto, estará sob controle humano, sendo o condutor do navio geralmente um práctico ou alguém a quem, por cujo conhecimento local do porto e do navio (através da prática frequente), tenha sido conferida isenção de praticagem.

Em tais águas, o calado é geralmente limitado, existirá mais tráfego próximo ao navio do que em mar aberto e haverá outros navios atracados, margens e obstruções pelos quais se deverá passar. O navio terá que diminuir a velocidade, parar, girar e atracar, possivelmente sozinho ou com o auxílio de rebocadores. A atracação deve ser feita com precisão e com a velocidade do navio tão baixa quanto possível quando tocar as defensas.

Para ser útil em projetos de canais e portos, modelos de simulação de navios devem ser capazes de reproduzir todos essas manobras a “baixa velocidade”; uma simulação limitada somente a situações de “velocidades de cruzeiro” é de pouca utilidade. Ela deve permitir que o navio pare e se mova para os lados, bem como à vante e à ré, e deve prover:

- efeitos de águas rasas (e as mudanças na manobrabilidade deles resultantes)
- Interação com outros navios (tanto atracados como em movimento)
- Interação navio-margens
- hélices de passo fixo e de passo variável
- rebocadores
- ventos, ondas e correntes
- efeitos de *thrusters* ou outros dispositivos de manobras.

Deve também possibilitar que operadores humanos (projetistas e marítimos) interajam e “manejem” a simulação.

Mesmo o “manejo” de uma simulação não sendo o mesmo que o manejo do navio, o emprego de tal modelo fornece um estímulo útil à equipe de projeto e permite que várias disciplinas diferentes e necessárias em projetos trabalhem juntas em direção a um objetivo comum. Os modelos de simulação, portanto, agem como um catalisador e talvez esta seja sua grande força como ferramenta de projeto.

6.4.3 Emprego de Simulação para Largura de Canal

A Simulação pode ser empregada de várias maneiras para avaliar a largura de um canal. A seguir, duas técnicas (talvez os métodos mais comuns atualmente em uso) são apresentadas e discutidas. As técnicas envolvem o emprego de simulações rápidas e em tempo real e a figura 6.8 indica como esses métodos alternativos são utilizados para se chegar ao projeto final. Cada técnica será a seguir considerada em maiores detalhes.

6.4.3.1 Tempo Real com Marítimos, o “Grupo de Peritos”

Com esta técnica, um simulador em tempo real, geralmente do tipo *full mission*, (isto é, uma réplica de passadiço totalmente equipado e com cenas visuais realísticas) é empregado com marítimos como participantes e assessores da equipe de projeto. O canal proposto é incorporado à simulação e os marítimos governam o ‘navio’ ao longo dele. Empregando sua experiência em situações similares a bordo de navios reais, eles fazem comentários sobre o projeto que pode, se necessário, ser modificado

no simulador até que fique satisfatório. Tal procedimento normalmente consiste de:

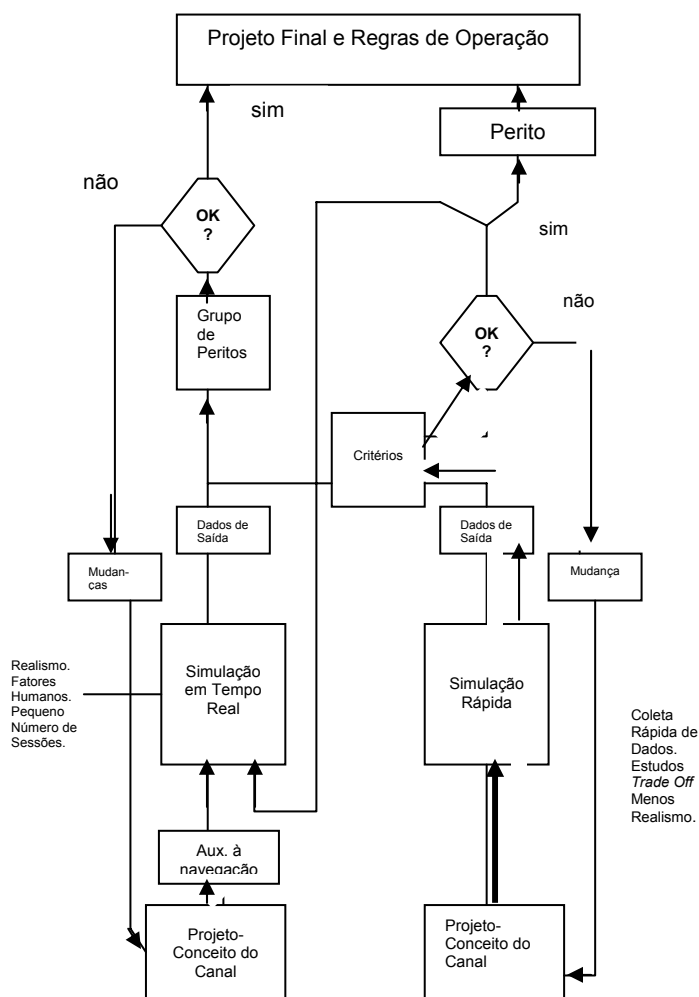


Figura 6.8 – Emprego de Simulação em Tempo Real e de Simulação Rápida

- aclimação inicial
- sessões de simulador com um ou um certo número de marítimos manobrando o navio-projeto (ou similar)
- sessões de relato após cada operação
- observações e registro de parâmetros chaves de desempenho durante cada operação.

Aclimação Inicial

Alguns marítimos não estarão familiarizados com simuladores em tempo real ou com seu uso. Nestes casos, será necessário algum tempo com o equipamento para aclimação. Isso pode ser feito com o canal que está sendo verificado ou um simples ‘porto-teste’. Pelo menos um dia deve ser concedido para esse propósito, uma vez que existirão questões de adaptação ao ambiente estranho ao redor e, em alguns casos, de superação do ceticismo natural dos marítimos com relação ao simulador.

A aclimação é também necessária para um novo canal pois, se o grupo de peritos marítimos for composto de práticos, esperar-se-á que eles tenham, como resultado de sua experiência prática, um conhecimento detalhado da área marítima em questão. Se o canal for novo, eles necessitarão de tempo para assimilar novas características de vento e corrente para ampliar sua experiência.

Não se deve efetuar sessões de 'medição' durante a aclimação; elas somente devem iniciar quando os marítimos estiverem familiarizados com o ambiente (tanto interno como externo ao simulador) e com o modelo de navio.

Sessões de Simulador

Uma vez completada a aclimação, as seções reais podem iniciar. Frequentemente, os marítimos estarão entusiasmados com o uso do simulador e este entusiasmo deve ser canalizado adequadamente pelo líder do projeto. O programa acordado deve ser seguido tão à risca quanto possível, embora um enfoque flexível possa vir a ser necessário quando e se os parâmetros do canal estiverem sendo mudados. Deve-se tomar cuidado para que somente um parâmetro seja mudado de cada vez.

Durante cada sessão, o desempenho da equipe do passadiço deve ser observado pela equipe de projeto, bem como deve ser mantido um registro de eventos.

Finalmente, deve ser reconhecido pela equipe de projeto que 'manejar' um simulador no confinamento de um 'canal' pode ser mentalmente cansativo. Em suas atividades normais, um prático deve fazê-lo somente dia sim, dia não, ou a intervalos maiores; no simulador, ele poderá ser solicitado a repetir sessões a cada meia hora. Se ao final do dia estiverem surgindo enganos devido à fadiga, as sessões devem ser interrompidas, ou um grupo maior de marítimos deve ser empregado. É óbvio que, se estiverem sendo investigados os efeitos de fadiga, este conselho deixa de ter validade.

Relato

O relato deve ser uma discussão plena, sem constrangimentos de cada sessão, preferivelmente com um grupo de participantes de mesmo nível, mas liderado por um marítimo que faça parte ou trabalhe junto com a equipe de projeto. Membros da equipe de projeto devem estar presentes e participar, se for apropriado, de modo que ocorra uma discussão com foco multi-disciplinar. É vital que a última sessão seja discutida em detalhes de modo que a sessão seguinte (e quaisquer mudanças necessárias) possam ser planejadas. Se ocorrerem enganos na sessão, tanto melhor:

eles podem ser analisados em detalhes (a despeito de suscetibilidades profissionais) e seus motivos encontrados. Os enganos devem ser corrigidos nas seções subseqüentes.

Registros gráficos das trajetórias das sessões prévias devem estar disponíveis, bem como o registro de eventos e quaisquer cartas, plotagens de sondagens e qualquer outro material relevante. Uma lista de verificação dos tópicos a serem incluídos no relato é fornecida na Figura 6.9.

Fatores de Desempenho

Parâmetros-chaves de desempenho devem ser anotados e o registro de eventos consultado. Os primeiros são geralmente obtidos prontamente da saída de dados do simulador e podem ser utilizados em análises posteriores. O último é importante porque podem ser observados stress ou fadiga indevidos ou outros fatores humanos que sejam o resultado direto do projeto do canal, que deve então ser mudado caso tais fatores levem a erros de manobra.

Os fatores de desempenho, que podem ser verificados posteriormente em comparação a vários outros critérios (ver Seção 6.6. abaixo), consistem normalmente de:

- atividade do leme, inclusive ângulo médio de leme, desvio padrão do ângulo de leme, ângulo máximo de leme, número de mudanças de bordo,
- erro de saída de rota,
- variações de velocidade,
- variações de aproamento,
- atividade dos rebocadores, inclusive forças de reboque.

Este processo continua até que o projeto resultante seja satisfatório aos marítimos que ao final o utilizarão. Eles deverão sentir que será alcançado um nível satisfatório de navegabilidade no canal.

Um número de repetições de sessões será necessário e, em alguns casos, poderá ser um grande número. No entanto, o custo do tempo de um simulador de manobras *full mission* é alto e frequentemente pode-se chegar a um acordo por consenso após um número relativamente pequeno de sessões.

A adequação da largura do canal ao longo de seu comprimento terá então sido desse modo avaliada pelos marítimos e pela equipe de projeto e quaisquer mudanças necessárias terão sido feitas. Se tiverem também sido satisfeitos os critérios de segurança aplicáveis, isto servirá para confirmar (mas não deverá necessariamente sobrepujar) as opiniões dos marítimos.

ITEM		VERIFICAÇÃO
1. Navio Projeto	- muito rápido? - OK? - muito lento?	
2. Atividade do Leme	- ângulo médio - ângulo máximo - Frequência	
3. Movimentos de máquina	- Frequência - Número	
4. Avaliação do alinhamento do navio e manutenção de posição	(a) foi-lhe possível manter o navio na rota planejada (em sua faixa do canal em um canal de tráfego nos dois sentidos?) - com facilidade? - com alguma dificuldade? - com muita dificuldade? (b) foi-lhe possível determinar sua posição, tanto geograficamente quanto em relação a outro tráfego (1) durante o dia? (2) à noite, e (3) com pouca visibilidade - com facilidade e rapidamente? - com alguma dificuldade? - com dificuldade considerável?	
5. Raios de curva	- adequados? - muito fechados? - muito abertos?	
6. Auxílios à navegação	- posições e espaçamento de bóias OK? - ritmos e cores das luzes OK? - luzes de orientação OK?	
7. Parada e Giro	- espaço adequado? - quantos rebocadores e qual a potência? - movimentos de máquina? - Pior hipótese onda e corrente OK?	
8. Aborto	- último ponto para abortar seguramente? - ponto sem retorno OK? - para onde abortar?	
10 Visibilidade	- mínima necessária para manter velocidade de projeto? - limites de visibilidade para giro? - visibilidade do passadiço OK?	
11 Controle e Segurança	- sentiu-se 'no controle' todo o tempo? - se não por que? - sentiu o canal Seguro? - se não, por que?	

repetidas a fim de obter informações estatísticas suficientes para avaliar o projeto do canal. Isto será discutido mais amplamente na próxima seção; no entanto poderá levar à necessidade de períodos muito longos de simulador.

Uma vez tendo o canal sido avaliado como sendo adequado para uso normal, deve-se efetuar os seguintes estudos :

Disposição e Tipo de Auxílios à Navegação

Este assunto deve ter sido parte do estudo principal, mas se não foi, o cenário visual é idealmente adequado para verificar a posição e tipo de auxílios à navegação. Normalmente o cenário pode ser mudado de maneira fácil e rápida para mostrar tipos diferentes de bóias, luzes, etc. No entanto, deve-se tomar cuidado para assegurar que estas estejam em conformidade com o Sistema de Sinalização Marítima IALA (Ref. 6.7).

Figura 6.9 – Lista de Verificações Sugerida para Exercícios de Simulação em Tempo Real

Nesta técnica os marítimos foram empregados, como peritos em sua área, para avaliar e calibrar o canal. Esse emprego do 'Grupo de Peritos' é uma ferramenta útil e valiosa, mas existem outras. Talvez a principal alternativa seja efetuar um grande número de sessões

Limites Operacionais e Regras de Passagem

Pode ser necessário impor limites de vento, correntes e altura de maré para a operação segura no canal. Tais limites devem ser determinados descobrindo-se quando o marítimo sente que está perdendo o controle, e comparados com critérios comerciais ou outros. Se forem então inaceitáveis, deve-se fazer tentativas de mudar o projeto. Desses limites, podem ser desenvolvidas Regras de Passagem ou Operação.

Pontos para Aborto Seguro

Em alguns acessos portuários, deve ser determinado o 'último ponto para aborto seguro'. Além desse ponto o navio estará irrevogavelmente comprometido com sua entrada no canal e não poderá voltar para o mar, caso circunstâncias adiante impeçam sua passagem segura (ver também Seção 7.5.4).

Efeitos de Visibilidade Restrita

Aproximações 'cegas' devem ser estudadas para alguns canais, em cujo caso pode ser necessário efetuar aproximação empregando o radar. Isto pode exigir mais mudanças no projeto.

6.4.3.2 Simulação Rápida

A simulação rápida é também empregada em projetos de canais, embora neste caso o enfoque do 'Grupo de Peritos' seja um método menos apropriado para determinar sua adequação. Embora possa ser utilizada, a diferença entre a experiência em tempo real e o comportamento na simulação rápida é geralmente muito grande para permitir que sejam feitos julgamentos baseados em experiência.

É, portanto, comum ampliar o discernimento profissional com certos critérios baseados em experiência e indicar se um projeto de canal é adequado (e seguro) ou não. Tais critérios podem também ser utilizados com simulação em tempo real, conforme mencionado acima, mas nesse caso, alguns deles podem levar a longos períodos de estudos.

Várias técnicas estão disponíveis com a simulação rápida:

- sessões múltiplas
- sessões únicas
- controle humano
- *pilot model control*²⁷
- visão plana ou visão do passadiço.

Sessões múltiplas

A operação em tempo rápido permite que sejam feitas muitas seções em pouco espaço de tempo e esta é sua maior vantagem como ferramenta de projeto. A técnica de sessões múltiplas é geralmente acoplada a um 'pilot model control' e envolve efetuar a simulação de uma dada manobra repetidamente e analisar a estatística

resultante das sessões. O modelo de prático é, na verdade, um modelo automático do prático humano com suas demoras corretas de percepção, fortitude de erros na percepção do aproamento, erros de saída de rumo, etc. Modelos de práticos estão em sua infância no mundo marítimo, mas até os mais simples podem ser úteis.

Este enfoque probabilista do projeto de canais fornece informações sobre largura do canal e de curvas, definidas a partir da distribuição de trajetórias das sessões múltiplas. Utilizando tais informações, pode ser determinada a probabilidade de o navio se mover para fora dos limites do canal (e consequentemente encalhar) devido a uma combinação de manejo, vento, ondas e correntes. Isto pode então ser comparado com valores aceitáveis de risco de encalhe conforme mostrado na Seção 7.6.3.

A curva de variação das trajetórias das sessões múltiplas pode também ser utilizada para determinar o alinhamento ideal e a largura nas curvas do canal.

Sessões Únicas

Sessões únicas em várias condições de vento, ondas e correntes podem ser empregadas para julgar a conformidade do canal, com base em experiência prévia, e podem também fornecer alguns critérios de manobra. Estes devem se basear na atividade do leme, da mesma maneira que a simulação em tempo real, e devem ser julgados com base nos mesmos critérios.

Infelizmente, os critérios de atividade do leme não constituem indicadores muito sensíveis dos efeitos de mudanças no projeto do canal; em parte porque a manobra do navio, bem como o modo pelo qual o leme é empregado para atingir um objetivo em particular, são características tanto do prático como do canal. Devem, portanto, ser empregados com cuidado.

Limites operacionais relativos a ventos, ondas e correntes podem também ser determinados empregando-se a simulação rápida. Esta tende a confiar sobremaneira no julgamento subjetivo do operador, visto que ele deve determinar sob quais condições de vento, ondas e correntes estará perdendo ou terá perdido o controle. Algumas vezes ficará obvio que se perdeu o controle, mas em alguns casos pode ser difícil diferenciar entre condução ruim e verdadeira perda de controle. Em dúvida, deve ser feita a repetição das seções.

Visão Plana ou em Perspectiva

A maioria das simulações rápidas fornece uma visão plana da área sob consideração (ver Figura 6.10), ao passo que algumas fornecem uma simples visão em perspectiva a partir do passadiço. Infelizmente, uma visão em perspectiva através de imagem abrangente gerada por computador (CGI)²⁸ pode ser custosa em termos de tempo de computador, reduzir a velocidade da simulação e anular as vantagens da simulação rápida. Visões noturnas simples, nas quais todas as luzes de navegação são enxergadas, podem superar esse problema. Embora a maior parte do trabalho vá ser feita

²⁷ Controle da manobra por modelo simulado de prático

²⁸ Computer Generated Image

com representação plana de visão, se possível algumas sessões devem sempre ser efetuadas empregando visão em perspectiva, pois a percepção de um canal, quando somente o balizamento está disponível para indicar seus limites, é muito diferente da visão plana e pode afetar o modo como o navio é manobrado.

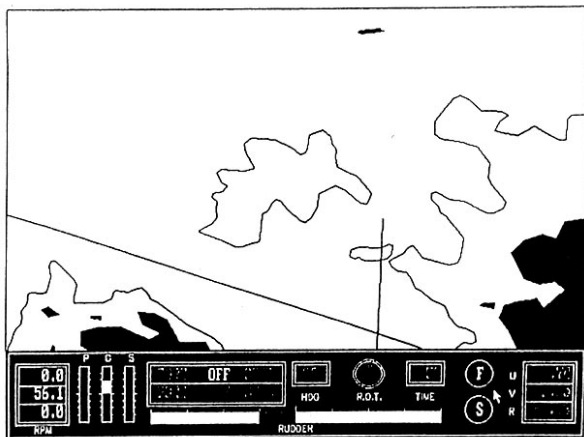


Figura 6.10 – Tela de Exibição Típica de Simulação em Tempo Rápido.

Finalmente, um aviso de precaução deve ser soado. A simulação rápida constitui uma valiosa ferramenta de projeto, mas deve sempre ser utilizada em combinação com discernimento e experiência. O operador humano percebe o movimento em simulação rápida de maneira diferente do movimento em tempo real, especialmente quando os movimentos em tempo real forem excepcionalmente vagarosos (como quando um navio tanque inicia seu giro), sendo a percepção apropriada deste movimento um dos problemas do prático. Assim, todo o trabalho de projeto com simulação rápida deve idealmente ser suplementado por simulação em tempo real (que será muito reduzida em seu âmbito de aplicação devido ao emprego anterior de métodos de simulação rápida) ou se isso não for possível, os resultados da simulação rápida devem ser criticados construtivamente por marítimos com experiência recente na área ou navio em questão.

6.5 PROFUNDIDADE DO CANAL

6.5.1 Introdução

A determinação da profundidade do canal e lâmina d'água abaixo da quilha foi considerada em detalhes em um relatório PIANC anterior (Ref. 5.1). Isto é de modo geral ainda relevante, mas em algumas áreas em especial foram feitos mais progressos. Esta parte do relatório compreende três seções principais, a primeira lidando com métodos para cálculo de *squat*, a segunda com lâmina d'água abaixo da quilha em ondas. A terceira trata da profundidade real disponível, especialmente quando o fundo do mar consiste de lama e não é portanto bem definido. Para auxiliar nesta

situação, são introduzidos e discutidos os conceitos de profundidade e fundo náuticos.

6.5.2 Squat

Squat é o efeito combinado de afundamento e trim devido à velocidade à vante do navio e foi introduzido na Seção 5.2.4. Métodos para sua computação em águas tranqüilas serão discutidos abaixo, com o objetivo de abastecer o projetista com métodos diretos. A atenção foi focada em fórmulas relativamente simples, mas deve-se ter em mente que previsões mais exatas para um dado navio podem ser feitas com o uso de modelos de computador desenvolvidos para *squat* tanto em águas tranqüilas como em ondas. A questão da lâmina d'água sob a quilha em ondas é discutida na Seção 6.5.3.

Um resumo completo dos métodos disponíveis é apresentado no Apêndice C, que inclui uma discussão do estado da arte e fornece exemplos. Desses cálculos, fica aparente que o emprego de fórmulas diferentes (porém apropriadas) pode fornecer valores com largas variações para *squat* (Apêndice C, Seção C3.3 e Figuras C8 a C10.)

Por esse motivo, somente três entre os métodos disponíveis são apresentados neste capítulo:

- Huuska/Guliev (ICORELS)
- Barrass II
- Eryuzlu e colaboradores.

As fórmulas recomendadas cobrem uma vasta gama de navios e hidrovias. As fórmulas de Barrass e Eryuzlu são validadas com medições em tamanho real, enquanto a fórmula Huuska/Guliev (ICORELS) já foi recomendada antes (ver Referência 5.4) e desse modo é comumente aceita.

No entanto, quando utilizando uma dessas fórmulas em um caso prático, deve-se ter em mente que todas elas devem generalizar o problema e a maioria foi desenvolvida para condições e limites particulares. Assim, experiência e discernimento são necessários para sua aplicação.

Nesses casos, quando o *squat* é relevante e se existem dúvidas sérias a respeito da aplicabilidade de uma fórmula em particular (Apêndice C, Capítulo C3) ou se a situação não for coberta por nenhum dos métodos publicados (Apêndice C, Capítulo C4) então pode ser necessária pesquisa adicional e específica.

6.5.2.1 Fatores que influenciam o Squat

A seguir, são fornecidos fatores qualitativos importantes com respeito a *squat*, de modo que as especificações do canal planejado possam ser comparadas com eles. Deve ser prestada atenção especial aos navios-projetos, às velocidades e manobras deles esperadas, bem como ao *lay out* do canal e às condições ambientais. Se um ou mais fatores se aplicarem, é aconselhável levar o *squat* em consideração.

Fatores relacionados ao Navio

- **navio-projeto**

A escolha do navio-projeto deve ser verificada nos casos em que o *squat* for importante. Por exemplo, um navio-projeto navegando a uma baixa velocidade de projeto pode ser menos crítico do que um navio rápido “parecido” com o navio-projeto (Ver Apêndice C, Capítulo C3).

- **velocidades operacionais do navio**

Abaixo de 6 nós e em profundidade suficiente, não existe geralmente *squat* significativo (valores geralmente inferiores a 30 cm).

Um indicador adequado é o número Froude de profundidade (ver Seção 5.2.4). Se este número for menor do que 0,3, não existirá *squat* significativo.

Acima de 6 nós, o *squat* aumenta rapidamente com o aumento da velocidade. (ver Apêndice C, Figuras C8 e C9)

- **formas do navio**

O *squat* é sensível à forma do navio. Isto pode influenciar na escolha do navio projeto. Deve-se tomar cuidado ao selecionar a equação apropriada. (ver Apêndice C, Tabela C3)

- **trim inicial**

O trim inicial influencia os valores de *squat* máximo e em alguns casos, sua localização (proa ou popa). Mesmo um pequeno trim pela vante pode aumentar o *squat* na proa. Para navios de alta velocidade com coeficientes de bloco menores que 0,7 em canais muito estreitos ou canais artificiais, o *squat* máximo ocorre na popa. (ver Apêndice C, Figura C7)

Fatores relacionados à Hidrovia e Outros

- **relação com a largura do canal**

Não existe correlação forte. Em geral, o *squat* reduz a lâmina d'água sob a quilha e, com tal efeito, influencia na manobrabilidade do navio. Os efeitos da largura nas manobras são discutidos na Seção 6.4.

Nesses casos, quando o navio é forçado a seguir um curso marcadamente excêntrico com relação ao eixo do canal, próximo à margem, ou em canais artificiais estreitos, a situação é complicada por efeitos de margem e eventualmente, se houver possibilidade de encalhe, também por um aumento na distância à margem, o que deixa menos largura para o tráfego de outros navios.

- **canais restritos**

Para relações profundidade/calado menores (diminuindo a lâmina d'água sob a quilha), o *squat* aumentará em fundos normais, sólidos. Este pode ser o caso com fundos de lama. (Apêndice C, Seção C4.4 e Seção 6.5.4.6 abaixo)

- **canais artificiais**

Navios navegando em um canal artificial provocam um refluxo considerável de água através da seção transversal submersa do canal. Isto provoca uma depressão no nível da água muito mais pronunciada do que navegando em um canal restrito ou em águas rasas irrestritas.

Fórmulas de *squat* para estes dois últimos tipos de vias navegáveis subestimarão consideravelmente o *squat* se empregadas em canais artificiais.

(Apêndice C, Seção C2.1.4 e Tabela C3)

- **proximidade de margens**

Passar a pouca distância de uma margem aumenta o *squat*.

(Apêndice C, Seção C4.2)

- **mudanças relativamente abruptas na profundidade (p.ex., acessos sobre sills²⁹ ou margens)**

Deve-se tomar cuidado devido ao comportamento dinâmico do navio.

(Apêndice C, Seção C4.3)

- **canais com fundos de lama**

Um fundo de lama geralmente diminui o *squat*. Uma exceção é o caso de um navio em velocidade que penetra em lama de baixa densidade, o qual pode experimentar um acréscimo no *squat*.

(Apêndice C, Seção C4.4 e Seção 6.5.4.6 abaixo)

- **outros tipos de tráfego**

Cruzar ou ultrapassar aumenta o *squat*.

(Apêndice C, Seção C4.1)

- **vento pelo través**

Em canais sujeitos a ventos pelo través, os navios podem ter que navegar com um grande ângulo de deriva, o que pode aumentar o *squat*.

(Apêndice C, Seção C4.5)

- **curvas**

Navios derivam quando navegando curvas no canal, o que pode aumentar o *squat*.

(Apêndice C, Seção C4.5)

6.5.2.2 Recomendações para a Estimativa de Squat

O emprego de métodos diferentes para o mesmo navio nas mesmas condições pode levar a variações significativas na predição de *squat*. Presentemente, os motivos para tais diferenças não estão claros, e portanto recomenda-se o seguinte:

- Em casos gerais, empregar expressões que resultem números médios de *squat*. Nessa categoria encontram-se os métodos de Huuska/Guliev (ICORELS), 1976, 1980) e Barrass II (1979) e para navios de formas cheias, o método de Eryuzlu e colaboradores (1994). (ver apêndice C para Referências)

- Selecionar um método mais ‘pessimista’ (Apêndice C, Capítulo C3) quando os riscos de tocar o fundo da hidrovia forem considerados altos (isto é, carga perigosa, estrutura do fundo).

- Se forem esperados problemas de efeito *squat* em condições particulares com um tipo específico de navio, recomenda-se testes com modelos.

- Recomenda-se que as estimativas de *squat* feitas durante o estágio de projeto sejam validadas por meio de observações em tamanho real. Tais

²⁹ Soleiras, cristas submersas que dividem bacias ou áreas do fundo do mar

avaliações posteriores podem levar a modificações no calado permitido ou a correções no programa de dragagem de manutenção.

- A maioria das fórmulas de *squat* é destinada a navios movendo-se em um curso reto, na linha central de um canal. Condições diferentes dessas podem levar a valores de *squat* maiores. Em tais condições, o efeito de aumento do *squat* pode ser amenizado pela adoção de velocidades menores ou aumentando-se a profundidade da água.

6.5.2.3 Cálculo de Squat

Todos os métodos a seguir são válidos para canais retos com fundos planos e velocidades subcríticas do navio (isto é, $F_{nh} < 1$).

O tipo de hidrovía e o coeficiente de bloco determinam a fórmula apropriada. Os limites de h/T e L/h devem ser respectivamente observados.

O *squat* resultante será maior na proa para todos os navios de formas cheias (isto é, com alto coeficiente de bloco) e para navios mercantes normais navegando em águas rasas irrestritas. Em navios de alta velocidade com coeficientes de bloco menores do que 0,7 em canais muito estreitos ou canais artificiais, o *squat* máximo deve ocorrer pela popa. O trim inicial influencia a localização do *squat* máximo.

Método I: Huuska/Guliev (ICORELS)

A equação calcula o afundamento da proa, s_b . Ela é válida para hidrovias irrestritas, canais restritos e canais artificiais, e já foi mencionada na Seção 5.2.4, Equação (2).

$$S_b = 2.4 \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{(1-F_{nh}^2)}} K_s \quad (8)$$

onde:

- ∇ volume de deslocamento do navio (m^3)
- L_{pp} comprimento do navio entre perpendiculares (m)
- F_{nh} Número Froude de profundidade (ver Seção 5.2.4 – Equação (1))
- K_s 7,45 $s_1 + 0,76$ para $s_1 > 0,03$
- K_s 1 para $s_1 \leq 0,03$
- s_1 (A_s / A_{ch}) K_1
- K_1 fator de correção (ver Apêndice C, Figura C6)
- A_s área da seção de meia nau $\approx 0,98 BT$
- A_{ch} área da seção transversal submersa do canal restrito/canal artificial com a inclinação das margens extrapolada à superfície da água (ver Apêndice C, Figura C3).

Esta equação não deve ser usada com números Froude de Profundidade superiores a 0,7.

No caso de navios de formas cheias com alto coeficiente de bloco, alguns autores recomendam outros valores para o coeficiente 2,4 conforme utilizado por Huuska. Eles propõem valores de coeficiente variando entre 1,75 e 2,4.

Método 2: Barrass II

Barrass analisou o resultado de *squat* de diferentes navios e testes com modelos com coeficientes de bloco de 0,5 a 0,9, tanto em condições de mar aberto como de canais restritos, para relações h/T variando de 1,1 a 1,5. Para águas sem restrições laterais (restrições de profundidade somente) a largura efetiva W_{eff} da hidrovía deve ser pelo menos

$$W_{eff} = [7,7 + 45 (1 - C_{WP})^2] B \quad (9)$$

Para um coeficiente de área de aquaplanagem C_{WP} de cerca de 0,9, teremos uma largura efetiva W_{eff} maior do que oito vezes a medida da boca do navio.

Barrass modificou e simplificou sua expressão anterior para

$$S_{max} = \frac{C_B S_z^2 V_k^{2.08}}{30} \quad (10)$$

Onde

- S_z coeficiente de bloco: A_s/A_w
- A_s área da seção de meia nau (m^2)
- A_w área da seção transversal submersa da hidrovía (m^2): $A_w = A_{ch} - A_s$
- A_{ch} área equivalente à seção transversal submersa do canal com inclinações extrapoladas à superfície da água (m^2)
- C_B coeficiente de bloco
- V_k velocidade do navio sobre a água (nós)

A faixa de validade da equação (10) é:

$$\begin{aligned} 0,5 &\leq C_B \leq 0,9 \\ 1,1 &\leq h/T \leq 1,5 \\ F_{nh} &\leq 0,7 \end{aligned}$$

Método 3: Eryuzlu e colaboradores

Eryuzlu e colaboradores fizeram experimentos através de testes com modelos de navios de carga geral e graneleiros com proa bulbosa ($CB \geq 0,8$, $L/B = 6,7 - 6,8$, $B/T = 24 - 2,9$) em águas irrestritas lateralmente e com profundidade restrita ($1,1 \leq h/T \leq 2,5$). O efeito da largura do canal no *squat* foi investigado em testes suplementares com modelos levados a efeito em um canal restrito (altura do trecho submerso dragado $hT = 0,5 h$, inclinação da margem 1 em 2).

Uma expressão empírica, válida para coeficientes de bloco $\geq 0,8$ e tanto para canais restritos como para canais artificiais, foi obtida e avaliada por meio de medições de *squat* em tamanho natural. Sua forma era como segue:

$$S_b = 0.298 \frac{h^2}{T} \left(\frac{V}{\sqrt{gt}} \right)^{2.289} \left(\frac{h}{T} \right)^{-2.972} K_b \quad (11)$$

- Onde h profundidade da água (m)
- T calado (m)
- V velocidade sobre a água (m/s)
- g aceleração da gravidade (m/s^2)
- e $K_b = 3,1/(wB)^{-1/2}$ quando $w/B < 9,61$

$$K_b = 1 \quad \text{quando } w/B \geq 9,61$$

onde w = largura do canal no fundo (m)

B = boca do navio (m).

6.5.2.4 Casos Especiais de Squat

Os efeitos especiais sobre o *squat* são abordados no Apêndice C, Capítulo C4.

Os efeitos considerados são:

- cruzamentos ou ultrapassagens de navios
- proximidade de margens
- configuração do fundo das hidrovias
- fundos de lama
- deriva e guinadas.

6.5.3 Lâmina d'água sob a Quilha em Ondas

Em um canal sujeito à ação de ondas, é importante assegurar que esteja disponível uma lâmina d'água adequada sob a quilha para acomodar os movimento do navios provocados pelas ondas. Os movimentos verticais de arfagem, caturro e balanço combinam todos com o *squat* para diminuir a lâmina d'água abaixo da quilha e desse modo aumentar o risco de alguma parte do navio tocar o fundo.

O projeto de um canal afetado por vagas requer:

- análise detalhada do espectro de ondas no local,
- a estimativa dos movimentos verticais do navio-projeto em resposta a diferentes ambientes de ondas,
- a determinação do movimento vertical máximo permitido ao navio-projeto durante o trânsito pelo canal,
- a formulação de critérios de segurança e regras de decisão para transitar no canal

6.5.3.1. Espectro de Onda

Os dados para a determinação do espectro de onda são acumulados pelos métodos descritos na Seção 6.2.3 e organizados através de programas apropriados de computador. O ângulo de incidência das ondas sobre as direções do navio é de crucial importância para todos os cálculos, uma vez que determinam o movimento de balanço.

6.5.3.2 Movimento Vertical do Navio-Projeto

Condições críticas e possíveis volumes de dragagem podem ser investigados tanto com modelos de computador como com modelos físicos.

O movimento vertical do navio é grandemente amortecido quando a lâmina d'água sob a quilha é pequena e a previsão acurada deste efeito é problemática. Técnicas têm sido desenvolvidas para estimar a resposta de navios à ação das ondas. Estão disponíveis modelos de computador que, baseados em teoria linear fornecem uma aproximação razoavelmente boa da resposta do navio na forma de curvas *Response Amplitude Operator*³⁰ (RAO) para um dado navio a uma

dada profundidade a uma dada velocidade. A técnica de RAO co-relaciona movimentos verticais com comprimento, período e direção de ondas e pode portanto ser empregada para estimar a lâmina d'água sob a quilha em condições variáveis. Deve-se deixar a devida margem para *squat*.

À falta de modelos de computador plenamente desenvolvidos, modelos físicos podem ser utilizados. Desde que suas dimensões em escala sejam adequadas, podem ajudar a prever movimentos em águas rasas com precisão razoável.

6.5.3.3 Movimento Vertical Máximo Permissível

Devido à sua natureza fortuita, as ondas e os movimentos do navio que delas resultam têm que ser tratados como um processo aleatório no qual a probabilidade de contacto com o fundo durante o trânsito deve ser mantida em um nível mínimo aceitável. Modelos de probabilidades podem ser empregados para calcular as possibilidades de tocar o fundo. As consequências de tocar o fundo devem ser cuidadosamente avaliadas, particularmente em grandes ondulações. Subseqüentemente a estes estudos, podem ser estabelecidos critérios de segurança em relação ao uso do canal. Investigações abrangentes deste tipo foram feitas no projeto do Euro-Channel para Rotterdam.

Existem diversos problemas que impedem a medição a bordo de maneira acurada do movimento vertical do navio. A chegada aleatória de navios adequados raramente coincide com o ambiente de ondas considerado como crítico, e o equipamento de bordo é freqüentemente considerado como estando abaixo dos padrões requeridos.

6.5.3.4 Critérios de Segurança e Regras de Decisão

Regras de decisão que incorporem os critérios de segurança acordados para utilização do canal são essenciais em condições extremas de clima. Estão disponíveis programas de computador que combinam dados das bóias *waverider*³¹ com o RAO de bordo e critérios de segurança acordados, para fazer uma previsão dos movimentos verticais do navio devido à ação das ondas e *squat*. A decisão de permitir ou não que o navio transite pelo canal pode então ser tomada.

6.5.4 Profundidade do Canal em Áreas de Lama

6.5.4.1 Motivação

Muitos canais de navegação têm fundos cobertos por lama fluida em suspensão, caracterizada por baixa densidade (1.050 – 1.300 kg/m³) e baixa resistência ao cisalhamento. Por vários motivos, fundo e profundidade não são definidos claramente em tais condições.

- Técnicas tradicionais de medição como linhas de prumo e eco sondas não são adequadas para determinar a profundidade em áreas de lama. Medições com eco sondas utilizando sinais acústicos de freqüências diferentes podem resultar

³⁰ Operador de Amplitude de Resposta

³¹ Bóias com sensores de movimentos e transmissor

em valores diferentes para profundidade, visto que sinais de alta frequência refletem na interface água-lama, ao passo que ondas de baixa frequência penetram no depósito de sedimento e resultam em um valor maior de profundidade.

- Para canais com fundo sólido, seleciona-se uma lâmina d'água mínima sob a quilha (*underkeel clearance* – UKC) para evitar contacto entre o navio em movimento e o fundo. Em áreas de lama, surge a questão se este mínimo, referente à interface água-lama, não pode ser reduzido. Embora a parte superior da camada de lama tenha uma densidade de algum modo superior à da água, suas propriedades reológicas são comparáveis às da água, de modo que o casco do navio não sofre avaria quando penetra essa interface. Pode-se considerar até a navegação com uma lâmina d'água negativa com referência a essa interface, o que implica que a quilha do navio está em contacto permanente com a lama. Por outro lado, a segurança da navegação requer que o práctico seja sempre capaz de compensar tais efeitos da lama no comportamento do navio por meio de seu próprio sistema de controle ou através de assistência externa (por exemplo, rebocadores).

Um equilíbrio aceitável entre a segurança da navegação e o custo de manutenção do canal somente poderá ser alcançado pela introdução de definições e métodos de verificação não convencionais, e requer conhecimento adicional sobre a resposta de navegação de navios em áreas de lama.

6.5.4.2 Enfoque de Fundo Náutico

O primeiro passo neste enfoque alternativo consiste em substituir termos como fundo e profundidade por conceitos mais apropriados como fundo náutico e profundidade náutica. Com efeito, dentro da zona compreendida entre a interface água-lama e o fundo “duro”, as propriedades físicas da lama (densidade, características reológicas) mudam gradualmente com o aumento da profundidade, de modo que uma definição de fundo deve estar relacionada com as circunstâncias. Por exemplo para fins de construção ou aplicações hidráulicas, o fundo será definido de modo diferente do que o seria do ponto de vista náutico. Desse modo, o fundo náutico poderia ser definido como:

o nível no qual as características físicas do fundo atingem um limite crítico além do qual o contacto com a quilha de um navio causaria dano ou efeitos inaceitáveis de controlabilidade e manobrabilidade.

Do mesmo modo, *profundidade náutica* pode ser definida como

A distância vertical instantânea e local entre o fundo náutico e a superfície de águas tranquilas.

A definição de fundo náutico acima mencionada está claramente incompleta, já que não existe especificação das características físicas nas quais o critério é baseado. Ainda, critérios estritos para comportamento “aceitável” do navio não estão disponíveis, e dependem da situação local.

Desse modo, de um ponto de vista práctico e operacional, a implementação do conceito de fundo náutico requer:

- um critério práctico, i.e., a seleção das características físicas da lama agindo como um parâmetro para o enfoque do fundo náutico e seu valor crítico;
- um método práctico de verificação para a confirmação contínua do nível aceito;
- um valor mínimo para a lâmina livre requerida sob a quilha com referência a esse fundo náutico, assegurando um risco mínimo de contacto com o referido fundo e um comportamento aceitável do navio;
- conhecimento sobre o comportamento do navio nessas situações; se necessário, medidas para compensar os efeitos adversos na controlabilidade e manobrabilidade.

Algumas observações pertinentes:

- As definições de fundo e profundidade náuticos substituem a formulação apresentada pelo Grupo de Trabalho nº 3a da PIANC em seu relatório (Ref. 5.2).
- Nessas definições, intencionalmente não foi feita referência a fundos de lama, de maneira que elas pudessem também ser aplicadas a configurações de fundos duros que estivessem sujeitos a incertezas a respeito do nível mínimo como no caso de um canal de fundo rochoso com grandes matacões, ou de fundo arenoso sujeito à formação de dunas submersas. Nestes casos, o dano causado pelo contacto entre o navio e o fundo náutico é mais realístico do que no caso de um fundo de lama, onde mais provavelmente as forças exercidas pelo contacto com a lama causariam problemas de controlabilidade e não de avarias.

6.5.4.3 Características da Lama

Em áreas de lama, a definição de fundo náutico mencionada na Seção 6.5.4.2 pode ser interpretada como o nível onde a lama fluida navegável termina e o fundo de mar não navegável começa. O parâmetro físico a ser selecionado como base para um método práctico de determinação deve estar relacionado às propriedades reológicas da lama, que caracterizam sua resistência ao fluxo, deformação e mudanças estruturais.

Um fluido Newtoniano (por .ex., a água) é caracterizado reologicamente de maneira completa por sua viscosidade dinâmica η somente, que é relação entre tensão de cisalhamento e variação da velocidade (ver Figura 6.11a e Apêndice D, Figura D1a). A reologia da lama é muito mais complexa e, para fins de engenharia, é freqüentemente simplificada por meio de um modelo de Bingham (ver Figura 6.11b e Apêndice D, Figura D1b), reologicamente determinado por:

- sua *viscosidade dinâmica* (diferencial) η ;

- sua *tensão de escoamento* ou *rigidez inicial* τ_y , que é a tensão de cisalhamento que deve ser superada para dar início ao fluxo do material.

Uma descrição mais correta, mas também mais complicada da reologia da lama é dada no Apêndice D, Figura D1c. É claro, no entanto, que uma definição prática de fundo náutico deve ser baseada em considerações de tensão de escoamento, já que este parâmetro indica se a lama deve ser considerada como um fluido ou um sólido.

Outra propriedade física importante que é mais fácil de definir e medir, é a *densidade da lama* ρ_2 , relacionada com a quantidade relativa de água e material sólido nela existente.

A tensão de escoamento aumenta com a densidade, mas também depende de muitos parâmetros físico-químicos (p.ex., conteúdo de areia, espectro do diâmetro das partículas, mineralogia do barro, percentagem de material orgânico, química da água), da técnica de medição e até da história (reológica) (ver Apêndice D). Se todos estes parâmetros forem dados, pode ser determinado um relacionamento empírico entre tensão de escoamento e densidade. De acordo com a faixa de densidade, pode ser feita distinção entre lama *fluida* e *plástica* (Apêndice D, Figura D2):

- a baixa densidade, a lama é uma suspensão solta similar à água, com viscosidade e tensão de escoamento que não dependem, ou dependem apenas ligeiramente, da densidade (lama fluida);
- lama com densidade mais alta é um depósito de sedimento com propriedades reológicas bem mensuráveis, que dependem muito da densidade (lama plástica).

Esta mudança no comportamento estrutural é chamada *transição reológica*.

Perfis reológicos típicos e de densidade em depósitos de lama solta são mostrados no Apêndice D, Figura D3. A densidade parece aumentar mais ou menos gradualmente com a profundidade. A curva inicial de rigidez, por outro lado, mostra claramente o nível de transição reológica.

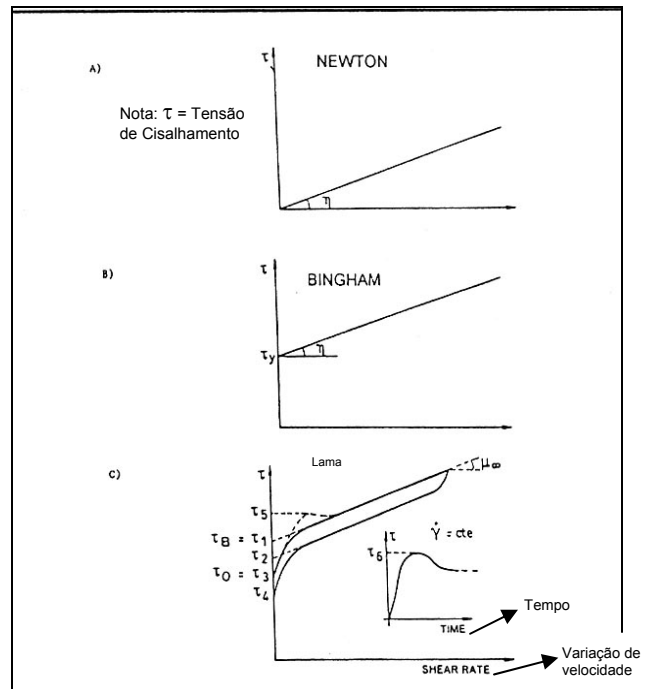


Figura 6.11 – Características de Cisalhamento de Fluidos e Lamas.

6.5.4.4 Critérios para Determinação de Fundo Náutico

Emprego de Eco-sonda

O emprego de eco-sonda com frequências diferentes fornece uma indicação qualitativa muito útil sobre a existência ou não de uma camada de lama fluida. Níveis altos de frequência (100-210 kHz) indicam a interface água-lama, ao passo que sinais de baixa frequência (15-33 kHz) penetram na camada de lama (Apêndice D, Figura D4) e são normalmente refletidos pelo fundo bem consolidado ou fundo duro.

Em alguns locais, no entanto, é encontrada uma razoável relação entre o eco de baixa frequência e um parâmetro físico de lama. O eco a 33 kHz, por exemplo, geralmente corresponde ao nível de densidade de 1.150 kg/m³ no estuário de Loire, e serve como definição de fundo náutico em Antuérpia (Apêndice D, Referências D11 e & D12).

A aplicabilidade de tal critério não pode ser generalizada, e deve ser examinada para cada localidade; podem também ocorrer flutuações sazonais e até de marés. A reflexão de sinais acústicos de baixa frequência na lama parece depender de muitos parâmetros (bolhas de gás, horizontes arenosos, gradientes de densidade, etc.). Ainda, uma vez que as ondas de baixas frequências refletem em diversos níveis, elas nem sempre resultam em um sinal inequívoco (ver Apêndice D, Figura D5 e Referências D8, D9 & D10).

Critérios Relacionados à Reologia

Efeitos inaceitáveis sobre a controlabilidade e manobrabilidade devido ao contacto com o fundo náutico são causados por forças adicionais exercidas por

interação entre o navio e a camada de lama. Como a magnitude de tais forças está relacionada com a reologia da lama, fica claro que a definição teórica de fundo náutico deveria ser baseada nas propriedades reológicas da camada de lama. De fato, este é o caso em praticamente todas as hidrovias onde é aplicado o enfoque de fundo náutico.

Infelizmente, as medições reológicas in loco hoje em dia somente podem ser efetuadas por meio de instrumentos de medição estáticos ao invés de contínuos. Como consequência, não é possível basear uma determinação prática de fundo náutico em um parâmetro reológico e desse modo, deve ser feito um desvio através de um parâmetro mais fácil de medir (por ex., densidade, ver Seção 6.5.4.3).

Por muitos motivos, não é viável definir um valor de tensão de escoamento absolutamente crítico (ver Apêndice D). Por outro lado, uma definição teórica do fundo náutico baseada na transição reológica oferece várias vantagens práticas:

- Esse nível corresponde a uma tensão de escoamento muito baixa ($< 10 \text{ N/m}^2$) e pode, portanto, ser considerado como seguro.
- Uma vez que as propriedades reológicas aumentam muito rapidamente com a profundidade próximo ao nível de transição, pode-se esperar que um aumento substancial na profundidade leve a valores inaceitáveis de tensão de escoamento, de maneira que esse nível pode ser considerado como sendo econômico.

Por esses motivos, muitos procedimentos operacionais para determinar o fundo náutico são na verdade baseados no nível de transição reológico, embora, devido a considerações práticas, a determinação seja baseada em medições de densidade.

Crítérios Baseados em um Nível de Densidade da Lama

Como hoje em dia estão disponíveis muitos sistemas de verificação para medição contínua de densidade de sedimentos, a maioria dos procedimentos operacionais para determinar o fundo náutico é baseada em um valor para a densidade aceitável da lama (ver Tabela 6.1).

No entanto, o valor crítico de densidade da lama depende da localidade, uma vez que as propriedades reológicas não são puras funções da densidade. Consequentemente, a escolha de um nível crítico de densidade baseia-se em considerações sobre as propriedades reológicas da lama local. Isto leva a algumas desvantagens:

- a densidade crítica que define o fundo náutico depende do local, assim não é possível estabelecer um valor universal;
- em um dado local, as características da lama podem ser variáveis (i.e., efeito das estações), de modo que a densidade crítica deve sempre ser adaptada;

- por razões práticas, adaptações repetidas não são desejáveis, de modo que uma densidade crítica fixa de valor mais baixo tem que ser selecionada.

A Tabela 6.1 fornece um resumo de critérios práticos de determinação de fundo náutico aplicados em vários canais de acesso. Mais detalhes são fornecidos no Apêndice D.

Tabela 6.1

Porto	Critério para fundo náutico Nível de densidade (kg/m^3)
Bordeaux (França)	1.200
Cayenne (Guiana Francesa)	1.270
Emden (Alemanha)	1.220-1.240
Maracaibo (Venezuela)	1.200
Nantes - Saint Nazaire (França)	1.200
Rotterdam (Holanda)	1.200
Zeebrugge (Bélgica)	1.150

6.5.4.5 Comportamento de Navios em Áreas de fundo de Lama

Introdução

Nesta seção, será feita uma breve revisão dos dados disponíveis sobre controlabilidade e manobrabilidade do navio. Maiores detalhes são fornecidos no Apêndice D e nas publicações mencionadas na lista de referência.

Ondulações na Interface ('Ondas Internas')

O efeito de camadas de lama fluida no comportamento do navio depende principalmente da deformação na interface causada pelo campo de pressão à volta do casco que se move. Estes movimentos verticais de interface ou ondulações internas (ou, de maneira menos correta, "ondas internas") têm os seguintes efeitos na velocidade do navio (ver Apêndice D, Figura D10):

- A velocidades muito baixas, a interface permanece praticamente intocada (primeira faixa de velocidade).
- A velocidades intermediárias, observa-se um afundamento da interface na entrada do navio³², que em uma certa seção transforma-se em elevação. O salto hidráulico interno se move em direção à popa com velocidade crescente (segunda faixa de velocidade).
- Em velocidades mais altas, o salto na interface ocorre atrás da popa (terceira faixa de velocidade).

As ondulações na interface a baixas velocidades parecem estar localizadas nas proximidades do navio; a altas velocidades, a influência se estende por distâncias maiores. A altura do salto interno, que pode ser um múltiplo da espessura da camada de lama, depende da densidade e da espessura dessa camada, bem como da lâmina livre abaixo da quilha.

³² Parte da proa abaixo da linha d'água (entrada da linha d'água)

Em geral, o efeito no comportamento do navio é mais importante na segunda faixa de velocidade e menos importante na terceira. Uma estimativa da velocidade de transição entre a segunda e a terceira faixas de velocidade pode ser feita por meio do Apêndice D, Figura D14.

Propulsão e Resistência

O efeito de ondulações na interface sobre as propriedades de propulsão de um navio está claramente ilustrado pelo relacionamento entre velocidade à vante (v) e o número de revoluções do hélice (n). O efeito parece estar situado principalmente na segunda faixa de velocidade na qual um dado RPM resulta em uma velocidade substancialmente mais baixa quando comparada com uma situação de fundo sólido. A transição entre a segunda e a terceira faixas de velocidades é suavizada quando a lâmina livre abaixo da quilha decresce.

Não está inteiramente claro se a forma da curva $V(n)$ é influenciada pelo aumento da resistência (resistência da onda interna, resistência de fricção adicional). À exceção das situações de lâminas d'água negativas maiores sob a quilha, não existem indicações de aumento na resistência devido à presença de camadas de lama ou ondulações de interface. O contacto entre a quilha do navio e a camada de lama também não aumenta automaticamente a resistência. Na segunda faixa de velocidade, o contacto com a interface que sobe até diminui a resistência, devido à velocidade do navio em relação à água e à lama.

Por outro lado, o contacto com a interface que se levanta na segunda faixa de velocidade parece resultar em uma eficiência muito baixa de propulsão, devido à obstrução do fluxo para o hélice.

Manobrabilidade

Uma camada de lama parece afetar o comportamento dinâmico como segue:

- Um navio se torna mais lerdo se a lâmina d'água abaixo da quilha for reduzida, até que esta seja de 3 a 5% do calado. Reduções abaixo desses valores fazem o navio ficar menos lerdo em suas manobras.
- A presença de lama parece ter um efeito maior em manobras a baixa velocidade (3 nós) e um efeito menor a altas velocidades (até 7 nós).
- A presença de lama no fundo tende geralmente a tornar mais lentos os movimentos estáveis (velocidade à vante, deriva e velocidade de guinada são menores) e acelerar os movimentos dinâmicos (*overshoot*³³ em testes de zigzague é menor).

A ação do leme é afetada de diversos modos devido à presença de lama fluida:

- A força induzida pela ação do leme aumenta; seu ponto de aplicação, no entanto, não se situa nas

proximidades da perpendicular de ré, mas muda para uma posição mais à vante, o que provoca uma situação menos estável.

- A ângulos de leme menores, as forças e momentos induzidos por um ângulo de leme apontam algumas vezes na direção errada. Tal instabilidade de ação do leme parece ocorrer se a quilha estiver em contacto com a água e com a lama, especialmente se a zona de contacto estiver localizada próximo à popa.

Deve-se prestar especial atenção ao comportamento de um navio navegando com a quilha em contacto com uma camada plástica de lama consolidada. O navio algumas vezes fica incontrolável e é forçado a seguir o caminho "mais fácil"; ao mesmo tempo, é praticamente impossível diminuir sua velocidade, embora esta seja de apenas de 1 ou 2 nós. Tais fenômenos foram observados durante testes em tamanho real, e foram confirmados independentemente por várias testemunhas (práticos, tripulações de embarcações de águas interiores).

6.5.4.6 Recomendações para Profundidade do Canal em Áreas de Fundo de Lama

Introdução do Conceito de Fundo Náutico

O conceito de fundo náutico pode ser introduzido em hidrovias onde sondagens de ecos de alta e baixa frequências produzem resultados significativamente diferentes; isso pode ser realizado em três etapas. Todos os procedimentos operacionais mencionados na Seção 6.5.4.4. podem ser incorporados à segunda etapa.

- Com base em medições efetuadas com medidores estáticos de densidade, pode ser estabelecida uma primeira aproximação para o fundo náutico, deslocando-se para baixo o nível correspondente à interface água-lama (eco de alta frequência) por uma distância estabelecida de, digamos, 0,3 metro.
- Um rebaixamento adicional do fundo náutico a um nível correspondente a uma densidade crítica requer:
 - a) investigações reológicas periódicas, que resultem em uma densidade crítica "segura";
 - b) sistemas de verificação que permitam a medição contínua dessa densidade (medidores de densidade rebocados).
- Pode-se conseguir uma terceira determinação do nível de fundo náutico a um nível correspondente a uma transição reológica, que pode ser determinada pelo emprego de técnicas reométricas inovadoras.

Dimensões do Canal

De acordo com o conhecimento atual sobre comportamento do navio em áreas de fundo de lama, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- Em seções retas de canal, a largura não necessita ser aumentada devido à presença de lama fluida, uma vez que a largura da faixa de trajetória e o

³³ Ir além do ponto que se pode, deve, espera ou pretende.

overshoot durante testes de ziguezague se tornam menores quando a lama cobre o fundo sólido. No entanto, a validade desta conclusão a baixas velocidades (segunda faixa de velocidade) deve ser examinada, uma vez que existem fortes indícios de uma marcante influência sobre controlabilidade e manobrabilidade.

- Afundamento e trim são geralmente menores do que em condições de fundo sólido; assim não é necessário deixar lâmina livre adicional sob a quilha com relação ao fundo náutico. Exceção deve ser feita para canais utilizados por navios a velocidades de 8 nós ou acima, se o fundo for coberto com lama de baixo gradiente de concentração (espessura da camada fluida de lama / profundidade da água > 0,15) e se os navios tiverem uma lâmina d'água negativa com referência à interface água-fluído (eco de alta frequência).
- Como sua velocidade de guinada diminui sobre uma camada de lama, o comportamento de um navio durante mudanças de curso pode ser influenciado adversamente. Em curvas, são necessários ângulos de leme maiores, combinados eventualmente com aumento de RPM e/ou assistência de rebocadores, especialmente em lâminas d'água pequenas e positivas com referência à interface.
- Em áreas onde os navios devam tocar camadas plásticas de lama consolidada, recomenda-se a assistência de rebocadores, ou que sejam providenciadas margens de lâmina d'água sob a quilha suficientes para evitar contacto com o fundo.
- A distância de parada poderia possivelmente ser influenciada por mudanças na eficiência da propulsão a baixa velocidade (segunda faixa de velocidade); isto, no entanto, está sujeito a pesquisas adicionais.

6.6 ÁREAS DE ATRACAÇÃO E GIRO

6.6.1 Emprego de Simulação

É talvez na área de atracação que o modelo de simulação rápida e visão plana mostra sua utilidade. Em simuladores de manobras em tempo real *full mission*, os campos vertical e horizontal de visão podem ser limitados, de modo que não seja possível observar os importantes últimos segundos que precedem o contacto com as defensas. Eles podem ser observados empregando-se os gráficos de visão plana na simulação rápida.

Todas as simulações devem ser capazes de reproduzir os vários tipos de manobras de atracação e desatracação comumente empregados, com ou sem rebocadores, que incluem:

- aproximar-se ou afastar-se do cais paralelamente,
- girar e sair,
- aproximar-se em paralelo e girar.
- deriva lateral em correntes fortes,
- técnicas de dois hélices,

- emprego de cabos de amarração.

As manobras podem ser efetuadas sob todas as condições a fim de buscar os limites, e as atracações devem ir até o ponto de impacto com as defensas. As velocidades de impacto (linear e de rotação) podem ser facilmente obtidas do arquivo de resultados de simulação e, após um número de sessões, podem ser providenciados histogramas de velocidades de impacto para o projeto de defensas. Quaisquer limites de tais velocidades para os berços existentes devem naturalmente ser levados em consideração.

A Figura 6.12 mostra uma manobra de parar e aproximar-se em paralelo, efetuada empregando a Simulação Rápida, enquanto a Figura 6.13 mostra uma saída na qual uma manobra "girar e sair" foi empregada.

6.6.2 Alinhamento do Berço

Os limites operacionais estão geralmente estabelecidos e as atracações devem ser efetuadas dentro de tais limites. Se não for possível, pode ser necessário mudar o alinhamento do berço, ou providenciar rebocadores maiores. O alinhamento do berço pode ser estabelecido com outro critério em mente, como o movimento do navio sobre vagas enquanto carrega ou descarrega, mas os problemas de quem o manobra não devem ser negligenciados.

Idealmente, para a atracação e amarração seguras, o berço deve ser alinhado dentro de cerca de 30° do vento prevalecente, enquanto as correntes alinhadas com o berço não devem exceder a 3 nós e as perpendiculares ao berço não devem exceder a 0,75 nó (ver Referência 6.11).

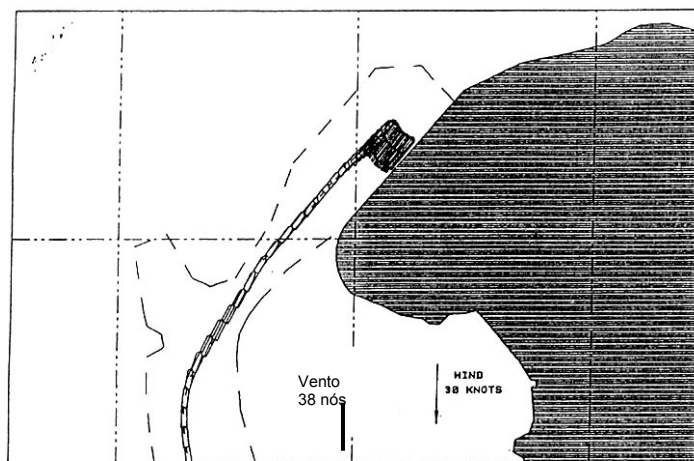
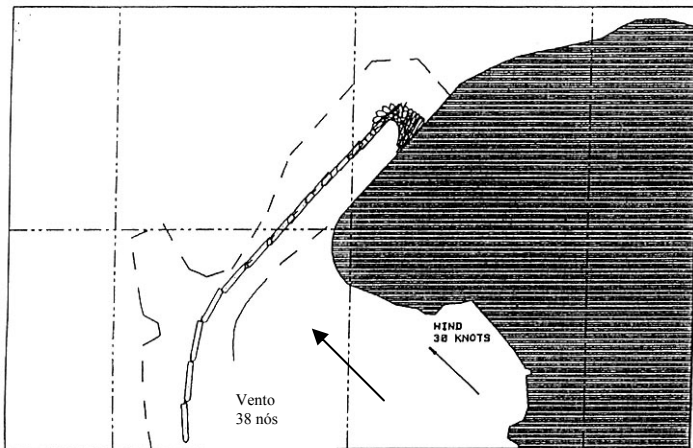


Figura 6.12 – Parando e Atracando



Navio de 140.000 TPB Carregado

Figura 6.13 – Girando e Desatracando

6.6.3 Dimensionamento e Número de Rebocadores

A simulação de rebocadores geralmente permite que o operador aplique vetores de força de reboque que, em combinação com a máquina e leme do próprio navio, são empregados para atracá-lo.

Deve-se tomar cuidado com as simulações que não consideram adequadamente os hiatos de tempo normais na aplicação dos vetores de força de reboque. Rebocadores não podem mudar a magnitude e direção da força de reboque instantaneamente e a força desenvolvida por eles nem sempre corresponderá a seu *bollard pull* nominal. Suas forças de reboque mudarão ao passo que a velocidade sobre a água mudar e isso deve ser levado em consideração. Também devem ser deixadas margens para o tipo de rebocador, visto que este poderá ter a resposta e a manobrabilidade mais rápidas do tipo trator oceânico ou trator reverso ou, menos comumente, ter as capacidades mais limitadas do tipo convencional com hélice e leme à ré.

Alguns modelos de simulação de manobras podem considerar o comportamento dos rebocadores por terem um modelo de rebocador incorporado à sua estrutura, mas para aqueles que não têm, os tempos típicos e limites para um rebocador de porto são como segue:

Limite de velocidade máxima para pegar cabos e prestar assistência	6 nós
Tempo para amarrar	8 minutos
Tempo para largar o cabo	30 segundos
Tempo para aplicar toda força a partir do cabo teso*	2 minutos
Tempo para mudar o vetor de força em 45°*	45 segundos

Nota: os itens marcados * são para rebocadores convencionais; para rebocadores do tipo trator ou trator reverso, os tempos são medidos em segundos, se os rebocadores estiverem dispostos no modo 'empurrar' com cabo curto.

O emprego de simulação permite que se determine a magnitude das forças de reboque (e o número de rebocadores) para girar, atracar ou desatracar um navio em várias condições a serem determinadas. Será necessária alguma interpretação para transformar forças de reboque em dimensões de rebocadores (medidas por força de tração estática ou potência), porém geralmente existem informações adequadas disponíveis para determinar as necessidades de rebocadores. Tais informações podem ser utilizadas diretamente ou comparadas com as exigências existentes no porto.

Ao final deste exercício, o alinhamento do berço ou os limites operacionais podem ter que ser mudados se a necessidade de rebocadores ficar além de sua disponibilidade atual ou da capacidade comercial de adquirir rebocadores adicionais ou mais potentes.

Considerações adicionais são necessárias quando muitas operações de atracação e desatracação tiverem que ser efetuadas ao mesmo tempo em um porto movimentado.

Estas advêm da simples questão: quantos rebocadores são necessários para atender sem atrasos às operações portuárias propostas? Rebocadores em número muito pequeno farão com que atrasos se acumulem rapidamente e atinjam níveis inaceitáveis; em número muito grande, farão com que os rebocadores sejam subutilizados e desperdicem tempo e dinheiro.

A simulação é também empregada para o estudo deste aspecto, desde que estejam disponíveis dados básicos sobre:

- frequência de chegada dos navios
- tempo de estadia dos navios
- tempos de aproximação em paralelo, giro e amarração
- número de berços.

Usualmente, é introduzida uma certa fortuidade nos tempos de chegada e estadia dos navios e os rebocadores devem ser empregados supondo-se que exista tanto uma quantidade inesgotável como um número limitado deles. Os rebocadores devem ser alocados aos navios em bases "primeiro a chegar, primeiro a ser atendido", sendo o número e tipo de rebocadores para cada tipo de navio determinados por simulação de manobra.

Ao final da simulação, que pode ser rodada para representar um período de poucas horas ou de vários dias, são preparadas estatísticas a respeito do emprego de rebocadores e dos berços de atracação que permitem que se possa decidir entre atrasos e número de rebocadores (e conseqüentes custos).

6.6.4 Projeto de Área de Giro

Após seções suficientes terem sido rodadas sob todas as condições de vento, corrente, tipos e dimensões de navios, pode ser traçada uma curva de variação ao redor dos extremos das trajetórias para determinar a área de giro necessária (ver Figura 6.14). A área definitiva pode então ser projetada (ou modificada), levando-se em

consideração os aspectos próprios da engenharia civil tais como estabilidade e inclinação das margens, tipo de fundo e custos de dragagem inicial e de manutenção.

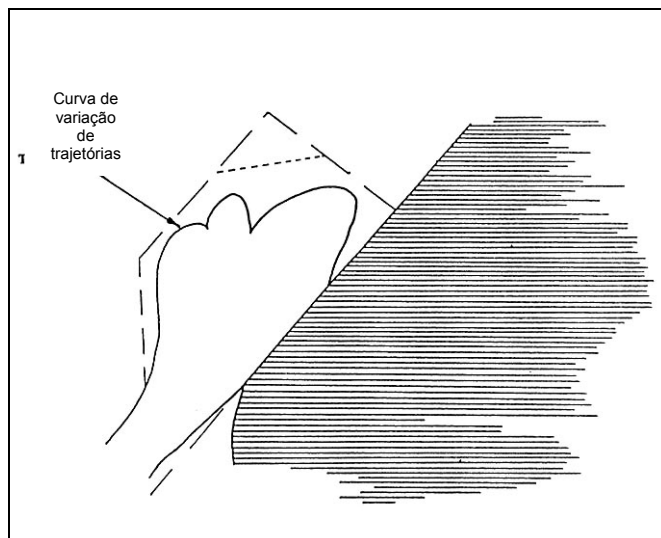


Figura 6.14 – Curva de Variação das Trajetórias para Definir a Área de Giro

Deve-se também levar em conta a necessidade de passar por navios atracados cujas amarrações podem sofrer pressões como resultado da interação navio-navio (Referência 6.12). Este aspecto pode também ser verificado com o emprego de simulação.

6.7 LIMITES OPERACIONAIS

Limites operacionais estão relacionados aos conceitos de risco e segurança marítimos. Os critérios pelos quais são estabelecidos os níveis de risco e segurança são empregados também para fixar os limites operacionais. Uma vez conhecidos, simulações rápidas ou em tempo real logo determinarão se foram excedidos ou não.

A questão reside em definir os critérios e são fornecidas algumas sugestões na Seção 7.6. Existem, no entanto, alguns critérios que devem ser observados, os quais não advém somente de considerações de segurança, mas que devem, no entanto, ser observados e determinarão quando as operações devem cessar ou ser modificadas.

Alguns deles serão considerados agora.

6.7.1 Operação de Rebocadores e Botes de Amarração

Limite de altura significativa de ondas para operação de rebocadores portuários 1,5m

Limite de altura significativa de ondas para a operação de botes de amarração: 1,0m

Em algumas partes do mundo, navios têm que atracar em condições de grande ondulação. Isto não é usual e

em tais casos, geralmente são necessários rebocadores especialmente projetados.

6.7.2 Embarque do Prático

Nas regiões onde o transporte do prático é feito através de lancha, devem ser estabelecidas condições de tempo (climáticas) limites para seu embarque. Estas serão estabelecidas com relação às dimensões do navio e às condições prevalentes no momento.

6.7.3 Velocidade de Impacto nas Defensas

Defensas são projetadas para absorver uma energia cinética específica. Desse modo, conhecendo-se a massa virtual do navio, pode-se deduzir uma velocidade de impacto permissível (ver Referência 6.13).

Na Tabela 6.2 são fornecidos valores típicos.

Tabela 6.2

Navio (TPB)	Velocidade de Impacto (m/seg)	
	Berço Exposto	Berço Protegido
≤ 10.000	0,40	0,30
30.000	0,20	0,15
250.000	0,15	0,10

6.7.4 Movimentos à Ré

É difícil, se não impossível, manobrar a maioria dos navios de um só hélice com seguimento à ré por trechos longos. Por esse motivo, o projetista deve evitar situações que obriguem navios de um hélice a manobrar à ré por distâncias que excedam cerca de uma ou duas vezes seu comprimento.

Navios de dois hélices, especialmente aqueles com hélice de passo variável, são melhor equipados para manobrar à ré e o projeto da hidrovia não teria que ser tão restritivo.

6.7.5 Movimentos de Navios Amarrados

Devido às técnicas empregadas em seu carregamento/descarga, navios amarrados a certos berços estarão restritos em seus movimentos transientes admissíveis. Exemplos disto ocorrem em terminais de petróleo e berços para containers; nos primeiros, os braços de carregamento/descarga exigirão movimentos limitados, ao passo que nos últimos, os guindastes para containers e guias demandarão movimentos restritos enquanto carregando/descarregando containers.

Esses limites operacionais ajudarão a definir velocidade e distância para os navios em trânsito de modo que os efeitos de interação não façam com que o navio se mova além do limite de movimentos prescrito.

Limites típicos, tirados das Referências 6.11 e 6.14 são:

Petroleiros: atracados:

<i>surge</i> ³⁴	± 3 metros
<i>sway</i> ³⁵	± 3 metros

Navios de containers atracados:

<i>surge</i> :	± 1,0 a 2,0 metros
<i>sway</i> :	0,6 a 1,2 metros
guinada:	± 1° a 1,5°
arfagem:	± 0,8 a 1,2 metros
trim/caturro:	± 1° a 2°
adernamento/balanço:	± 3° a 6°

Navios Ro-Ro atracados:

arfagem na rampa:	± 0,4 a 0,8 metro
<i>surge</i> na rampa:	± 0,1 a 0,8 metro
<i>sway</i> na rampa:	± 0,6 metro
balanço na rampa:	± 1 a 4°

Mais informações serão fornecidas na Referência 6.1.4.

³⁴ Deslocamento longitudinal devido à ação das ondas

³⁵ Deslocamento lateral (afastamento e aproximação do cais) devido à ação das ondas

7 RISCO MARÍTIMO E SEGURANÇA DA OPERAÇÃO

7.1 INTRODUÇÃO AO RISCO MARÍTIMO

7.1.1 Risco Marítimo

O conceito de risco no mundo marítimo está ligado à frequência de acidentes e suas consequências. Com respeito à segurança da vida no mar por exemplo, as consequências de um acidente serão medidas pelo número de vítimas e o risco à vida será dado por

$$\text{Risco} = f_a \cdot N_c \quad (12)$$

onde f_a é a frequência de um acidente
 N_c é o número de vítimas.

Em um porto e seus acessos, a consequência de um acidente poderá não ser a perda de vidas, mas sérios danos ao meio ambiente ou perda de receita pelo porto. Danos ao meio ambiente têm merecido preocupação crescente e o impacto ambiental em potencial de qualquer expansão portuária é hoje em dia cuidadosamente examinado. Perda de receita pode advir de o canal de acesso ao porto vir a ser bloqueado como resultado de um acidente, desse modo impedindo em parte ou totalmente o tráfego marítimo.

Em tais casos, a consequência do acidente não será medida pelo número de vidas humanas perdidas, mas por outras medidas, tanto do dano ao meio ambiente como da perda de receita. Assim, a equação para risco marítimo torna-se:

$$\text{Risco} = f_a \cdot M_c \quad (13)$$

Onde M_c é uma medida da consequência do acidente.

Quando a vida no mar está em risco, N_c é minimizado pelo projeto do navio, pelo equipamento salva-vidas de bordo e pelos recursos de busca e salvamento (SAR- *Search and Rescue*) à mão. Quando o meio ambiente está em risco, as consequências podem ser minimizadas pelo projeto cuidadoso do navio (por exemplo, navios tanques com casco duplo) e através do suprimento de recursos para reação rápida e contenção.

Quando as consequências de um acidente puderem vir a resultar no bloqueio de um canal de acesso, sua largura deve ser cuidadosamente considerada e deve-se cogitar sobre rebocadores em atenção, rebocadores escoteiros, regras de operação e afins.

Enquanto a consequência de um acidente pode ser suscetível ao projeto do navio e sua operação, a

frequência f_a nas Equações (12) e (13) é também relacionada parcialmente com o projeto do navio e com sua operação. Desse modo, um navio mal projetado pode ser mais propenso a acidentes, assim como também o será um navio mal operado. Em projetos de canais de acesso, é normal que se dê especial atenção aos componentes operacionais de f_a e que se assegure que estes não dêem margem a valores inaceitavelmente altos para f_a . Presume-se, portanto, que pouco se pode fazer para mudar a relação entre f_a e os projetos dos navios, uma vez que a maioria dos portos tem que aceitar navios (e seus projetos) de muitas partes do mundo. Ocasionalmente, torna-se possível projetar um navio especificamente para operação exclusiva em um dado canal de acesso e, em tais casos, pode-se vislumbrar algum controle sobre f_a .

O parâmetro f_a é especificado geralmente como 'índice de acidentes' ou 'índice de incidentes' e deve ser expresso como uma probabilidade, da seguinte maneira:

Índice de acidentes = x em 10^6 encontros
ou = x em 10^3 movimentos de navegação

onde x é o número de acidentes. Acidentes com navios são classificados sob diversos títulos. Os de maior interesse para o projetista de canais de acesso portuário são:

- abalroamento
- toque no fundo
- encalhe
- colisão
- choque

Todos têm definição precisa (ver Glossário, Capítulo 11) e devem ser considerados como eventos associados à navegação ou a manobras de navios e, como tal, serão influenciados pelo projeto do canal.

É usual em assuntos de projetos de canais de acesso tentar reduzir f_a nas Equações (12) e (13). Existem exceções naturalmente quando as consequências de qualquer acidente forem tão potencialmente danosas que lhes deva ser atribuído peso igual no processo de projeto do canal. No entanto, serão geralmente concentrados esforços no sentido de manter o índice de acidentes em potencial f_a em um nível aceitável.

7.1.2 Estimativa de Risco Marítimo

Na Referência 7.1 a estimativa de risco marítimo é descrita como segue:

"Estimativas de risco são geralmente de dois tipos básicos: direcionadas ao passado e direcionadas ao futuro. Estimativas direcionadas ao passado são baseadas no número de acidentes que ocorreram em uma situação em particular, e se houve muitos, existirá um grau satisfatório de confiança que o risco tenha sido estimado com exatidão. Estimativas para o futuro têm que ser feitas quando existirem tão poucos acidentes reais

que não seja viável elaborar estimativas direcionadas ao passado: elas são baseadas em uma análise da situação em uma sequência de eventos, conhecendo-se a probabilidade de cada um pela comparação com dados obtidos de outras situações. Embora esses dados devam ser por si só ser confiáveis, a estimativa final de risco dependerá da comparabilidade das situações e também de que a sequência de eventos tenha sido corretamente identificada".

Esta descrição mostra como os riscos devem ser tratados nos portos. Em portos onde exista um registro abrangente de acidentes, o risco marítimo existente pode ser estimado empregando-se estimativas baseadas em dados passados; se não houver um banco de dados adequado, então dados comparativos de outro lugar (outro porto, talvez) têm que ser encontrados e adaptados para emprego no porto em questão.

Em cada caso, a incidência (ou probabilidades) de acidentes é determinada para cada uma das categorias de acidentes e para quaisquer outros que sejam relevantes. O risco marítimo global é então a soma desses riscos individuais e independentes:

$$r_o = r_c + r_g + r_s + r_i + r_{st} \quad (14)$$

onde:

r_o = risco marítimo global
 r_c = risco de abalroamento
 r_g = risco de tocar o fundo
 r_s = risco de encalhe
 r_i = risco de colisão
 r_{st} = risco de choque

Esses números são estimados com base em frequência constante ou em probabilidades, que podem ser relacionadas ao tempo, por exemplo:

Incidentes por ano

ou ao número total de movimentos ou trânsitos, por exemplo:

Incidentes por 1.000 trânsitos

ou medições similares convenientes.

O risco, ou mudanças no risco devido a desenvolvimentos no projeto, podem ser avaliados através de modelos de computador. Neste caso, simulações *event-driven*³³ podem estimar o número de encontros entre navios em um dado ambiente de tráfego (gerado pelo projeto do canal de acesso, talvez), sendo que estes, por sua vez, devem ser relacionados a riscos de colisão, um dos elementos da Equação (13). Tais modelos de computador ou Planejadores de Tráfego são descritos na Seção 7.4 abaixo e podem ser utilizados em um porto movimentado, desde que estejam disponíveis bancos de dados

apropriados para desenvolver e regular o modelo. A coleta desses dados é discutida na Seção 7.3.

Existem uma ou duas expressões semi-empíricas que fornecem diretamente a frequência de incidentes. Solem (Referência 7.2) sugeriu um método para relacionar frequência de toques no fundo f_g às dimensões do canal. A partir da experiência em um número de acessos portuários, a seguinte relação foi desenvolvida:

$$f_g = K \cdot L_c / w \text{ por trânsito} \quad (15)$$

onde K é uma constante, com o valor de 10^{-5} por trânsito
 L_c é o comprimento do canal
 w é a largura do canal.

Essa expressão é uma declaração de que a ocorrência de um encalhe é mais provável em um canal longo e menos provável em um canal largo.

Uma expressão similar pode ser desenvolvida para a frequência de choques f_{st} , onde:

$$f_{st} = K \cdot RL_f / W_f \text{ por trânsito} \quad (16)$$

onde K é uma constante
 R é a probabilidade de que ações corretivas de último minuto não obtenham sucesso
 L_f é o comprimento do perfil do objeto flutuante ao longo do canal
 w_f é a distância do objeto flutuante à trajetória média normal no canal (i.e., erro *cross track*³⁴).

7.1 3 Métodos de Redução de Riscos

Uma vez estimado o risco marítimo para a nova situação (i.e., para a operação do novo canal), este deve ser comparado com a situação existente ou com padrões internacionais acordados. Deve-se então definir se a nova situação é aceitável ou não. Se não o for, devem ser encontrados meios de reduzir o risco. Sem considerar a possibilidade de reprojeto do canal, o seguinte estará à disposição do operador do canal:

Vessel Traffic Service³⁵ (VTS)
 Limites Operacionais
 Regras de Operação
 Auxílios à Navegação
 Esquemas de Separação de Tráfego

Os itens acima serão agora discutidos em maiores detalhes.

7.2 REDUÇÃO DO RISCO MARÍTIMO

³³ Simulações ativadas por eventos

³⁴ Afastamento da trajetória média normal (para qualquer lado, e também de um lado para outro dessa trajetória)

³⁵ Serviço de Tráfego de Navios. Um serviço de assessoria para marítimos relativo às operações de navios em um porto. Prestado pela administração do porto ou Autoridade Portuária

7.2.1 Vessel Traffic Service (VTS)

Um VTS é um serviço de assessoramento para marítimos. Ele fornece orientação e informação aos marítimos a bordo dos navios que passam através do sistema. O monitoramento do tráfego é feito pelo centro de VTS, com informações transmitidas pelos navios ao centro em pontos de “prestação de informações” prescritos. A confirmação dos nomes dos navios deve ser feita (se o tempo permitir) através de verificação aérea, caso não seja possível identificar um navio por quaisquer outros meios.

Tais sistemas são utilizados em portos e hidrovias internacionais, e enquanto a responsabilidade pelo controle global do navio recai sobre seu comandante (auxiliado pelo práctico), o centro VTS pode solicitar ao navio que atenda a certas exigências para a operação segura do porto. Por exemplo:

- Observar os limites de velocidade do porto
- Permanecer alinhado ao canal no fundeadoiro
- Não proceder além de um dado ponto até que o liberem para tanto

Com esse sistema, é empregado o monitoramento por radar e os navios de chegada devem ser “identificados” com um identificador que permanecerá em seu alvo de radar durante sua estadia no porto. Frequentemente, é mantido um registro digital de todos os movimentos dos navios identificados, fazendo-se amostragens a cada poucos minutos, de modo que esteja disponível uma cópia em papel do registro de todas as atividades marítimas no limite da hidrovia.

7.2.2 Limites de Operação

Na Seção 6.7 foram discutidos limites operacionais, que são um meio poderoso de redução do risco marítimo. Eles fornecerão as bases para operações de rebocadores, interrupções, cenários de emergência e operações nos atracadouros e, portanto, têm uma forte influência na operação do porto.

Muitos limites podem já estar em vigor em um porto existente, advindos da experiência operacional ao longo de um número de anos. Eles devem ser entendidos e respeitados pelo projetista, que poderá então decidir (ou precisar) instituir mais alguns ou modificá-los como resultado de uma nova ampliação portuária. Modificações iniciais podem ser feitas no estágio de projeto como resultado do emprego de simulação de navios, combinada com discussão com marítimos locais. À medida que a experiência operacional cresce com o desenvolvimento da nova ampliação portuária, os limites podem ser estreitados ou substituídos, conforme for apropriado.

7.2.3 Regras de Operação

Limites operacionais levam naturalmente a Regras de Operação, que são sua última manifestação na operação do porto. Elas determinam, por exemplo, quando é seguro

para certas classes de navios navegarem em certas áreas, o que fazer em situações de emergência e tudo o mais. Elas devem ser suplementadas por Guias para os Comandantes, fornecidos, por exemplo, pelos operadores dos terminais, nos quais muitas informações práticas sobre operações de terminal e exigências de segurança são frequentemente suplementadas pelas Regras de Operação locais.

As Regras de Operação podem ser empregadas não somente para melhorar a segurança, mas também para reduzir os custos no canal. Por exemplo, restringir as operações à preamar significa que pode ser dragado um canal com menos profundidade, com conseqüente economia de capital e nos custos de dragagem de manutenção. A esta vantagem opõe-se a desvantagem de atrasos nos navios que entram e saem, que serão economicamente penalizados. O custo comercial dos atrasos acumulados com relação a navios de grande calado poderá justificar um aumento na profundidade do canal se o período pelo qual eles estiverem impedidos de navegar no canal (ou ‘downtime’³⁶) for excessivo.

Períodos de *downtime* podem resultar dos efeitos de correntes, ventos, ondas e pouca visibilidade. Se o *downtime* for programado e instituído por períodos significativos de tempo, será possível reduzir as dimensões do canal sem pôr em risco a segurança.

A adoção de *navigation windows*³⁷ e *downtime*, instituídos pela autoridade do canal a fim de evitar situações inseguras, impedirá até certo ponto a navegação pelo canal, o que terá o seguinte impacto em potencial: o tempo de espera do navio antes que possa investir o canal aumentará, e o período de tempo acumulado de todos os navios afetados por restrições representará uma perda econômica em cada ano.

A viabilidade da imposição das restrições mencionadas nesta seção deve ser verificada e avaliada com base no aspecto econômico do transporte em geral.

7.2.4 Auxílios à navegação (Aids to Navigation)

Auxílios à navegação foram discutidos em outra parte neste relatório e constituem, naturalmente, elementos vitais na redução do risco marítimo. Seu tipo, dimensões e posicionamento devem ser determinados como parte essencial do projeto da parte marítima. Marítimos da ativa (geralmente os prácticos locais) devem ser consultados para que possam expressar sua visão a respeito dos auxílios propostos e seu posicionamento, se possível com o emprego de simulação rápida ou em tempo real, para sua avaliação.

Bóias demarcadoras de canal devem ser conspícuas, com luzes características ou refletores radar que permitam que

³⁶ Períodos de tempo no qual o canal não pode ser utilizado (V. Glossário – pág. 74)

³⁷ Períodos de tempo no qual o canal está disponível para navegação

sejam facilmente identificadas contra um fundo de outras luzes, ou sob pouca visibilidade.

Pares de bóias são preferíveis para a demarcação de trechos retos de canal, com espaçamento adequado às condições prováveis de visibilidade. Na área crítica do canal, tal espaçamento longitudinal é de cerca de uma milha náutica no máximo, que é a maior distância pela qual um práctico ficaria feliz em manter o controle com base em sua percepção visual do canal através da demarcação por bóias.

Bóias convencionais poitadas com correntes ou balizas de estaca podem ser consideradas como demarcadores de canal, e normalmente a escolha é baseada em custo e emprego do canal. Balizas de estaca têm a vantagem de não se moverem, ao passo que bóias poitadas se movem com as correntes de maré dentro do limite de alcance de suas amarras. Se as amarras se rompem, elas podem ser levadas para fora de posição.

Balizas ou bóias devem ser colocadas tão próximas quanto possível às bordas do canal dragado, e devem todas estar de acordo com as exigências da IALA (Referências 5.5 e 6.7).

Marcas de enfiamento (ou 'alinhamentos') são um método alternativo de demarcar um trecho reto de canal. São custosas devido à estrutura necessária para suportá-las na altura correta, e algumas vezes difíceis de usar se o navio tiver que adotar um grande ângulo de deriva, e se só forem visíveis à ré ao invés de à vante.

A separação e altura corretas das luzes de enfiamento devem ser determinadas conforme as seguintes recomendações da IALA: Referência 7.13. Para fins de simulação, a seguinte equação deve ser usada:

$$H_L = D_L / 650 + h_L \quad (17)$$

$$R = K D_L (H_L - h_L) / w \quad (18)$$

Onde: H_L = altura da luz posterior acima da preamar média

R = distância da luz anterior à luz posterior

D_L = distância da luz anterior ao limite de alcance útil

w = largura do canal

h_L = altura da luz anterior acima da preamar média

K = um coeficiente de sensibilidade lateral que tem como valor ótimo 2,5. Recomenda-se um valor de 1,5 para projeto, para evitar problemas de hipersensibilidade a pequenas distâncias.

Em algumas áreas, são instalados sistemas eletrônicos de marcação de posição. Muitos navios estão agora equipados com sistemas de navegação por satélite (como o DGPS), que indicam suas posições muito precisamente. Combinados com cartas eletrônicas (ECS, ECDIS), será possível, em princípio, determinar muito acuradamente

onde o navio se encontra com relação a um canal demarcado. Referências eletrônicas para marcação (por exemplo, RACONs) são instaladas como pontos fixos a partir dos quais podem ser feitas marcações.

7.2.5 Esquemas de Separação de Tráfego

Esquemas de Separação de Tráfego (*Traffic Separation Schemes – TSS*) diminuem os riscos pela segregação do tráfego em faixas de navios, todos se movendo na mesma direção com uma zona de separação de tráfego entre as faixas. Pode também haver zonas de tráfego costeiro para pequenas embarcações que não utilizam as faixas de tráfego principais. O cruzamento do TSS é feito sob uma série de regras rigorosas e sempre em pontos de cruzamento conhecidos.

7.3 COLETA DE DADOS

Os dados para a determinação do risco marítimo provêm geralmente das seguintes fontes:

- registros de acidentes portuários
- históricos de acidentes marítimos ao redor do mundo
- previsões de tráfego portuário e comércio
- arquivos de observação radar
- diversidade de tráfego e rotas, especialmente no tocante a navios que transportam cargas perigosas
- observações visuais de tráfego, fornecendo número e tipos de navios passando através de um dado "portal"
- gravações do tráfego em vídeo, obtidas a partir do radar do porto.

Níveis de tráfego e rotas atuais (obtidos do radar do porto e outros arquivos) podem ser empregados para determinar o nível atual de risco, empregando-se um *Traffic Planner* (Planejador de Tráfego) marítimo (ver Seção 7.4 abaixo). Estes podem então ser utilizados como linha de base para medição de níveis de risco futuros com relação a mudanças projetadas no tráfego ou nas operações. Arquivos de acidentes portuários podem ser utilizados para identificar "pontos críticos" de concentração de acidentes, que apontarão áreas necessitando de atenção especial.

Consultas aos arquivos do porto serão valiosas, mas geralmente conterão amostras de acidentes estatisticamente insuficientes, especialmente em um porto bem operado. Torna-se, portanto, constantemente necessário fazer uso de amostragens estatísticas mais amplas a partir de dados históricos de acidentes. Estes permitirão que seja feita uma avaliação dos níveis típicos de acidentes em áreas marítimas ao redor do mundo que tenham similaridades com o porto em questão.

Dados do radar portuário fornecem ajustes valiosos para os *Traffic Planners* e podem ser analisados de várias maneiras. Distribuições de tráfego, rotas e densidades de áreas podem ser obtidas juntamente com análises de

diversidade, velocidades e posições de todos os navios identificados.

O efeito que o canal dos projetistas terá nesse sistema pode então ser determinado, em termos de risco marítimo, pelo uso do *Planner*. Risco de colisão é relacionado ao número de encontros, um parâmetro que deve ser computado pelo *Traffic Planner*.

O uso de um *Port Traffic Planner* é, portanto, parte importante do processo de planejamento em um porto de grande movimento.

7.4 PLANEJAMENTO DE TRÁFEGO E SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

7.4.1 Introdução

Neste relatório, tem sido mostrado como a simulação de manobras pode ser utilizada no projeto de canais de acesso, e como implicações mais amplas de segurança do navio, tráfego e comércio futuros através do canal devem ser consideradas. Tem também sido sugerido que programas de computador que modelam o fluxo de tráfego constituem ajuda importante para um projetista quando trabalhando para um porto de grande movimento.

Esta Seção esboça brevemente os componentes de um modelo de computador de *Traffic Planner* e indica como ele deve ser utilizado. Em seu núcleo, como se pode deduzir, estão o sistema de tráfego e as regras operacionais do porto. As considerações básicas giram em torno da eficiência e segurança das operações marítimas do porto, cada qual podendo ocasionalmente entrar em conflito com a outra, uma vez que limites operacionais podem ter um drástico efeito sobre eficiência portuária. Como tem sido demonstrado, tais limites dependem de um número de fatores, entre os quais estão o tipo de navio, classe e carga, juntamente com as condições ambientais e a configuração do lado marítimo do porto.

As condições sob as quais a entrada é considerada segura ou insegura constituem o “regime de entrada no porto”. Se um berço estiver disponível e as condições para entrada forem inseguras para uma entrada, o navio terá que esperar por condições mais favoráveis. Isto resulta em uma perda de tempo de trabalho valioso nos atracadouros, bem como em atraso. Converter o acima exposto em projeto portuário não é um assunto simples e já foram discutidos métodos e ferramentas para determinação de largura de canais. De qualquer forma, as condições limitantes que surgem deste processo de projeto fornecem dados de entrada para o modelo de simulação de fluxo de tráfego.

A capacidade do lado marítimo de um sistema portuário é influenciada pelo regime de entrada nesse porto (períodos navegáveis de marés, limites para embarque do prático, limites para operações de rebocadores) e, em alguns portos, as regras de tráfego constituem importante fator que afeta sua capacidade. Assim, o lado marítimo de um

porto é um sistema complexo, e os modelos de simulação de fluxo de tráfego são as únicas ferramentas adequadas para a determinação do impacto que regime de entrada e regras de tráfego terão na capacidade desse porto.

O propósito do modelo de simulação de tráfego é, portanto, revelar se o projeto de canal proposto, com suas regras de tráfego e condições ambientais, pode atender ao volume de tráfego existente e também determinar os tempos de espera e estadia dos navios. Alternativamente, começando dos tempos máximos aceitáveis de espera e duração das estadias dos navios, o modelo de simulação pode estimar a capacidade máxima do canal do porto.

7.4.2 Modelos de Simulação de Tráfego

São empregadas três técnicas básicas para estudar um sistema portuário no que diz respeito a capacidades, tempos de espera e de estadia dos navios, etc. Elas são indicadas na Figura 7.1 e são:

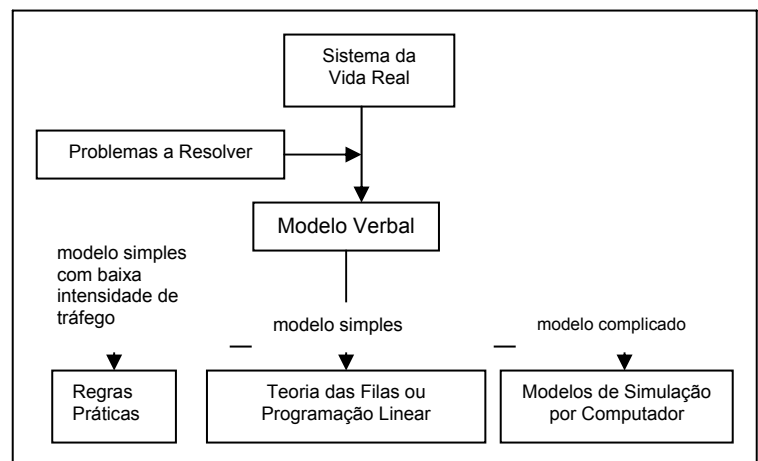


Figura 7.1 – Esquema para Escolha do Método

- regras práticas empíricas, baseadas em observações de sistemas existentes.
- teoria das filas e técnicas de programação linear, e
- modelos de simulação de fluxo de tráfego.

Conforme consta na Seção 7.4.1, o lado marítimo é um sistema complexo; assim, para se obter números abrangentes e resultados confiáveis, têm que ser empregados modelos de simulação.

Avanços nas técnicas de simulação por computador têm conduzido a desenvolvimentos significativos na modelagem de fluxos de tráfego marítimo. É comum considerá-las como parte de um ‘processo’ contínuo e conseqüentemente hoje em dia usa-se uma técnica de ‘descrição de processo’

O método de descrição de processo especifica o comportamento dinâmico dos sistemas descrevendo as atividades dos “componentes vivos” no modelo. “Vivo” significa que tais componentes estão executando atividades. A seção dinâmica de um modelo conterá uma

descrição de processo para todo “componente vivo” e formulará as interações entre os componentes.

Por exemplo, um modelo do lado marítimo de um porto pode compreender uma descrição de processo de um navio, do controle de tráfego (manejo do tráfego de navios), bem como os geradores dos diversos tipos de navios (criando navios e chegadas).

Os componentes são especificados pelos valores de seus atributos. Por exemplo, os atributos de um navio são comprimento, boca, calado, tipo, carga, etc. A Tabela 7.1 dá um resumo dos componentes típicos do modelo.

7.4.3 Procedimentos para o Desenvolvimento de um Modelo de Tráfego Marítimo

Modelo-Esboço e Modelo Detalhado

Independentemente do objetivo do planejamento (canal novo, canal existente, etc) e da disponibilidade de um modelo, uma decisão vital a ser tomada é a que concerne ao nível de detalhes a serem aplicados aos vários componentes do modelo.

A Tabela 7.2 fornece algumas diferenças básicas entre um modelo “esboço” e um modelo “detalhado”.

O procedimento a ser seguido ao criar um modelo de simulação de tráfego está esquematicamente apresentado na Figura 7.2.

Primeiramente, têm que ser determinados os limites do sistema. Estes, naturalmente, dependem do problema a ser resolvido.

No passo seguinte, deve ser fornecida uma descrição do modelo. Isso significa que a realidade tem que ser esquematizada dentro dos limites do sistema. A medida da esquematização novamente depende do problema a ser resolvido.

Uma vez estabelecidos os limites e a realidade esquematizada, o modelo de computador pode ser montado, porém uma das mais importantes e difíceis tarefas é sua verificação e validação.

A verificação refere-se às seguintes questões:

- Os parâmetros de entrada e a estrutura lógica do modelo estão representados corretamente?
- O modelo está implementado corretamente em código de computador?

O objetivo do processo de validação é produzir um modelo que represente o mais aproximadamente possível o comportamento do sistema real, de maneira que possa atuar como um substituto do sistema verdadeiro e possibilite que se façam experimentos. Validação (afinação do modelo) refere-se ao ato de determinar um modelo que seja suficientemente acurado para representar um sistema real. A validação é alcançada

através da ajustagem do modelo, um processo iterativo de comparação desse modelo com o comportamento do sistema real, utilizando as discrepâncias observadas para melhorá-lo.

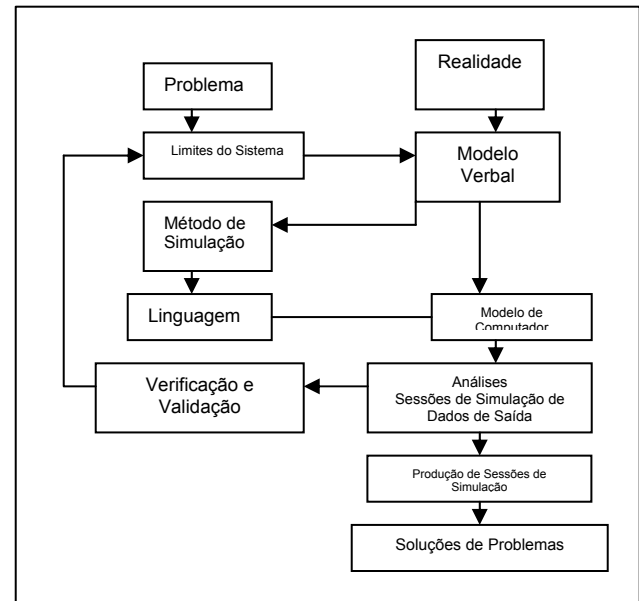


Figura 7.2 – Etapas do Processo de Simulação

7.4.4 Condições-Limites e Dados de Entrada

O modelo simula o comportamento dinâmico do canal de acesso com muitos parâmetros de entrada aleatórios. Estes são geralmente descritos por formulações matemáticas de funções de distribuição. Os parâmetros de entrada mais importantes são:

1. Padrão de chegadas de tipos de navios

O padrão de chegadas de um tipo de navio é descrito estimando-se a distribuição de horários inter-chegadas, resultando muito freqüentemente em uma função de distribuição de expoente negativo (*negative exponential distribution – N.E.D.*).

Para navios comerciais, a equação tem a forma:

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (19)$$

Onde μ é o índice de chegadas.

2. Tempo de estadia

O tempo de estadia de navios no porto é sempre representado por funções de distribuição Erlang-k (figura 7.3), dadas pela expressão :

$$F(t) = (k\mu)^k t^{k-1} e^{-k\mu t} / (k-1)! \quad (20)$$

Tabela 7.1

COMPONENTE	DESCRIÇÃO	SEÇÃO
DEFINE	Define: Componentes com atributos, filas, tabelas, fluxos aleatórios, unidade de tempo, fluxos de entrada, fluxos de saída	DEFINIÇÃO
PRINCIPAL	cria o sistema lendo os valores iniciais dos atributos a partir de arquivos de dados de entrada	INICIAL
GERADOR DE NAVIOS	gera navios de acordo com funções de distribuição e determina os atributos necessários desses navios	DINÂMICA
CONTROLE DE TRÁFEGO	gerencia o tráfego de navios no canal e bacias de manobra e checa as condições de maré, situação de tráfego e condições de tempo	DINÂMICA
NAVIO (CLASSE DE COMPONENTES)	Executa o processo do navio-classe	DINÂMICA

Tabela 7.2

Vantagens e desvantagens do modelo- esboçado e do modelo detalhado	
Modelo-esboço	Modelo detalhado
Vantagens	
1. Modelo de desenvolvimento simples 2. Preparação fácil dos dados 3. Resultados geralmente aplicáveis	1. Suposições básicas são simples 2. Detalhes adicionais aumentam as oportunidades de estudar a resposta do sistema
Desvantagens	
1. Suposições globais podem não ser corretas sob todas as condições 2. As implicações das suposições não são claras e são portanto difíceis de avaliar 3. Resultados não são detalhados	1. Preparação complicada do modelo 2. Os resultados são específicos para o sistema em particular. São necessárias muitas sessões de simulação para a verificação das várias possibilidades.
Possíveis razões para rejeição	
1. Resultados podem ser inválidos sob certas condições	1. Caro 2. Dados disponíveis insuficientes

onde t é um parâmetro estocástico que pode ser, por exemplo, o tempo intra-chegadas de uma frota específica
 k é um parâmetro de forma inteira
 μ é o índice de chegadas (ou número de chegadas por unidade de tempo).

Valores maiores de k implicam variações menores de μ (ver Figura 7.3).

Não existem formulações gerais que possam ser fornecidas para caracterizar a distribuição de TPB das diferentes frotas escalando no porto em questão. Portanto, a distribuição de TPB é normalmente descrita em forma tabular.

3. Condições de marés

Obviamente que, se o canal estiver sujeito a condições de marés, devem ser fornecidos os níveis das águas e velocidades de correntes.

4. Condições de tempo

Condições de tempo podem ser estudadas formulando-se condições de ventos, ondas e visibilidade, com base em dados históricos.

5. Tempos de navegação

Tempos de navegação de navios em diferentes canais não variam muito significativamente, de modo que uma distribuição uniforme em faixa estreita representa os tempos de navegação de um dado tipo de navio com exatidão aceitável.

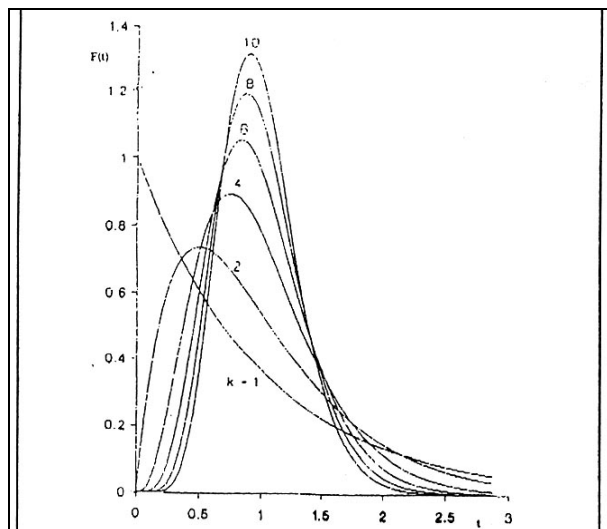


Figura 7.3 – Distribuição Erlang-k

7.4.5 Dados de Saída

Os dados de saída devem caracterizar o desempenho do sistema.

Conforme os dados de entrada demonstrem variabilidade aleatória, os dados de saída de sessões de simulação também a demonstrarão. Isto significa que deve ser aplicada uma análise estatística aos dados de saída.

Resultados importantes incluem a distribuição dos tempos de espera dos navios e dos tempos de estadia com relação às dimensões do canal. Com base nessas informações, pode ser levada a efeito uma avaliação financeira.

Para *layouts* alternativos de canais, um modelo de simulação de fluxo de tráfego revela:

- a capacidade máxima do canal, utilizando como critérios tempos aceitáveis de espera e tempos de estadia dos navios
- o impacto, sobre os tempos de espera dos navios, de mudanças nas regras operacionais resultantes de exigências de segurança.

O *Traffic Planner*, portanto, posiciona-se ao lado da simulação de manobras de navios como uma ferramenta poderosa para projetos do lado marítimo. O processo completo de projeto é essencialmente iterativo, com projeto do canal, capacidade, custo, regras operacionais ou velocidades de tráfego sendo seqüencialmente ajustados, dependendo dos resultados obtidos quando comparados com certos critérios de segurança (ver Seção 7.6).

As Figuras 7.4 e 7.5 fornecem resultados típicos de um modelo de simulação de fluxo de tráfego. A Figura 7.4

mostra um histograma de tempos de espera de navios na bóia de chegada e a Figura 7.5 um registro gráfico dos mesmos tempos de espera.

7.4.6 Avaliação dos Resultados da Simulação

A avaliação de resultados depende dos objetivos finais.

Se o objetivo é eficiência econômica, então os resultados indicam como minimizar os custos e maximizar os benefícios.

Dentro da estrutura do projeto do canal de acesso, isso significa que é necessário pesar o custo de seu aprofundamento ou alargamento contra os custos de tempo de espera e atrasos. Deve-se considerar que o tempo de espera de navios não é influenciado somente pelas dimensões do canal de acesso, mas também pela configuração do porto e do terminal.

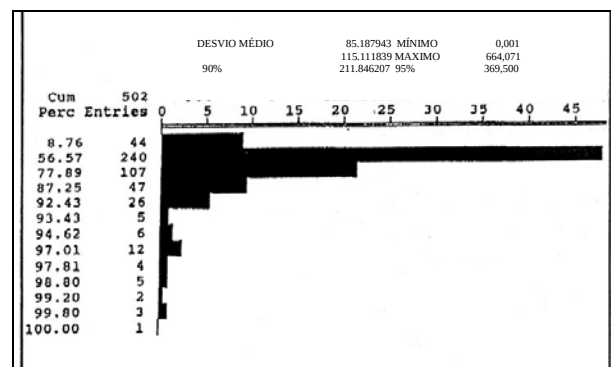


Figura 7.4 – Distribuição dos Tempos de Espera dos Navios na Bóia de Chegada

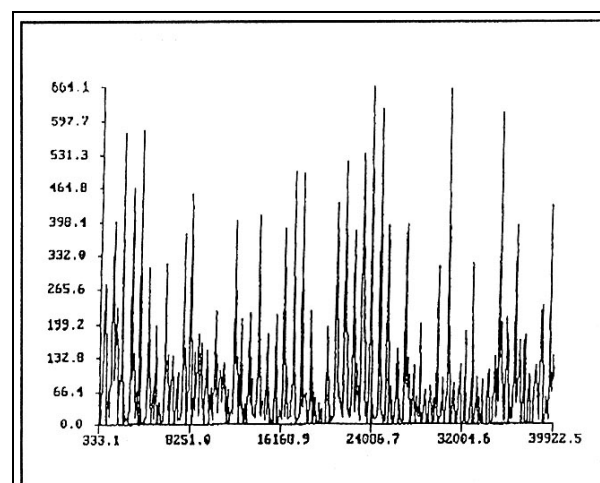


Figura 7.5 – Registro Gráfico dos Tempos de Espera em Minutos

Se, no entanto, o objetivo for confiabilidade e segurança, então as chances de insucesso na demanda do canal devem ser minimizadas. Isso pode resultar em *tidal windows*³⁸ estritamente formulados e em paralisações devidas a condições de tempo desfavoráveis.

Para ambos os objetivos, a relação entre as dimensões do canal de acesso e os tempos de espera tem que ser conhecida, para que se possa otimizar as dimensões do canal.

7.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE PRATICAGEM

7.5.1 Geral

Manobrar navios em águas restritas ou portuárias é responsabilidade de alguns grupos de marítimos. Estes incluem mestres de *ferries*, mestres de rebocadores e outros operadores de embarcações pequenas.

A maioria dos navios de longo curso, no entanto, será manobrada por práticos qualificados, que combinam habilidade em manobrar navios com conhecimento local das condições especiais na área de praticagem. Eles detêm o conhecimento técnico, e também são versados sobre as exigências regulamentares e ambientais da área do porto (Referência 7.4).

Esta combinação de habilidades é (ou deveria ser) um valioso recurso para o projetista de hidrovias portuárias, conforme foi demonstrado anteriormente neste relatório. A importância do prático como membro da equipe de projeto e seu papel de assessoramento para assuntos de manobras de navios é evidente nas discussões sobre o emprego de simulação acima relatadas. No entanto, existem outros aspectos relacionados às operações de praticagem que podem afetar o projeto da hidrovia, que serão agora considerados.

7.5.2 Variabilidade do Prático

Práticos são humanos e, embora todos busquem (e geralmente consigam) alcançar um alto grau de competência, alguns serão melhores do que outros. A habilidade daqueles que fazem parte de exercícios de simulador pode bem ser classificada como de nível superior, seja porque eles são práticos mais experientes e antigos, seja por eles terem demonstrado no passado um interesse técnico em projetos portuários e simuladores.

Ao passo que tais práticos serão de grande benefício à equipe de projeto, deve ser reconhecido que eles representam os melhores disponíveis. A questão de

qual margem deve ser deixada para a variabilidade nas capacidades do prático não é fácil de responder; no entanto alguma margem deve ser deixada.

Em simulação rápida, alguns modelos de práticos levam em conta erros de percepção e posição e podem, em princípio, levar em conta a variabilidade humana. Na simulação em tempo real também deve ser deixada alguma margem para variabilidade do prático ou deve-se empregar no estudo um número de práticos com uma faixa variada de habilidades.

7.5.3 Áreas de Embarque de Prático

Um prático de entrada de rio ou de atracação deve subir a bordo do navio em local apropriado; do mesmo modo, um prático de saída deve descer em local adequado. Essas áreas de embarque devem ser adequadamente localizadas e isto deve ser da responsabilidade do projetista da hidrovia. Em tais locais, os navios devem diminuir a marcha (e, em um porto movimentado, possivelmente se “agrupar”), o que deve ser considerado no projeto do canal local.

A área de embarque deve idealmente ser em águas que não estejam sujeitas a mar ou vagas adversos, que podem tornar a operação da lancha do prático difícil ou impossível. Se forem necessários longos trânsitos, então devem ser consideradas alternativas à lancha do prático, como transporte por helicóptero. Em tais casos, deve ser considerada pelo projetista uma área do mar onde possam ser feitos traslados por helicóptero, de modo que o navio possa demandar em orientação correta em relação ao vento para um embarque ou desembarque seguros.

7.5.4 Áreas de Fundeio e Berços de Espera (Lay by Berths)

Um prático pode decidir que a atracação do navio ou o trânsito no canal não podem mais prosseguir. Isto pode se dar devido a, em seu ponto de vista, as condições de tempo terem piorado além dos limites para operação segura, o período navegável de maré de que ele dispunha ter-se esgotado, o surgimento de uma emergência adiante no curso do navio ou a qualquer uma dentre um número de outras razões.

Se houver a possibilidade de o motivo para a interrupção deixar de existir em curto espaço de tempo, ele poderá escolher “pairar sob máquinas” com seu navio no canal. Se não, ele terá que fundear, ou atracar em um berço de espera (*lay by berth*), até que as condições se tornem favoráveis. A última opção é a mais provável de ocorrer em navegações de rios ou estuários com grandes variações de marés e correntes fortes; no entanto, devem ser consideradas ambas as manobras no projeto.

³⁸ Períodos de marés em que o canal está disponível para navegação

Áreas de fundeio e/ou berços de espera (*lay by berths*) adequados devem ser providenciados ao longo da hidrovia. Estes devem ser posicionados com relação a:

- localização do berço,
- velocidades e tempos de trânsito,
- características das marés,
- correntes,
- dados relativos ao tempo.

A localização do fundeadoiro terá ainda que levar em conta:

- a composição do fundo do mar,
- espaço para o navio girar no fundeadoiro.

7.5.5 Número de Práticos

O número de práticos que operam um serviço em um dado canal será naturalmente assunto da autoridade de praticagem local. No entanto, o projetista pode ter que considerar este aspecto com relação às áreas de atracação para embarcações de praticagem, bem como, em alguns portos do mundo, ao custo dos serviços de praticagem.

A técnica para determinar o número necessário de práticos para atender a uma determinada praticagem será similar àquelas empregadas para estimar o número de rebocadores na Seção 6.6.3 acima.

7.5.6 Aspectos de Segurança

O primeiro objetivo do prático, levando em conta as limitações do canal e a vulnerabilidade das instalações portuárias, é assegurar a maior prestação compatível com a máxima segurança do navio sob sua responsabilidade. Por seu treino (inclusive treino em simulador) e experiência, ele saberá o que é seguro, constituindo, portanto, uma valiosa fonte de assessoramento em estudos de simulação. Em alguns casos ele pode ser o único meio pelo qual a segurança pode ser avaliada, se outras medidas ou critérios de segurança não estiverem disponíveis. Alguns critérios estão disponíveis, no entanto, e estes serão discutidos na próxima seção.

7.6 CRITÉRIOS DE SEGURANÇA

7.6.1. Geral

As medidas racionais de segurança e o estabelecimento de padrões em relação aos quais o projeto de um canal possa ser julgado são problemas que ainda não têm soluções universais no mundo marítimo. Não existem critérios aceitos internacionalmente que sirvam de base para julgar segurança (conforme medida pelo risco marítimo global) na disciplina de projeto de canais de acesso

portuário, de maneira que alguns parâmetros têm que ser determinados ou inferidos.

Uma análise detalhada de acidentes de navegação mostra que somente uma pequena percentagem deles, ocorrida em canais de acesso e portos, foi atribuída ao projeto do canal. Porém é essencial que, mesmo com as pressões comerciais e econômicas que no futuro serão exercidas sobre os operadores portuários, esse percentual permaneça baixo.

O método de Projeto-Conceito abordado no Capítulo 5 é baseado em boa prática moderna e assim contém as margens de segurança nela compreendidas, empregadas em muitos portos ao redor do mundo. Em Projetos Detalhados, uma vez concluídas as medições de risco marítimo, tornam-se disponíveis medições quantitativas de segurança e então uma decisão deve ser tomada no que toca a se tais níveis são adequados ou não.

Nesta seção, é feita a consideração de um número de critérios que podem ser empregados para julgar a segurança de um projeto de canal, uma vez obtidos os dados de simulação. Primeiramente, no entanto, é considerado o conceito geral de critérios primário e secundário.

7.6.2 Critérios Primário e Secundário

Na Seção 7.1 foi introduzida a noção de risco à vida humana. Foi também mencionado que, no mundo marítimo, a redução desse risco é a motivação primeira por detrás de considerações, legislações, etc. Essa redução deve, portanto, ser considerada como critério primário para a segurança marítima, e a atribuição de um valor para o risco de vida, aceitável pela sociedade, é a meta para todas as avaliações de risco marítimo.

Conforme tem sido mencionado, o critério primário do risco à vida humana não é sempre necessário quando se considera risco marítimo em portos; desse modo outros critérios, secundários, podem então ser considerados. Estes podem ser em termos de índice de incidentes, e podem ser utilizados dados históricos para determinar índices que foram verificados em situações portuárias similares. Esses critérios secundários podem assumir várias formas, a maioria das quais evoluiu por tentativa e erro em vários portos do mundo. No restante desta seção, é fornecido um número de critérios secundários para emprego em projetos. Por sua própria natureza, eles devem mudar ao longo do tempo, podendo se tornar menos deterministas e mais probabilistas.

7.6.3 Critérios de Risco

Critérios Primários

Valores típicos de risco à vida utilizados nos contextos de transporte marítimo e outros são:

1 em 10^{-6} e 1 em 10^{-8}

Deve-se notar que o número de vítimas N_c (Equação 12) é parte desse valor; quanto maior o número em potencial de vítimas, menor deve ser o risco em potencial de um acidente.

Critérios Secundários

Poucas análises têm sido feitas sobre índices de incidentes. No entanto, é verdade que incidentes ocorrem em portos e na maioria dos casos pode-se concluir que eles permanecem em um nível suficientemente baixo para ser considerado como aceitável. A análise desses índices para os vários tipos de acidentes (toques no fundo, encalhes, etc.) presumivelmente indicaria quais seriam esses índices 'aceitáveis'.

Isso foi feito para o risco de toque no fundo (Referência 7.5) através da consulta a grandes bancos de dados de acidentes para portos do Norte da Europa. O resultado desta análise revelou um índice notavelmente constante de toques no fundo de:

0,03 incidente por 1.000 movimentos de navios.

Essa expectativa de toques no fundo manteve-se constante através dos dados e, como era o índice geral aplicado, pode-se inferir que ele é aceitável para operadores de portos e de navios.

Não se conhece outra análise similar para risco de outros incidentes.

7.6.4 Critério de Atividade do Leme

Parece intuitivamente óbvio que a atividade do leme seja uma medida da adequação e segurança de um projeto de canal de acesso; quantos mais problemas o navio tiver para manter seu curso, menos satisfatório deve ser considerado o projeto.

Embora haja alguma verdade em tal asserção, ela deve, no entanto, ser tratada com cuidado. A atividade do leme é tanto um indicativo da manobrabilidade inerente do navio ou da técnica do seu condutor como da adequação do canal.

Medidas da atividade do leme são:

- ângulo médio do leme δ_m
- média quadrática dos ângulos de leme δ_{rms}
- desvio padrão σ_δ
- ângulo máximo de leme δ_{Max}
- número, por sessão, de passagens do leme por seu ângulo médio N_{rud}
- Número de passagens por unidade de tempo $N_{rud/t}$

Os critérios podem ser expressos em termos de um ou mais desses parâmetros. Para o projeto, foram

sugeridos ângulos de leme médios aceitáveis ou de 'equilíbrio' para compensar ventos, efeitos de margens, interação etc., presumindo-se que valores adequados do "saldo" desses ângulos de leme pudessem ser empregados para compensar esses fenômenos. Valores típicos são fornecidos na Tabela 7.3.

Tabela 7.3

Fenômeno	$ \delta_m $
Efeitos de Margem	$\leq 5^\circ$ a 7°
Vento e Corrente pelo Través	$\leq 25^\circ$
Reserva	5°
Curvas	$\leq 15^\circ$

Critérios adicionais para atividade do leme são:

$|\delta_{rms}| \leq 10^\circ$ para navios tanques grandes em canais retos

$|\delta_{max}| \leq 15^\circ$ para 75° de mudança de rota

$|\delta_{max}| \leq 20^\circ$ para um navio de boa manobrabilidade

$\sigma_\delta \leq 17^\circ$

$N_{rud/t} \leq 0,1$ / segundo.

Infelizmente, essas medidas não são muito sensíveis a mudanças no projeto do canal. Elas devem, portanto, ser empregadas em conjunto com outros critérios de segurança.

7.6.5 Critérios para Largura

Critérios para determinar larguras seguras são tanto deterministas quanto probabilistas. Os exemplos são os seguintes:

Determinista

A faixa máxima varrida na trajetória não deve ser maior do que 70% da largura útil do canal.

Probabilista

Os limites de probabilidades de se exceder a largura da via de tráfego e distância de passagem com tráfego nos dois sentidos devem ser de 0,5 e 0,2 (Referência 7.6).

Na referência 7.7 consta que, para uma via navegável de 10 km, a probabilidade de que não ocorram acidentes durante 10 anos de operação é 0,6.

Um método que explora o índice aparentemente aceitável de toques no fundo em portos é mencionado na Referência 7.5. Nesse método, obtém-se uma distribuição de posições transversais de um navio passando através de um portal na área do canal,

empregando-se múltiplas sessões de simulação rápida e em tempo real. Se a distribuição de posições puder ser provida com uma distribuição contínua, então poderá ser determinada a probabilidade de a posição lateral exceder os limites do canal. Uma vez obtida, ela pode ser comparada com o risco aceitável de toque no fundo, ou alternativamente, este nível de risco pode ser utilizado diretamente para projetar a largura (Figura 7.6).

Para uma distribuição normal, a probabilidade de encalhe seria:

$$Pr(\text{grounding}) = 1 - \text{erf}\left(\frac{N_{sd}}{\sqrt{2}}\right)$$

(21)

Onde N_{sd} é o número de desvios padrões da média, e “erf” é a Função de Erro.

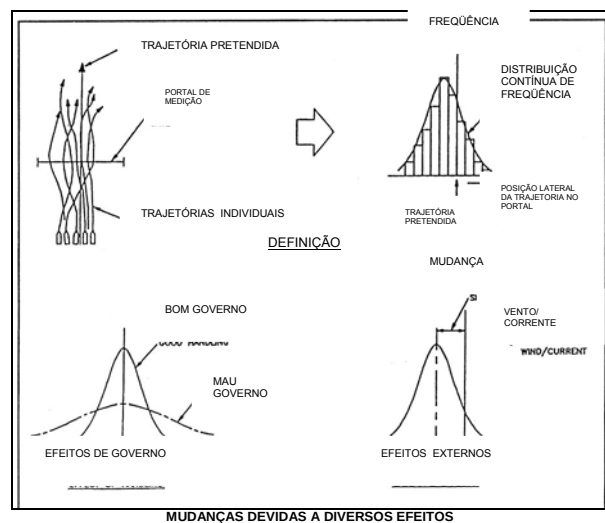


Figura 7.6 – Distribuição de Frequência de Posições

7.6.6 Critérios para Profundidade

Determinista

O principal critério determinista refere-se à margem de ‘segurança’ adicional a ser adicionada à profundidade determinada a partir de:

- calado
- squat
- movimentos
- densidade da água

Tal margem de segurança, qual seja, a lâmina d’água debaixo da quilha, depende do tipo de fundo (de lama, arenoso ou rochoso), nível de periculosidade da carga e condições ambientais. Ela é usualmente fixada em 0,3 metro para fundos de lama, 0,5 metro para fundos arenosos e ao menos um metro para fundos duros ou rochosos.

Probabilista

Quando o canal estiver sujeito à ação de ondas, a probabilidade de contacto com o fundo pode ser determinada conforme descrito na Seção 6.5.3 empregando-se plots como o da Figura 7.7 (ver Referência 7.8). Valores aceitáveis para contacto com o fundo são sugeridos como:

“A probabilidade de um contacto com o fundo em 25 anos de uso da rota selecionada não deve exceder 0,1 (Holanda) ou 0,027 (Reino Unido)”

Para maiores informações, ver Referência 7.9.

7.6.7 Critérios de Alinhamento

Critérios de segurança de alinhamento são essencialmente aqueles relacionados à largura e profundidade mencionados acima. O enfoque probabilista é talvez o mais apropriado se for empregado um simulador, sendo que a variação da trajetória deve satisfazer aos vários critérios de largura.

É provavelmente na navegação de curvas que o enfoque do ‘Grupo de Peritos’ é mais apropriado e, idealmente, nenhuma curva pode ser considerada satisfatória em seu estágio de projeto se não for aprovada por marítimos adequadamente qualificados.

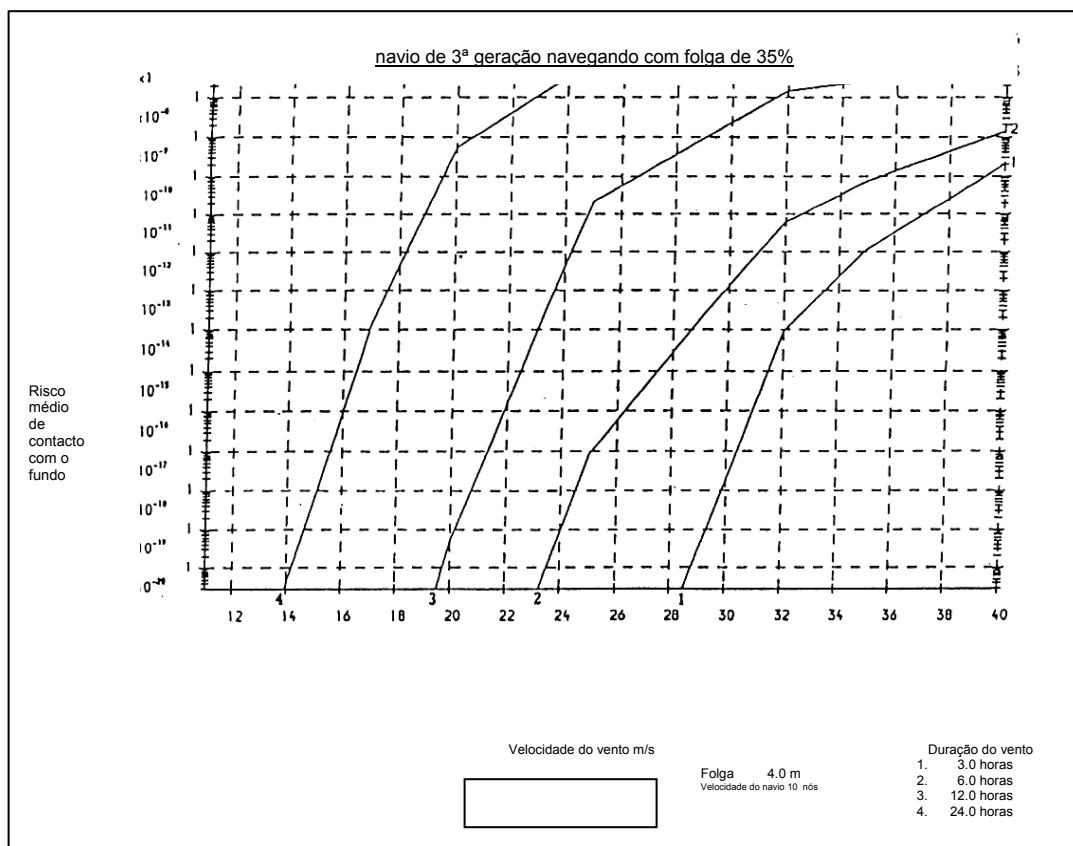


Figura 7.7 – Representação Gráfica do Risco Calculado de Contacto com o Fundo

8. RESUMO DA METODOLOGIA: A AVALIAÇÃO DO IMPACTO MARÍTIMO

8.1 RESUMO GERAL

No corpo deste relatório, foram descritas as técnicas presentemente disponíveis para o projeto de canais de acesso e hidrovias a eles associadas. Foi colocada ênfase na segurança da operação e, com esta finalidade, a maior parte do relatório foi dedicada aos aspectos do risco marítimo. O equilíbrio entre segurança e custo foi também abordado, embora o *trade off* a ser feito entre esses dois importantes aspectos deva permanecer sob a responsabilidade da autoridade que vai operar o canal.

Os métodos de projeto propostos acima refletem a crescente necessidade de considerar segurança e risco em todas as etapas. No mundo marítimo existem poucos critérios internacionalmente reconhecidos com base nos quais se possa julgar um projeto. Isso significa que a análise dos dados existentes sobre acidentes é de grande importância; são necessários mais desses dados e a capacidade de acessar arquivos

portuários sobre acidentes/falhas tornar-se-á cada vez mais importante à medida que cresce a necessidade de critérios de segurança.

Os resultados do questionário enviado pelo Grupo de Trabalho fornecem uma indicação de práticas modernas em Projetos de Canais. Eles podem ser utilizados como um guia e referência porque os canais listados no apêndice A têm sido operados com registros satisfatórios de segurança, conforme as respostas dadas ao questionário.

Pode-se argumentar que projeto e dimensões do canal per si têm participação menor nos acidentes marítimos; fatores humanos têm maior participação. Não há dúvida de que isto é correto, e esta situação continuará, porém a interação de fatores humanos com projetos de canais é central aos métodos de projeto discutidos acima. Todos os esforços foram engendrados no sentido de incluir fatores humanos no processo de projeto contido neste relatório.

Espera-se que os métodos aqui descritos auxiliem a assegurar que seja mantido um nível satisfatório de segurança marítima. Com esse propósito, é apropriado que sejam reunidos os elementos díspares do processo

de projeto na estrutura formal da Avaliação de Impacto Marítimo.

8.2 A AVALIAÇÃO DO IMPACTO MARÍTIMO

Em engenharia e projeto marítimo, a preocupação tanto com o meio ambiente quanto com a segurança da vida humana fez surgir a Avaliação de Impacto Marítimo (Marine Impact Assessment – MIA). Essa prática fornece uma estrutura formal dentro da qual pode ser

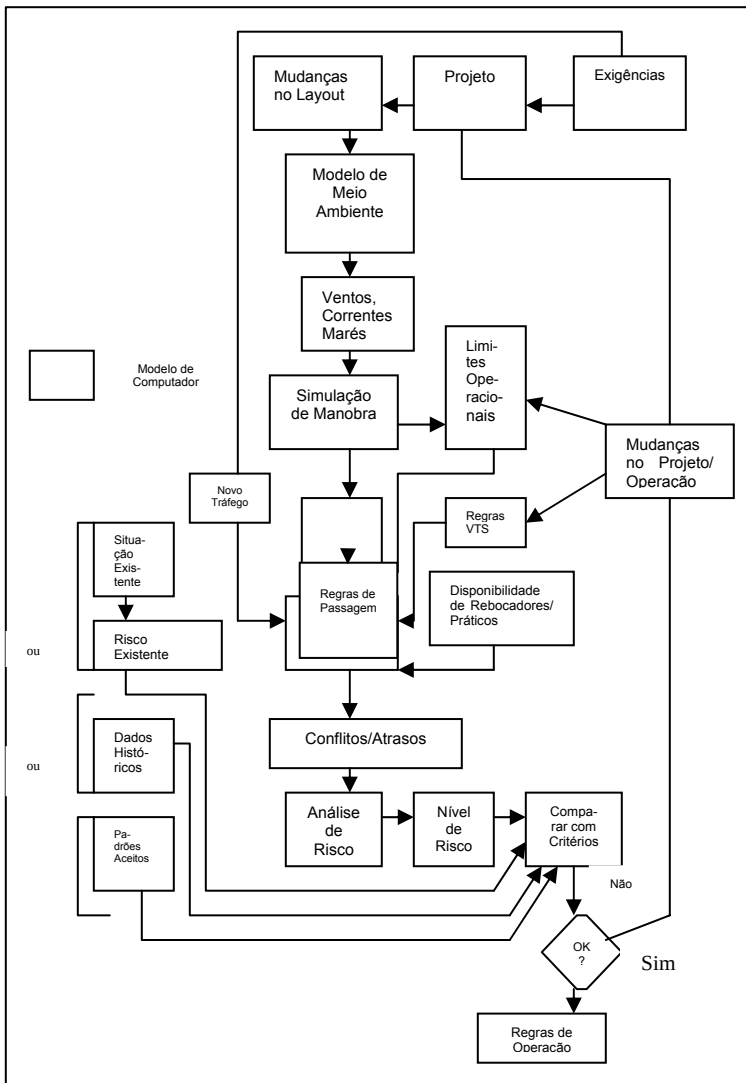


Figura 8.1 – Estrutura de uma Avaliação de Impacto Marítimo

feita uma avaliação do risco marítimo e de quaisquer mudanças que nele venham a ocorrer em decorrência de mudanças que tenham sido propostas no projeto e operação (Referência 5.8). Essa técnica encontrou seu espaço inicialmente no projeto de portos e fundeadouros, onde mudanças na operação, *layout* ou fluxos de tráfego podem ter maior impacto sobre a segurança, que por sua vez pode ter um efeito sobre o

ambiente portuário, sua operação e a segurança da vida.

O crescimento da MIA e seu emprego em projeto portuário tem sido auxiliado pelo advento dos tipos de modelos de computador descritos nos capítulos 6 e 7. Como tem sido visto, esses modelos são auxiliados e em alguns casos dependem de avanços paralelos na operação portuária, especialmente na área de observação por radar. Isso possibilita que se obtenha um quadro muito abrangente das situações de tráfego existentes no porto e permite, conseqüentemente, uma determinação detalhada dos níveis de risco marítimo existentes que, conforme já foi discutido, muitas vezes fornecem os padrões segundo os quais futuras ampliações serão estudadas.

A estrutura do MIA é mostrada diagramaticamente na Figura 8.1. Ela é auto-explicativa e fornece a estrutura formal dentro da qual os modelos de computador do Capítulo 6 e 7 podem ser utilizados.

Foi visto que o processo de projeto segue uma seqüência lógica, interativa, na qual detalhes do projeto do canal são ligados às suas conseqüências em risco máximo. No cerne da MIA está a avaliação do risco marítimo e sua comparação com critérios conhecidos.

Foi visto que modelos de simulação por computador desempenham um papel importante na simulação de manobras, permitindo que largura e alinhamento sejam checados e modificados, como também fornecendo meios para otimização do alinhamento e para a criação das Regras de Operação.

Essas Regras constituem um importante dado de entrada para os modelos de simulação de tráfego, visto que fornecem as limitações necessárias tanto para controlar como para minimizar o risco marítimo. Se o risco marítimo global for considerado inaceitável, as Regras de Operação podem ser mudadas para melhorar a situação antes que seja necessário recorrer a alterações no projeto do canal.

A MIA completa não será necessária em todos os casos. Algumas vezes, a ênfase será antes no fluxo de tráfego em um canal ou via navegável do que no comportamento do navio; em outras situações, quando o porto tiver pouco tráfego, a ênfase recairá sobre o manejo do navio. Em todos os casos, a equipe de projeto multidisciplinar bem como os clientes devem chegar a um consenso sobre a segurança da operação. Isto é alcançado mais facilmente por meio de simulação, que fornece o catalisador necessário para o acordo.

As implicações de custos de qualquer projeto de canal (e sua operação) devem ser consideradas. Isto, naturalmente, é parte da avaliação comercial da ampliação portuária, que tem implicações e ramificações muito além do projeto do canal de acesso.

A MIA, no entanto, é parte importante do processo global de projeto, pois sem uma operação marítima segura e eficiente, o porto não teria futuro seguro a longo prazo.

9. TERMOS DE REFERÊNCIA

Grupo de Trabalho Conjunto 30 PIANC/IAPH

Dimensões de Canais e Vias Navegáveis – Um Guia Prático

1. Com base nos documentos existentes e em particular com referência ao *draft report* do Grupo de Trabalho 7 PIANC PTC II, será avaliado se existem informações suficientes que permitam a preparação de um guia preliminar conjunto com respeito a largura e *lay out* de canais.
2. Formular diretrizes para projeto e subsequente utilização de canais navegáveis, considerando o conhecimento e experiência existentes, e técnicas analíticas disponíveis, com referência particular a:
 - comportamento e equipagem de navios;
 - condições físicas e ambientais locais;
 - fatores humanos;
 - praticagem, assistência de rebocadores e auxílios à navegação.

Ao desempenhar esta tarefa será necessário:

1. Organizar e rever informações existentes e ferramentas disponíveis (mundialmente) no tocante a projeto de canais de acesso, como métodos de *desk study*, modelos e simulações matemáticos e físicos, inclusive trabalhos de pesquisa disponíveis; isto inclui uma revisão dos trabalhos relevantes já completados pelos grupos de trabalho da PIANC.
2. Estabelecer e manter conexões com instituições e organizações hidrológicas e de pesquisas sobre navios com respeito a comportamento de navios em uma variedade de condições físicas e ambientais.
3. Desenvolver e circular um questionário a ser enviado a todas as autoridades portuárias e outros órgãos interessados e relevantes, para obter dados sobre:
 - 3.1 condições físicas, p. ex., amplitude de marés, natureza do fundo do mar;
 - 3.2 parâmetros e critérios empregados no projeto do canal, considerando as condições físicas locais;

3.3 número e dimensões dos navios que utilizam esses canais e em que condições de ambiente e operação;

3.4 registros de comportamento de navios em tamanho natural;

3.5 relatórios detalhados sobre acidentes/abaloamentos de navios em canais de acesso.

4. Analisar as respostas aos questionários recebidas para providenciar um inventário sistemático e em forma padronizada dos dados de relevância. O objetivo da análise deverá ser validar modelos de manobra e formar a base para atualizar diretrizes existentes sobre projetos de canais.
 5. Analisar os métodos empregados para a definição de profundidade náutica, com base (entre outros fatores) em densidade e viscosidade. Deve-se tentar relacionar os diferentes métodos e chegar a um método padronizado, ou recomendar um procedimento de conversão que facilite a comparação quantitativa dos vários métodos. Os critérios terão sua publicação recomendada como guia prático para o enfoque de profundidade náutica.
 6. Desenvolver uma metodologia para avaliar e conciliar os aspectos econômicos e de segurança de projeto e uso do canal.
 7. Estabelecer diretrizes práticas para o projeto de canais.
3. A implementação com sucesso das descobertas do estudo necessitará do apoio das organizações de armadores e governos no sentido de assegurar que seja providenciado o necessário equipamento de bordo para otimizar o uso dos canais.

10. REFERÊNCIAS

- 5.1 Underkeel Clearance for Large Ships in Maritime Fairways with Hard Bottom', Supplement to PIANC Bulletin 43, pages 21-28, 1985.
- 5.2 'Navigation in Muddy Areas', PIANC Bulletin 43, pages 21-28, 1982/83.
- 5.3 'Global Wave Statistics', British Maritime Technology Ltd., London, 1987.
- 5.4 International Commission for the Reception of Large Ships (ICORELS), Report of Working Group IV. Supplement to PIANC Bulletin 35, 1980.

- 5.5 'Aids to Navigation Guide (Naviguide)' International Association of Lighthouse Authorities (IALA), 2nd Edition, November 1993.
- 5.6 Dand, I.W.: 'An Approach to the Design of Navigation Channels', National Maritime Organisation, London.
- 5.7 'Code of Practice for the Carriage of Dangerous Goods by Sea', International Maritime Organisation, London.
- 5.8 Dand, I.W. and Lyon, P.R.: 'The Role of the Marine Impact Assessment in Port Development', International Conference on Maritime Technology : Challenges in Safety and Environmental Protection, Singapore, November 1993.
- 6.1 Heikkilä, M.: 'The Evaluation of Manoeuvrability through a Narrow Strait using a Full-Bridge Shiphandling Simulator', MARSIM and ICSM'90, Tokyo, Japan, June 1990.
- 6.2 Bowers, E.C. & Stewart, C.F.: 'Waves over Dredged Channels', HR Ltd Report IT219, October 1981.
- 6.3 Dand, I.W. and White, W.R.: 'Design of Navigation Canals', National Maritime Institute report R78, April, 1980
- 6.4 'PC-Global Wave Statistics – Version 2.1. Disk and manual. British Maritime Technology, 1990.
- 6.5 Shore Protection Manual, US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Centre, Vicksburg, 1984.
- 6.6 Admiralty Manual of Tides, HMSO, 1941, reprinted 1961.
- 6.7 The IALA Maritime Buoyage System, AISM Publication, Paris, November 1980.
- 6.8 The IALA Recommendations for the Rhythmic Characters of Lights on Aids to Navigation, AISM publication, Paris, April 1982.
- 6.9 'Capability of Ship Manoeuvring Simulation Models for Approach Channels and Fairways in Harbours'. Report of Working Group 20 of Permanent Technical Committee II, Supplement to Bulletin no.77 (1992), PIANC, Brussels.
- 6.10 Webster, W.C. (editor), 'Shiphandling Simulation : Application to Waterway Design'. Committee on Assessment of Shiphandling Simulation, National Academy Press, Washington, D.C., 1992.
- 6.11 'Guidelines and Recommendations for the Safe Mooring of Large Ships at Piers and Sea Islands', Oil Companies International Marine Forum, London, 1978.
- 6.12 Lean, G.H., Price, W.A.: 'The effect of passing vessels on a moored ship, The Dock and Harbour Authority, Vol, 58, 1977.
- 6.13 'Report of the International Commission for Improving the Design of Fender Systems' Supplement to PIANC Bulletin No. 88, 1995.
- 6.14 'Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours' Report of PIANC Working Group 24, Supplement to PIANC Bulletin No.88, 1995.
- 7.1 Lewison, G.R.G.: 'The Estimation of Collision Risk for Marine Traffic in UK Waters'. Journal of Navigation, Vol 33, no. 3, September, 1980.
- 7.2 Solem, R. R.: 'Probability Models of Grounding and Collision'. Proceeding of Automation of Safety in Shipping and Offshore Petroleum Operations, 1980
- 7.3 IALA Recommendations for Leading Lights, AISM Bulletin No. 71, Paris, May 1977.
- 7.4 'Pilotage and Shiphandling'. The Nautical Institute, London, 1990.
- 7.5 Dand, I.W. and Lyon, P.R.: 'The Element of Risk in Approach Channel Design'. International Conference on Maritime Technology : Challenges in Safety and Environmental Protection, Singapore, November, 1993.
- 7.6 Koster, J.: 'Push Tows in Canals'. Delft Hydraulics Laboratory Report no.144, 1975.
- 7.7 Oldenkamp, I.: 'Statistical Analysis of Ships Handling, Wageningen, November, 1973.
- 7.8 Spencer, J.M.A., Bowers, E.C. and Lean, G.H. (1990); 'Safe underkeel allowances for vessels in navigation channels. Proc. 22nd International Coastal Engineering Conference, pp.3126-3139, Delft, the Netherlands.
- 7.9 Savenije, A.C.: 'Probabilistic Admittance Policy Deep Draught Vessels', PIANC Bulletin No. 91, 1996.

GLOSSÁRIO

Vários termos, expressões e abreviações que podem não ser familiares a todos os usuários foram empregadas neste relatório. Abaixo, damos um glossário desses termos.

abalroamento:

um abalroamento ocorre quando dois navios em curso, à deriva, a reboque ou sem controle entram em contacto.

ângulo de curva:

ângulo entre duas seções do canal que se encontram em uma curva. Geralmente expressado como a mudança de aproamento de um navio que entra em uma curva, de modo que uma 'curva de 45°' significa que o aproamento do navio deve mudar 45° quando navegando a curva.

auxílio à navegação (aid to navigation):

dispositivo externo ao navio projetado para auxiliar na determinação de sua posição e de seu curso seguro ou para alertar sobre mudanças ou obstruções. No caso de canais, tais dispositivos incluem bóias, balizas, luzes de enfiamento, luzes setoriais, refletores radar, etc.

CGI:

Computer-Generated Image (Imagem Gerada por Computador)

*choque**

ocorre quando um navio em rota atinge um objeto flutuante à deriva (sic), como um navio fundeado, doca flutuante ou bóia.

colisão

quando um navio em rota ou à deriva atinge um objeto imóvel, como um molhe.

DGPS:

Differential GPS. Um método de melhorar a exatidão do GPS por meio de estações de terra em locais conhecidos.

downtime:

o período de tempo pelo qual o canal não pode ser utilizado. Pode ser devido a manutenção, acidentes, congestionamento ou por existir pouca profundidade (devido à pouca altura da baixa-mar), ventos, ondas ou correntes excessivas para a navegação segura.

ECDIS:

Electronic Chart Display System (Sistema Eletrônico de Exibição de Cartas)

ECS:

Electronic Chart System (Sistema Eletrônico de Cartas)

efeitos de margem:

efeito hidrodinâmico causado a um navio pela proximidade à margem. Pressões assimétricas agindo sobre o navio podem fazer com que ele seja puxado em direção a ou afastado da margem. Efeitos de margem dependem da velocidade, distância, dimensões do navio, altura da margem e razão profundidade/calado.

encalhe

consequência de tocar o fundo, pela qual o navio fica elevado e no seco.

equipamento de navegação (navigation aid):

instrumento, dispositivo, carta, etc., existente a bordo de um navio e destinado a auxiliar em sua navegação.

faixa de trajetória varrida (swept track):

faixa varrida pelas extremidades de um navio quando manobrando. Será geralmente maior em curvas do que em seções retas e sob ventos e correntes pelo través. Será maior também em águas profundas, sob uma dada série de condições, se comparada com as de águas rasas.

GLP

gás liquefeito de petróleo.

GNL

gás natural liquefeito (*liquified natural gas*).

GPS:

Global Positioning System (sistema de posicionamento global). Sistema de posicionamento marítimo baseado em satélites.

guinada:

tendência de um navio a desviar de sua rota determinada. Geralmente causada por interação navio-navio, efeitos de margem, alta velocidade, correntes pelo través ou rajadas de vento.

interação:

efeito hidrodinâmico induzido em um navio quando perto de outro navio ou de uma margem. Faz com que forças e momentos assimétricos ajam sobre o navio, o que pode fazer com que ele saia do curso.

* Definição não conforme com a NORMAM 9 da DPC

largura do canal:

definida neste relatório como a largura no leito do canal

MIA:

avaliação de impacto marítimo (*Marine Impact Assessment*). Um método multidisciplinar de avaliação do efeito de uma mudança no ambiente marítimo causado por canais, novas recuperações de terras/aterros, mudanças no tráfego marítimo, etc. O efeito sobre o risco marítimo é de suma importância.

Número Froude de Profundidade:

um parâmetro chave não-dimensional relacionado ao comportamento em águas rasas. A um Número Froude de Profundidade igual à unidade, um navio se move à velocidade 'crítica' da onda de translação para a profundidade da água. Provocará ondas transversais extremamente grandes e experimentará um massivo aumento na resistência. Poucos navios de deslocamento comercial têm potência suficiente para se moverem a tais velocidades em águas rasas, e operar em regime subcrítico.

OBO

navios minero-petroleiros (*ore/bulk/oil carriers*).

projeto detalhado:

processo adicional de projeto envolvido em refinar e explorar aspectos do projeto do canal de acesso, uma vez tenham sido determinados a largura, profundidade e alinhamentos iniciais. É esboçado no Capítulo 6 e não deve ser confundido com 'projeto detalhado' no consenso de engenharia civil.

projeto conceito:

projeto preliminar da largura, profundidade ou alinhamento de um canal, empregando dados fornecidos neste relatório, juntamente com outros dados relevantes a respeito de navios e meio ambiente

raio de curva:

o raio do centro da curva à linha central do canal.

toque no fundo::

o toque no fundo ocorre quando um navio em curso entra em contacto com o fundo da via navegável, do berço ou margem de uma hidrovia, canal artificial ou rio.

trade-off study:

estudo no qual várias opções (frequentemente divergentes são avaliadas entre elas com o fim de se atingir uma solução por consenso

UKC:

lâmina d'água abaixo da quilha (*Underkeel Clearance*).

ventos/correntes predominantes:

os ventos ou correntes de ocorrência mais comum, obtidos a partir de registros desses fatores. Correntes incluem correntes de maré e correntes induzidas por ventos.

via navegável

hidrovia navegável definida pelas bóias de navegação. Pode ter ou não largura igual à do canal

VTS:

Serviço de Tráfego de Navios (*Vessel Traffic Service*). Serviço de assessoramento para marítimos com respeito à operação de navios em um porto. Provido pela administração do porto ou Autoridade Portuária.

window:

período de tempo pelo qual o canal está disponível para uso.

LISTA DE SÍMBOLOS

A_s = área da seção de meia nau do navio (m^2)
 A_{CH} = área da seção transversal submersa do canal (m^2)
 $A_w = A_{CH} - A_s$ (m^2)
 α = ângulo de curva (graus), ver Figura 5.1.
 B = boca do navio (m)
 C_B = coeficiente de bloco, ver equação (2).
 ∇ = volume de deslocamento (m^3), ver equação (2).
 Δw = largura adicional em curvas (m), ver Figura 5.1
 η = viscosidade dinâmica
 f_a = frequência de um acidente
 f_g = frequência de encalhe
 f_{st} = frequência de abalroamentos
 F_{nh} = Número Froude de Profundidade, ver equação (1).
 h = profundidade da água (m)
 H_s = altura significativa de ondas (m)
 HW = preamar
 k_n = nó (milha náutica/hora)
 K_s = constante em equação (8)
 λ = comprimento de onda (m)
 L = comprimento do navio (m)
 L_c = comprimento do canal
 L_f = comprimento do perfil de objeto flutuante no canal

L_{pp} = comprimento do navio
 Entre perpendiculares (m)
 N_c = número de acidentes
 R = raio de curva (m), ver Figura 5.1 ou raio de giro nos primeiros 90° de mudança de curso, ver Figura 5.8.
 t_a = índice de chegadas de navios
 t_o = risco marítimo global
 $S_{'2'}$ = relação de bloqueio A_s / A_w
 T = calado do navio (m)
 T_w = período de onda (s)
 V = velocidade do navio através da água (m/s)
 V_k = velocidade do navio em nós
 W = largura do canal no fundo, (m), ver equações (3) e (4)
 w_{Bg} = distância da margem no lado do canal demarcado por bóias verdes (m), ver Tabela 5.4 e Figuras 5.6 e 5.11
 w_{BM} = faixa básica de manobra (m), ver Tabela 5.1 e Figura 5.2
 w_{Br} = distância da margem no lado do canal demarcado por bóias vermelhas (m), ver Tabela 5.4 e Figuras 5.6 e 5.11
 w_f = cross track error
 w_i = largura adicional para vento, corrente, etc., ver Tabela 5.2
 $W.L$ = linha d'água, ver Figura 5.6
 w_M = faixa de manobra (m), ver Figura 5.11
 w_P = distância de passagem (m), ver Tabela 5.3 e Figuras 5.4 e 5.11

APÊNDICE A

ANÁLISE DAS LARGURAS DE CANAIS DE ACESSO EXISTENTES

A1. INTRODUÇÃO

Para a avaliação das Regras de Projeto-Conceito (*Concept Design Rules – CDR*), o Grupo de Trabalho 30 enviou questionários a um número de portos ao redor do mundo. Embora os questionários fornecessem informações úteis, no curso do processo de avaliação tornou-se claro que eram necessários dados adicionais para que se pudesse efetuar uma avaliação abrangente das CDR.

Para obter as informações adicionais, um questionário suplementar foi enviado a um número de portos selecionados. Esse questionário suplementar forneceu informações adicionais sobre 26 canais de acesso.

As seguintes fontes foram ainda utilizadas:

1. Guide to Port Entry 1993/1994, Shipping Guides Limited;
2. Lloyd's Ports of the World 1994, Lloyd's of London Press Ltd.;
3. Fairplay World Port Directory, Fairplay 1994;
4. Shipping Statistics Yearbook 1994, Institute of Shipping Economics & Logistics.

A2. SELEÇÃO DE CANAIS E SUPOSIÇÕES

Para efetuar a avaliação de maneira apropriada, foram selecionados canais de relevância.

Para tanto, um número de critérios foi utilizado:

1. a largura atual do canal limita a boca do navio
2. a boca do maior navio é conhecida
3. a largura existente do canal é conhecida.

Com respeito aos canais selecionados, foi feito um número de suposições para a avaliação (ver Capítulo 5 do relatório principal):

1. Os canais têm margens inclinadas e baixos fundos, a não ser que mencionado em contrário.
2. A largura de canal mencionada no questionário refere-se a uma seção reta.

3. Para a avaliação, é crucial saber se o tráfego no canal é em sentido único ou duplo.

Tratando-se de canais externos para os quais se sigam as CDR, pode-se calcular um máximo absoluto de 8,9 B para um canal de tráfego em sentido único e um mínimo absoluto de 4,4 B para um canal de tráfego nos dois sentidos, empregando-se as condições de projeto 'mais desfavoráveis' e 'mais favoráveis'. Para um canal interno, esses números são respectivamente 6,5 B e 4,2 B. Para determinar se o canal é de tráfego em sentido único ou duplo (no caso de o questionário ou outras fontes não fornecerem nenhuma certeza), foi presumido que 6,0 B indica a diferença entre canais de tráfego em sentido único e canais de tráfego nos dois sentidos.

A3. AVALIAÇÃO DAS REGRAS DO PROJETO - CONCEITO

Para a avaliação das Regras de Projeto-Conceito (CDR), as larguras reais dos canais foram comparadas com larguras de canal determinadas com o emprego das Regras em questão. Essa comparação necessita de algumas explicações.

Além das suposições para um número de canais, não existiam dados disponíveis a respeito da velocidade máxima permitida, manobrabilidade dos navios e em alguns casos, condições de ventos. Para superar estes problemas, as larguras mínima e máxima foram determinadas utilizando-se tanto as condições 'favoráveis' como as 'desfavoráveis' de projeto. Para determinar a velocidade mais favorável e a mais desfavorável do navio, todas as três classes de velocidades mencionadas no CDR foram consideradas.

Desse modo, foi determinada a faixa de largura de canal ($W_{\min} - W_{\max}$).

A diferença entre a largura do canal existente e a faixa calculada ($W_{\min} - W_{\max}$) é agora definida como segue:

se $W_{\text{actual}} < W_{\min}(\text{CDR})$
então a diferença = $W_{\text{actual}} - W_{\min}(\text{CDR})$

se $W_{\text{actual}} > W_{\max}(\text{CDR})$
então a diferença = $W_{\text{actual}} - W_{\max}(\text{CDR})$
se $W_{\min}(\text{CDR}) < W_{\text{actual}} < W_{\max}(\text{CDR})$
então a diferença = 0

Então, um resultado negativo indica uma superestimativa e um resultado positivo significa uma subestimativa pelas CDR.

A3.1 Canais de de tráfego em sentido único

A Tabela A1 e a Figura A1 mostram os resultados da aplicação das CDR.

Seguindo-se as CDR, 16 canais ficaram acima e 9 abaixo de suas larguras reais, enquanto 4 canais ficaram na faixa $W_{\min} - W_{\max}$ (ver coluna 11).

As diferenças, conforme definido no parágrafo A3, variaram entre $-2,1 B$ e $1,6 B$ (ver coluna 12).

A Figura A1 mostra a posição de $W_{\min}$ e $W_{\max}$ e a localização da largura real do canal, enquanto a Figura A3 mostra as diferenças classificadas por ordem de grandeza.

A Figura A5 fornece as relações $W_{\text{actual}} / W_{\max}$ e $W_{\text{actual}} / W_{\min}$ (colunas 8 e 10).

A3.2 Canais de tráfego nos dois sentidos

Os resultados para canais de tráfego nos dois sentidos são apresentados do mesmo modo que para o canal equivalente de tráfego em sentido único.

A Tabela A2 e as Figuras A2, A4 e A6 mostram os resultados. Eles revelam que as larguras de 8 canais ficaram acima e a de 5 canais abaixo da largura real do canal, enquanto 3 canais permaneceram na faixa $W_{\min} - W_{\max}$. As diferenças variam entre $-2,6 B$ e $4,8 B$.

- b. A probabilidade de as CDR empregarem mais parâmetros (por exemplo, níveis de perigo de carga e altura de ondas), que possam aumentar a largura do canal acima de sua medida original.
- c. A probabilidade de as CDR aplicarem padrões de segurança mais elevados do que os do projeto original.
- d. A aplicação de regras especiais para a entrada do maior navio. Por exemplo, sob condições ambientais favoráveis ou com restrições à segunda via de tráfego (em um canal de tráfego nos dois sentidos), poderia ser concedida permissão de passagem pelo canal a um navio com boca maior do que a do navio-conceito original.

Se no questionário tiver sido mencionada somente a boca deste navio maior, a aplicação das CDR pode levar à superestimativa.

- 4. A subestimativa pelas CDR ocorre nas seguintes situações:
 - a. Canais naturais com grande largura e pouca profundidade levarão à subestimativa.
 - b. Se for informada a largura de um amplo estuário ou rio ao invés da largura da via navegável, as CDR levarão à subestimativa.

Em tais casos, a largura real do canal não limita a boca do navio.

A4. CONCLUSÕES

1. Em geral, as comparações entre as dimensões derivadas do emprego das diretrizes do Projeto-Conceito e as dimensões dos canais reais mostraram boa correlação, considerando-se as condições locais que devem ser levadas em conta quando da estimativa da largura de um canal. (ver Figuras A5 e A6).
2. Foram notadas diferenças individuais ligeiramente grandes entre a largura real do canal e a largura do canal calculada pelas CDR. As diferenças variam entre $-2,1 B$ a $1,6 B$ para canais de sentido único de tráfego e de $-2,6 B$ a $4,8 B$ para canais de tráfego nos dois sentidos.
3. A superestimativa pelas CDR é causada por:
 - a. Discrepâncias entre o navio-projeto anterior e as dimensões do maior navio atualmente autorizado a entrar no porto.

Tabela A1
Sumário das larguras existentes e de projeto, relações & diferenças
Canais de um sentido de tráfego somente.

Nº	Loc.	Largura do canal existente em m	Profund. do canal existente em m	Boca do maior navio em B	Largura do canal existente em B	Largura 1 Mínima CDR ¹ em B	Razão 2 W min/ W ² B	Largura 3 máxima CDR ³ em B	Razão 2 W max/W ² B	Faixas larguras CDR ⁴ em B	Diferença 5 em B ⁵
		W	D	B	W act. 6	W min	W min.rat	W max	W max.rat	W range	DIFF
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	externo	200	14	60	3,3	3,4	1,03	3,9	1,2	0,5	-0,1
2	interno	100	8,5	24	4,2	3,6	0,9	4,2	1,0	0,6	0,0
3	interno	87	8,2	34	2,6	3,5	1,4	3,5	1,4	0	-0,9
4	interno	150	7	40	3,8	4,2	1,1	4,7	1,3	0,5	-0,4
5	interno	200	12,2	41	4,9	3,6	0,7	4,3	0,9	0,7	0,6
6	interno	76	7,6	32	2,4	4,2	1,8	4,8	2,0	0,6	-1,8
7	externo	90	8,5	32	2,8	4,4	1,6	4,4	1,6	0	-1,6
8	interno	78	10	35	2,2	2,9	1,3	3,8	1,7	0,9	-0,7
9	externo	200	9,3	42	4,8	3,9	0,8	5,4	1,1	1,5	0,0
10	externo	152	13,7	46	3,3	4,1	1,2	4,1	1,2	0	-0,8
11	interno	122	10,5	45,7	27	3,7	1,4	3,7	1,4	0	-1,0
12	interno	150	13,5	34	4,4	3,7	0,8	3,7	0,8	0	0,7
13	interno	140	8,6	34	4,1	3,3	0,8	4	1,0	0,7	0,1
14	interno	250	13,5	58	4,3	3,6	0,8	4,3	1,0	0,7	0,0
15	externo	100	12	27,1	3,7	3	0,8	5,7	1,5	2,7	0,0
16	interno	91	11	44,2	2,1	3,8	1,8	3,8	1,8	0	-1,7
17	interno	200	10,5	34	5,9	3,3	0,6	4,3	0,7	1	1,6
18	external	300	15	52	5,8	4,8	0,8	4,8	0,8	0	1,0
19	externo	180	12,8	40	4,5	6,6	1,5	8,7	1,9	2,1	-2,1
20	interno	100	10	30	3,3	4,5	1,4	4,6	1,4	0,1	-1,2
21	interno	152	12	28	5,4	2,9	0,5	3,9	0,7	1	1,5
22	interno	180	15,2	55	3,3	4	1,2	4	1,2	0	-0,7
23	interno	183	11,6	39,6	4,6	3	0,6	3	0,6	0	1,6
24	externo	183	14,6	55	3,3	3,4	1,0	3,4	1,0	0	-0,1
25	externo	185	12,2	32	5,8	5,6	1,0	5,6	1,0	0	0,2
26	externo	183	12	34	5,4	3,3	0,6	4,7	0,9	1,4	0,7
27	externo	150	7	37	4,1	4,2	1,0	4,2	1,0	0	-1,0
28	interno	90	8,1	32,2	2,8	3,6	1,3	3,6	1,3	0	-0,8
29	externo	200	12	55	3,6	3,7	1,0	6,2	1,7	2,5	-0,1

NOTAS:

- 1) = Largura mínima de acordo com as Regras de Projeto-Conceito (CDR), empregando condições favoráveis para as variáveis de larguras adicionais. Abreviada por **W min**. Apresentada como múltiplo de B.
- 2) = Razão (Abreviada como **W min.rat** ou **W max. rat**). É determinada como segue:
Para **W min** $W \text{ min.rat} = W \text{ min} / W \text{ actual}$ (8) = (7) / (6)
Para **W max** $W \text{ max.rat} = W \text{ max} / W \text{ actual}$ (10) = (9) / (6)
- 3) = Largura máxima de acordo com as CDR, empregando condições desfavoráveis para as variáveis de larguras adicionais. Abreviada por **W max**. Apresentada como múltiplo de B.
- 4) = Faixa (abreviada como **W range**. Apresentada como múltiplo de B). É a diferença entre as larguras CDR mínima e máxima. $W \text{ range} = W \text{ max} - W \text{ Min}$ ou (11) = (9) – (7)
- 5) = Diferença (abreviada por **DIFF**. Apresentada como múltiplo de B). Determinada como segue:
Se **W actual < W min** {ou col. (6) < (7)} então **DIFF = W actual – W min** (12) = (6) – (7)
Se **W actual > W max** {ou col. (6) > (9)} então **DIFF = W actual – W max** (12) = (6) – (9)
SE **W min < W actual < W max** então **DIFF = 0**
- 6) = **W actual** é a razão entre a largura do canal existente W e a boca do navio B ($W \text{ actual} = W/B$)

Notas:

- A figura 1 mostra as larguras existentes (Wactual) e as larguras CDR (Wmin, CDR e W Max, CDR, conforme apresentado na Tabela 1.
- Os números correspondem àqueles empregados na Tabela 1
- Todas as larguras estão expressas em múltiplos de B

CANAL DE TRÁFEGO EM SENTIDO ÚNICO Wactual em relação às larguras CDR

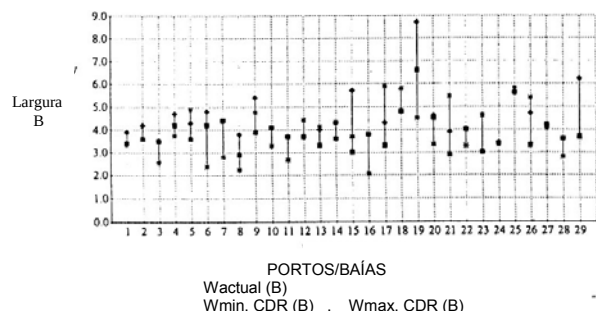


Figura A1

Notas:

- A figura 2 mostra a largura existente (Wactual) e as larguras CDR (Wmin, CDR e Wmax) conforme apresentado na tabela 2.
- Os números correspondem àqueles empregados na tabela 2.
- Todas as larguras estão expressas em múltiplos de B

CANAL DE TRÁFEGO NOS DOIS SENTIDOS Wactual em relação às Larguras CDR

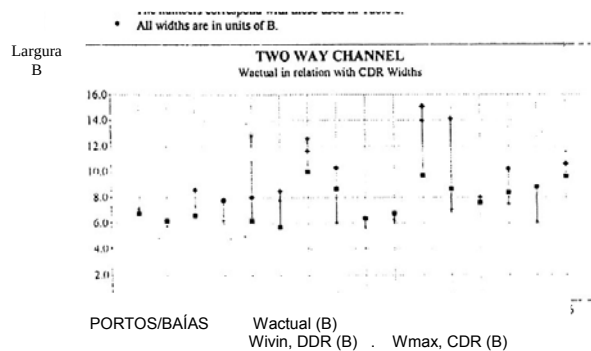


Figura A2

Tabela A2
Sumário das larguras existentes e de projeto, relações & diferenças
Canais de tráfego nos dois sentidos somente.

Nº	Loc.	Largura do canal existente em m	Profund. Do canal existente Em m	Boca do navio maior em B	Largura do canal existente em B	Largura mínima CDR Em B	Relação W min/ W W min.rel	Largura máxima CDR em B	Relação W max/W W max.rel	Faixa larguras CDR em B	Diferença em B
		W	D	B	W real	W min	W min.rel	W max	W max.rel	W faixa	DIF.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	interno	200	9,1	28	7,1	6,8	0,95	6,8	0,95	0	0,3
2	interno	150	9,5	26	5,8	6,2	1,1	6,2	1,1	0	-0,4
3	interno	300	13,5	45	6,7	6,6	1,0	8,6	1,3	2	0,0
4	interno	200	10,7	32,3	6,2	7,8	1,3	7,8	1,3	0	-1,6
5	interno	320	13	25	12,8	6,2	0,5	8	0,6	1,8	4,8
6	externo	240	11	31	7,7	5,7	0,7	8,5	1,1	2,8	0,0
7	externo	500	13	40	12,5	10	0,8	11,6	0,9	1,6	0,9
8	externo	200	25	33	6,1	8,7	1,4	10,3	1,7	1,6	-2,6
9	interno	244	11	42,7	5,7	6,4	1,1	6,4	1,1	0	-0,7
10	interno	200	11	32	6,3	6,8	1,1	6,8	1,1	0	-0,5
11	externo	960	21	69	13,9	9,7	0,7	15,1	1,1	5,4	0,0
12	externo	240	12	34	7,1	8,7	1,2	14,1	2,0	5,4	-1,6
13	interno	360	10,5	45	8,0	7,6	1,0	7,6	1,0	0	0,4
14	interno	150	10,5	20	7,5	8,4	1,1	10,2	1,4	1,8	-0,9
15	interno	200	12,9	32,5	6,2	8,8	1,4	8,8	1,4	0	-2,6
16	interno	150	11	13	11,5	9,6	0,8	10,6	0,9	1	0,9

NOTAS:

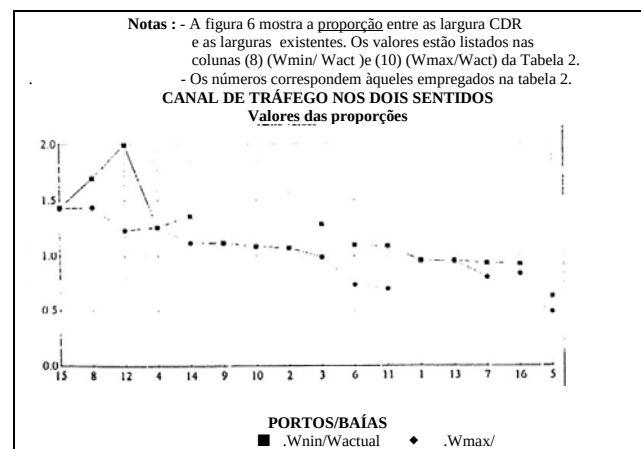
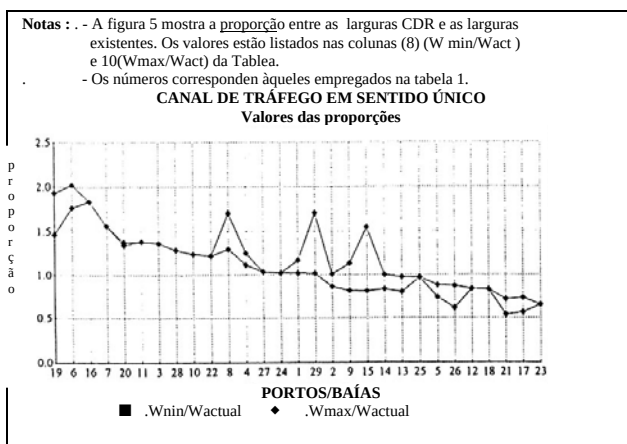
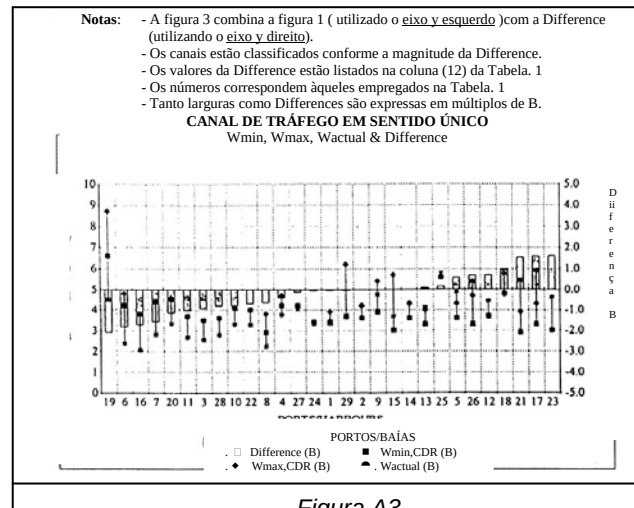
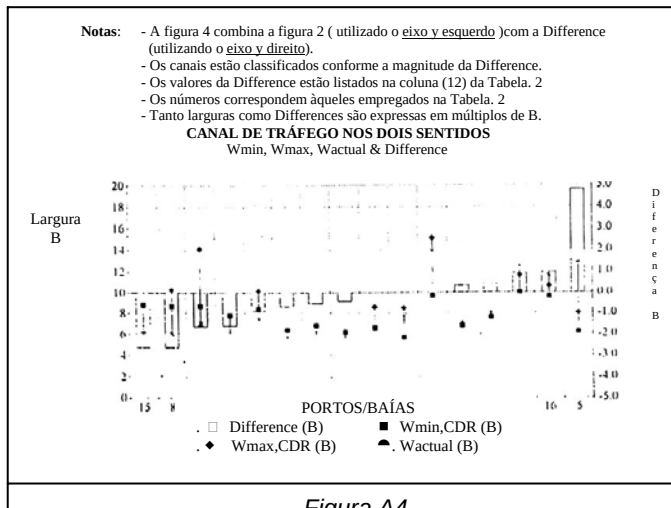
- 1) = Largura mínima de acordo com as Regras de Projeto Conceito (CDR), empregando condições favoráveis para as variáveis de larguras adicionais. Abreviada por **W min**. Apresentada como múltiplo de B.
- 2) = Razão (Abreviada como **W min.rat** ou **W max. ratio**). É determinada como segue:
 Para **W min** $W \text{ min.rat} = W \text{ min} / W \text{ actual}$ (8) = (7) / (6)
 Para **W max** $W \text{ max.rat} = W \text{ max} / W \text{ actual}$ (10) = (9) / (6)
- 3) = Largura máxima de acordo com as CDR, empregando condições desfavoráveis para as variáveis de larguras adicionais. Abreviada por **W max**. Apresentada como múltiplo de B.
- 4) = Faixa (abreviada como **W range**. Apresentada como múltiplo de B). É a diferença entre as larguras CDR mínima e máxima. $W \text{ range} = W \text{ max} - W \text{ Min}$ ou (11) = (9) – (7)
- 5) = Diferença (abreviada por **DIFF**. Apresentada como múltiplo de B). Determinada como segue:
 Se **W actual** < **W min** {ou col. (6) < (7)} então **DIFF** = **W actual** – **W min** (12) = (6) – (7)
 Se **W actual** > **W max** {ou col. (6) > (9)} então **DIFF** = **W actual** – **W max** (12) = (6) – (9)
 SE **W min** < **W actual** < **W max** então **DIFF** = 0
- 6) = **W actual** é a razão entre a largura do canal existente W e a boca do navio B (**W actual** = W/B)

Notas:

- Para caracterizar um canal, usa-se a seguinte regra:
 Se **W actual** < 6.B então Tráfego em Sentido Único
 Se **W actual** > 6.B então Tráfego nos Dois Sentidos
- Os seguintes canais foram considerados como sendo de Tráfego em Sentido Único com base naquela regra, a despeito das informações obtidas do questionário e do questionário suplementar, e foram transferidos da Tabela 2 (Canais de Tráfego nos Dois Sentidos) para a Tabela 1 (Canais de Tráfego em Sentido Único):

Nº na Tabela 1	Localização	Tipo conforme o questionário	W actual	Regra de Categorização	Classificado como
1.	externo	Sentido Duplo	3,3 B <	<6B	Sentido Único
9.	externo	Sentido Duplo	4,8 B <	<6B	Sentido Único
12.	interno	Sentido Duplo	4,4 B <	<6B	Sentido Único

16	interno	Sentido Duplo	2,1 B <	<6B	Sentido Único
27	externo	Sentido Duplo	4,1 B <	<6B	Sentido Único



APÊNDICE B

DIMENSÕES TÍPICAS DE NAVIOS

Toneladas de Porte Bruto	Deslocamento Toneladas	Comprimento Total m	Comprimento entre perpendiculares m	Boca m	Calado m	Coefficiente de bloco
Navios Tanques (ULCC)						
500.000	590.000	415.0	392.0	73.0	24.0	0.86
400.000	475.000	380.0	358.0	68.0	23.0	0.85
350.000	420.000	365.0	345.0	65.0	22.0	0.85
Navios Tanques (VLCC)						
300.000	365.000	350.0	330.0	63.0	21.0	0.84
275.000	335.000	340.0	321.0	61.0	20.5	0.84
250.000	305.000	330.0	312.0	59.0	19.9	0.83
225.000	277.000	320.0	303.0	57.	19.3	0.83
200.000	246.000	310.0	294.0	55.0	18.5	0.82
Navios tanques						
175.000	217.000	300.0	285.0	52.5	17.7	0.82
150.000	186.000	285.0	270.0	49.5	16.9	0.82
125.000	156.000	270.0	255.0	46.5	16.0	0.82
100.000	125.000	250.0	236.0	43.0	15.1	0.82
80.000	102.000	235.0	223.0	40.0	14.0	0.82
70.000	90.000	225.0	213.0	38.0	13.5	0.82
60.000	78.000	217.0	206.0	36.0	13.0	0.81
Navios Tanques - Derivados de Petróleo e Químicos						
50.000	66.000	210.0	200.0	32.2	12.6	0.81
40.000	54.000	200.0	190.0	30.0	11.8	0.80
30.000	42.000	188.0	178.0	28.0	10.8	0.78
20.000	29.000	174.0	165.0	24.5	9.8	0.73
10.000	15.000	145.0	137.0	19.0	7.8	0.74
5.000	8.000	110.0	104.0	15.0	7.0	0.73
3.000	4.900	90.0	85.0	13.0	6.0	0.74
Graneleiros/OBOs						
400.000	464000	375.0	356.0	62.5	24.0	0.87
350.000	406.000	362.0	344..0	59.0	23.0	0.87
300.000	350.000	350.0	333.0	56.0	21.8	0.86
250.000	292.000	335.0	318.0	52.5	20.5	0.85
200.000	236.000	315.0	300.0	48.5	19.0	0.85
150.000	179.000	290.0	276.0	44.0	17.5	0.84
125.000	150.000	275.0	262.0	41.5	16.5	0.84
100.000	121.000	255.0	242.0	39.0	15.3	0.84
80.000	98.000	240.0	228.0	36.5	14.0	0.84
60.000	74.000	220.0	210.0	33.5	12.8	0.82
40.000	50.000	195.0	185.0	29.0	11.5	0.80
20.000	26.000	160.0	152.0	23.5	9.3	0.78
10.000	13.000	130.0	124.0	18.0	7.5	0.78

Toneladas de Porte Bruto	Deslocamento Toneladas	Comprimento Total m	Comprimento entre perpen- diculares m	Boca m	Calado m	Coefficiente de bloco
Navios Porta Containers (Post Panamax)						
70.000	100.000	280.0	266.0	41.8	13.8	0.65
65.000	92.000	274.0	260.0	41.2	13.5	0.64
60.000	84.000	268.0	255.0	39.8	13.2	0.63
55.000	76.500	261.0	248.0	38.3	12.8	0.63
Navios Porta Containers (Panamax)						
60.000	83.000	290.0	275.0	32.2	13.2	0.71
55.000	75.500	278.0	264.0	32.2	12.8	0.69
50.000	68.000	267.0	253.0	32.2	12.5	0.67
45.000	61.000	255.0	242.0	32.2	12.2	0.64
40.000	54.000	237.0	225.0	32.2	11.7	0.64
35.000	47.500	222.0	211.0	32.2	11.1	0.63
30.000	40.500	210.0	200.0	30.0	10.7	0.63
25.000	33.500	195.0	185.0	28.5	10.1	0.63
20.000	27.000	174.0	165.0	26.2	9.2	0.68
15.000	20.000	152.0	144.0	23.7	8.5	0.69
10.000	13.500	130.0	124.0	21.2	7.3	0.70
Navios Ro-Ro						
50.000	87.500	287.0	273.0	32.2	12.4	0.80
45.000	81.000	275.0	261.0	32.2	12.0	0.80
40.000	72.000	260.0	247.0	32.2	11.4	0.79
35.000	63.000	245.0	233.0	32.2	10.8	0.78
30.000	54.000	231.0	219.0	32.2	10.2	0.75
25.000	45.000	216.0	205.0	31.0	9.6	0.75
20.000	36.000	197.0	187.0	28.6	9.1	0.75
15.000	27.500	177.0	168.0	26.2	8.4	0.74
10.000	18.400	153.0	145.0	23.4	7.4	0.73
5.000	9.500	121.0	115.0	19.3	6.0	0.71
Navios de Carga Geral						
40.000	54.500	209.0	199.0	30.0	12.5	0.73
35.000	48.000	199.0	189.0	28.9	12.0	0.73
30.000	41.000	188.0	179.0	27.7	11.3	0.73
25.000	34.500	178.0	169.0	26.4	10.7	0.72
20.000	28.000	166.0	158.0	24.8	10.0	0.71
15.000	21.500	152.0	145.0	22.6	9.2	0.71
10.000	14.500	133.0	127.0	19.8	8.0	0.72
5.000	7.500	105.0	100.0	15.8	6.4	0.74
2.500	4.000	85.0	80.0	13.0	5.0	0.77
Transportadores de Veículos						
30.000	48.000	210.0	193.0	32.2	11.7	0.66
25.000	42.000	205.0	189.0	32.2	10.9	0.63
20.000	35.500	198.0	182.0	32.2	10.0	0.61
15.000	28.500	190.0	175.0	32.2	9.0	0.56

Tonelagem Bruta	Deslocamento Toneladas	Comprimento Total m	Comprimento entre perpendiculares m	Boca m	Calado m	Coefficiente de bloco
Ferries						
50.000	25.000	197.0	183.0	30.6	7.1	0.63
40.000	21.000	187.0	174.0	28.7	6.7	0.63
35.000	19.000	182.0	169.0	27.6	6.5	0.63
30.000	17.000	175.0	163.0	26.5	6.3	0.62
25.000	15.000	170.0	158.0	25.3	6.1	0.62
20.000	13.000	164.0	152.0	24.1	5.9	0.60
15.000	10.500	155.0	144.0	22.7	5.6	0.57
Navios de Passageiros						
80.000	44.000	272.0	231.0	35.0	8.0	0.68
70.000	38.000	265.0	225.0	32.2	7.8	0.67
60.000	34.000	252.0	214.0	32.2	7.6	0.65
50.000	29.000	234.0	199.0	32.2	7.1	0.64
40.000	24.000	212.0	180.0	32.2	6.5	0.64
35.000	21.000	192.0	164.0	32.2	6.3	0.63

APÊNDICE C PREVISÃO DE SQUAT

C.1 INTRODUÇÃO

A seção 6.5 do relatório principal trata dos diferentes fatores a considerar quando da determinação da profundidade do canal. Um desses fatores é o squat, que é o efeito combinado de aumento de calado e trim devido à velocidade à vante do navio.

Como o squat pode ter um efeito predominante sobre a profundidade necessária, diversas investigações têm sido efetuadas no intuito de encontrar uma fórmula prática para fins de projeto. Enquanto não existe ainda um método aceito de modo geral, foi decidido que um subgrupo separado do Grupo de Trabalho trataria desse problema. Este Apêndice é o resultado dos esforços conjuntos desse subgrupo. Os membros do subgrupo foram:

W. Dietze	(Alemanha)
T. Rekonen	(Finlândia)
J. C. K. van Toorenburg	(Holanda)
M. Vantorre	(Bélgica)
R. Wijnstra	(Holanda)

O propósito deste apêndice é trazer ao leitor informações que contribuíram para as conclusões da Seção 6.5. A Seção C2 deste apêndice fornece algumas definições. A Seção C3 fornece a descrição e a comparação entre métodos práticos, empíricos para estimativa de squat baseados em um número limitado de parâmetros. Métodos numéricos que requeiram descrição detalhada da geometria do navio não são considerados. A seção C4 trata de alguns efeitos especiais sobre o squat, que não estão incorporados aos métodos da Seção C3. A Seção C5 faz recomendações para o emprego prático de métodos disponíveis, enquanto na Seção C6 são apresentadas propostas para investigações e pesquisas adicionais. Resultados importantes de pesquisas e investigações dos últimos 25 anos são listados na Seção C7.

C.2. DEFINIÇÕES E NOMENCLATURA

C2.1 Definições

C2.1.1 Movimentos Verticais do Navio (Figura C1)

O movimento de um navio à vante em águas calmas induz a uma velocidade relativa entre o navio e a água. Devido ao refluxo da água, esta velocidade relativa é diferente da velocidade do navio e não é uniforme ao longo de seu comprimento. Esse campo de velocidade

provoca pressões hidrodinâmicas no casco, que resultam em:

- uma depressão no nível da água, que varia ao longo do comprimento do navio;
- uma força vertical direcionada para baixo e um momento em torno do eixo transversal horizontal, causando um deslocamento do navio em seu plano vertical longitudinal de simetria, denominado squat. Isto compreende:
 - um movimento vertical total denominado afundamento (*sinkage* – s)
 - uma rotação denominada trim (θ).

Squat é a combinação de afundamento e trim. Como resultado, o movimento vertical de um ponto do casco, medido do nível calmo da água, depende de sua posição longitudinal. Geralmente, estamos interessados somente no ponto de *squat máximo* ($s_{\max}$), que em muitos casos surge na proa; por esse motivo, muitos autores têm publicado expressões para o *squat na proa* (s_b).

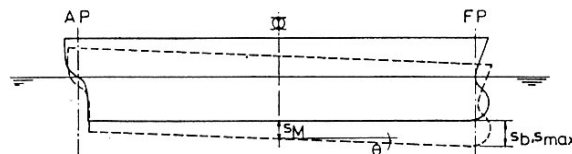


Figura C1 – Movimentos verticais do navio: definições

C2.1.2 Dimensões do Navio (Figura C2)

Além das dimensões principais do navio (*comprimento entre perpendiculares* L_{pp} , *boca* B , *calado* T , *volume de deslocamento* ∇ , *coeficiente de bloco* C_B), as seguintes características do navio são importantes em algumas fórmulas de *squat*:

- a *seção transversal submersa de meia nau* A_s ;
- o *coeficiente de aquaplanagem* C_{WP} .

$$C_{WP} = \frac{A_{wp}}{L_{WL} B} \approx \frac{A_{WP}}{L_{pp} B} \quad (1)$$

Onde A_{WP} denota a área de aquaplanagem.

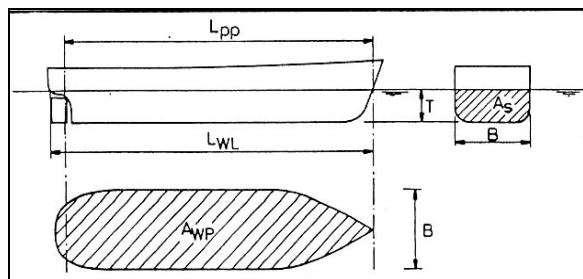


Figura C2 – Dimensões do navio: definições

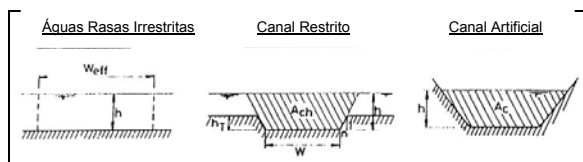


Figura C3 Configuração da Hidrovia: definições

C2.1.3 Configuração da Hidrovia (Figura C3)

A velocidade relativa entre o navio e a água é influenciada pelas dimensões da hidrovia. Fórmulas de *squat* são freqüentemente desenvolvidas para águas rasas, irrestritas (lateralmente) ou para canais artificiais. Desse modo, torna-se necessária uma ampliação dessas fórmulas quando se considera a situação de canal restrito, que recebe atenção particular neste Relatório. Algumas fórmulas para *squat* em águas abertas permitem seu cálculo em canais restritos ou em canais artificiais, pela introdução de um *coeficiente de largura restrita* K_s :

$$s(W) = K_s \cdot s(W = \infty) \quad (2)$$

Por esta razão, devem ser introduzidas definições para as três configurações básicas (águas rasas irrestritas, canal restrito e canal artificial).

A principal dimensão vertical é a *profundidade da água* (h ou h_1). Devido à depressão ao nível da água induzida pela velocidade à vante do navio, a profundidade da água tem que ser definida em condições tranqüilas. Se o fundo da hidrovia é coberto com lama fluida, h_2 refere-se à espessura da camada de lama, enquanto h_1 é medida entre a superfície livre da água e a interface água – lama. As densidades da água e da lama são representadas por ρ_1 e ρ_2 , respectivamente.

Em um canal artificial, o refluxo é determinado pela seção transversal do navio e pela *área da seção transversal do canal*, A_c . Em um canal restrito, uma área de seção equivalente A_{ch} é definida por

extrapolação das inclinações de seus limites laterais à superfície da água. Se a inclinação dos limites laterais for 1:n, e a *largura* do canal (no fundo) for W , A_{ch} é dada pela seguinte equação:

$$A_{ch} = Wh + nh^2 \quad (3)$$

No caso de um canal restrito, a altura do trecho dragado submerso é representado por h_T .

Alguns autores estendem a águas abertas lateralmente o emprego de suas fórmulas para águas restritas através da definição de uma *largura efetiva* ou *largura de influência* W_{eff} .

C2.1.4 Relacionamento Navio-Hidrovia

A *área de seção transversal livre* de um canal é representada por A_w , onde:

$$\begin{aligned} A_w &= A_c - A_s \text{ (canais artificiais)} \\ &= A_{ch} - A_s \text{ (canais restritos)} \end{aligned} \quad (4)$$

O *fator de bloqueio* S é definido como a fração da área da seção transversal da hidrovia ocupada pela seção de meia nau submersa do navio:

$$S = \frac{A_s}{A_c} \quad \text{or} \quad S = \frac{A_s}{A_{ch}} \quad (5)$$

A razão entre a seção transversal do navio e a área livre da seção transversal da hidrovia é representada por S_2 :

$$S_2 = \frac{A_s}{A_w} = \frac{A_s}{A_c - A_s} = \frac{S}{1 - S} \quad (6)$$

Se o *squat* e a depressão do nível da água forem omitidos (o que seria uma simplificação grosseira, que levaria a uma subestimação significativa do *squat*), um navio movendo-se em um canal artificial com velocidade V experimentará uma velocidade relativa da água $(1 + S_2)V$; por esta razão, S_2 é tido como o fator de retorno de velocidade.

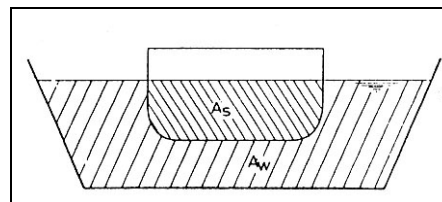


Figura C4 – Relacionamento navio-hidrovia: definições

C.2.1.5 Cinemática do Navio (Figura C5)

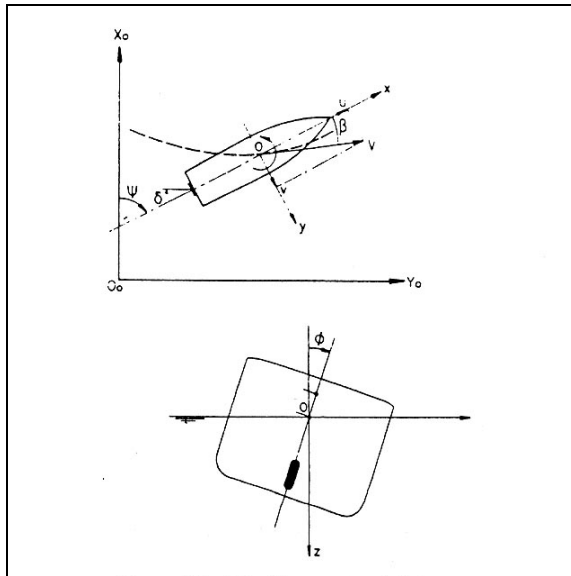


Figura C5 – Cinemática do navio: definições

A velocidade do navio V (V_k , se expressa em nós) é freqüentemente incorporada, juntamente com a profundidade da água, em um *Número Froude de profundidade* F_{nh} . Ele é útil em estudos teóricos de *squat* em águas abertas, quando $F_{nh} = 1$ age como um valor crítico, com a velocidade crítica do navio sendo expressa por V_{cr} . A velocidade de serviço do navio é expressa por V_s .

A trajetória do navio não é necessariamente uma linha reta, mas pode ser curva com um raio R . A *velocidade de guinada* ou *coeficiente de giro*, que é a velocidade angular do navio com relação a seu eixo vertical Oz , é representada por r .

O ângulo entre o eixo longitudinal de simetria do navio Ox e a linha tangente à sua trajetória é chamado de *ângulo de deriva*, representado por β .

C.2.2 Lista de símbolos

A_c	(m ²)	área da seção transversal submersa de Canal artificial
A_{ch}	(m ²)	área equivalente à da seção transversal submersa de canal restrito com as inclinações dos limites laterais extrapoladas até à superfície perpendicular de ré
AP		perpendicular de ré
A_s	(m ²)	seção transversal submersa de meia nau do navio
A_w	(m ²)	área livre da seção transversal da hidrovía
A_{WP}	(m ²)	área de aquaplanagem do navio
B	(m)	boca do navio
B_o	(m)	boca do próprio navio
b_r	(m)	largura aritmética do canal: A_c / h (Fuehrer & Römisch 1977)

C_B	(-)	coeficiente de bloco do navio: $\nabla / (L_{pp} B T)$
C_F	(-)	fator de correção para formas do navio (Römisch 1989)
C_V	(-)	fator de correção para velocidade do Navio (Römisch 1989)
C_{WP}	(-)	coeficiente de aquaplanagem do navio: $AWP / (LWL B)$
C_z	(-)	coeficiente médio de afundamento
C_θ	(-)	coeficiente de trim (Tuck 1966) (Tuck 1966)
d	(m)	distância entre o eixo longitudinal do navio e o eixo do canal
D	(m)	distância entre o casco do navio e o base da margem
F	(N)	força
F_{nh}	(-)	Número Froude de profundidade baseado em águas Tranqüilas $V / (gh)^{1/2}$
F_{nho}	(-)	Número Froude de profundidade do próprio navio: $V_o / (gh)^{1/2}$
F_{nhp}	(-)	Número Froude de profundidade do navio que está passando: $V_p / (gh)^{1/2}$
F_{nhp}	(-)	número Froude de profundidade relativo: $F_{nho} - F_{nhp}$
FP		perpendicular de vante
g	(m/s ²)	aceleração da gravidade
h, h_1	(m)	profundidade da água
h_2	(m)	espessura da camada de lama
h_m	(m)	profundidade média da água de uma hidrovía restrita ou canal artificial (Rominsch 1989)
h_{mT}	(m)	profundidade relevante da água: $h - h_T (1 - h_m/h)$ (Römisch 1989)
h_T	(m)	altura do trecho submerso dragado
K_1	(-)	fator de correção do coeficiente de bloco (Huuska 1976)
K_b	(-)	fator de correção para largura do canal (Eryuzlu 1994)
K_c	(-)	fator de correção para velocidade crítica para canal artificial (Römisch 1989)
K_{ch}	(-)	fator de correção para velocidade crítica para canal restrito (Römisch 1989)
K_s	(-)	fator de correção para largura de canal (Huuska 1976)
$K_{\Delta T}$	(-)	squat à velocidade crítica com relação ao calado (Römisch 1989)
L	(m)	comprimento do navio
L_o	(m)	comprimento do próprio navio
L_{pp}	(m)	comprimento do navio entre perpendiculares
L_{WL}	(m)	comprimento do navio na linha d'água
M	(Nm)	momento
n	(-)	(inverso) inclinação da margem
O		origem do sistema de coordenadas do navio
PMM		mecanismo de movimento de planagem
r	(rad/s, °/s)	velocidade de guinada, coeficiente de giro: $d\psi / dt$
R	(m)	raio
S_{AP}	(m)	afundamento na perpendicular de ré
S_{FP}	(m)	afundamento na perpendicular de vante
S_M	(m)	afundamento médio, de meia nau

s_B (m)	afundamento na proa
s_{max} (m)	afundamento máximo
S (-)	coeficiente de bloco: As / Ac ou As / Ach (Barras 1979)
S_1 (-)	coeficiente de bloco corrigido (Huuska 1976)
S_2 (-)	fator de velocidade de retorno: As / Aw (Barras 1979)
t (s)	tempo
T (m)	calado do navio
T_o (m)	calado do próprio navio
UKC(% de T)	lâmina d'água abaixo da quilha
V (m/s)	velocidade do navio através da água (relativa a águas calmas)
V_o (m/s)	velocidade do próprio navio
V_p (m/s)	velocidade do navio que passa
V_{cr} (m/s)	velocidade crítica do navio
V_k (nós)	velocidade do navio através da água (relativa a águas tranquilas)
V_s (m/s)	velocidade de serviço do navio
∇ (m³)	volume de deslocamento do navio
W (m)	largura do canal, medida no fundo
W_{eff} (m)	largura efetiva da hidrovia
x (m)	coordenada longitudinal do navio
x_o (m)	distância longitudinal entre os centros de gravidade de navios cruzando ou ultrapassando.
y (m)	coordenada lateral do navio
y_o (m)	distância lateral entre os eixos longitudinais de navios cruzando ou ultrapassando
z (m)	coordenada vertical do navio
β (rad, °)	ângulo de deriva
θ (°, m/m, mm/m)	trim
ρ_1, ρ (kg/m³)	densidade da água
ρ_2 (kg/m³)	densidade da lama
ϕ (rad, °)	ângulo de adernamento balanço
ψ (rad, °)	ângulo de aproamento
Ω (-)	curvatura adimensional da esteira L/R

conseqüente diminuição da lâmina d'água abaixo da quilha.

O *squat* depende principalmente dos seguintes efeitos:

- velocidade do navio com relação à água;
- configuração da hidrovia, que é a relação profundidade da água/calado do navio e a relação largura da hidrovia/boca do navio;
- configuração do casco do navio, principalmente expressa pelo coeficiente de bloco C_B .

Muitos autores têm investigado teórica ou empiricamente o problema do *squat* em condições particulares ou gerais (ver Referências). Aqueles que tiveram seu uso prático provado nas últimas décadas são descritos aqui em detalhes.

Uma abordagem teórica fundamental do *squat* foi feita por Tuck (1966), baseada na teoria potencial de corpos esguios. Seus resultados para determinar afundamento e trim na faixa de velocidade subcrítica $F_{nh} < 1$ foram:

- afundamento médio:

$$S_M = C_z \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad (7)$$

- ângulo de trim:

$$\theta = C_\theta \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad (8)$$

nos quais os dois coeficientes C_z e C_θ são funções das características do casco do navio. Tuck e Taylor (1970) desenvolveram essas equações e fizeram algumas aproximações para águas rasas de largura infinita.

Os autores a seguir fizeram as equações de Tuck e Taylor mais aplicáveis a propósitos práticos e de uso mais geral.

- **Hooft** (1974) deduziu a seguinte fórmula para *squat*:

$$S_b = S_m + \frac{1}{2} L_{pp} \theta = (C_z + \frac{1}{2} C_\theta) \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad (9)$$

com $C_z = 1,4 \dots 1,53$ em uma grande faixa de formas de navios para as quais é recomendado o valor $C_z = 1,46$

e $C_\theta = 1,0$.

O acima leva a

C3. SQUAT EM ÁGUAS RASAS

C.3.1 Descrição de Métodos Práticos

Um navio navegando a uma certa velocidade obviamente necessita deslocar água. A água desse modo é posta em movimento à volta da proa e retorna ao repouso na popa do navio. A água que flui ganha energia cinética da energia potencial que possuía antes de ser posta em movimento. Isto resulta em uma depressão localizada da superfície da água ao redor do navio. Nessa depressão, o navio flutua e navega como se o *squat* não existisse. O *squat* não pode, desse modo, ser considerado como um aumento no calado do navio; antes, seu efeito é um deslocamento para baixo do navio com relação à superfície geral da água, com

$$S_b = (1.9 \dots 2.03) \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad (10)$$

- **Huuska (1976)** empregou a equação de Hoot e descobriu que um coeficiente de 2,4 fornece uma correlação melhor para os valores dispersos de testes com modelos para hidrovias lateralmente irrestritas, efetuados por vários laboratórios. Ele ampliou a equação pela introdução de um fator de bloco K_s para incluir canais restritos e canais artificiais, empregando as investigações de Guliev (1971, 1973).

$$S_b = 2.4 \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} K_s \quad (11)$$

Com $K_s = 7,45 s_1 + 0,76$ para $s_1 > 0,03$

$K_s = 1$ para $s_1 \leq 0,03$

$s_1 = (A_s / A_{ch}) / K_1$

K_1 = fator de correção, ver Figura C6

A_s = área da seção de meia nau do navio – 0,98 BT

A_{ch} = área da seção transversal submersa do canal restrito/canal artificial com inclinação extrapolada à superfície da água, ver Figura C6.

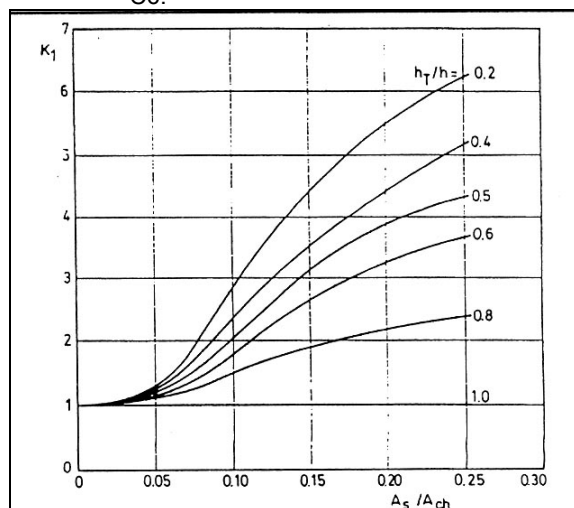


Figura C6 – Fator de Correção K_1 (Huuska, 1976)

- **ICORELS (1980)** fez uso da equação de Hoot, propondo, no entanto, um coeficiente empírico de Huuska de 2,4 para squat na proa de um navio de formas convencionais:

$$S_b = 2.4 \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad (12)$$

Para navios de formas cheias com um C_B alto, alguns autores recomendaram um coeficiente cujo valor varia entre 1,75 e 2,4.

- **Millward (1990)** encontrou a seguinte expressão para squat máximo de proa, a partir de testes experimentais com modelos de navios de vários tipos de cascos ($0,44 \leq C_B \leq 0,83$) em um canal de largura irrestrita ($W/L_{pp} \sim 2$ e relações comprimento de casco/profundidade da água L/h de 6 a 12:

$$S_b = (15.0 C_B \frac{B}{L_{pp}} - 0.55) \frac{F_{nh}^2}{1 - 0.9 F_{nh}^2} \frac{L_{pp}}{100} \quad (13)$$

Millward declarou que sua fórmula “provavelmente superestimaria o squat e portanto erraria no que toca à segurança”.

- **Millward (1992)** recalculou seus resultados de testes empregando o mesmo formato básico da equação de Tuck. Ele deduziu uma fórmula empírica baseada no coeficiente de bloco C_B conforme mencionado acima e na relação calado/comprimento T/L , que resultou:

$$S_b = (61.7 C_B \frac{T}{L_{pp}} - 0.6) \frac{L_{pp}}{100} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \quad (14)$$

- **The National Physical Laboratory, Londres (1975)** sugeriu um método gráfico para navios de formas cheias (ver Figura C7), que considera o trim inicial do navio. O *plot* é válido para navios tanques em condições de mar aberto com pouca lâmina d'água sob a quilha.

- **Barras I (1979)** propôs experimentalmente a fórmula empírica

$$S_b = 3.75 C_B S_2^{\frac{1}{2}} \left(\frac{V}{V_s} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{V^2}{2g} \quad (15)$$

Ele analisou os resultados de squat de diferentes navios e de testes com modelos de C_B de 0,5 a 0,9 tanto em condições de mar aberto como de canais restritos para relações h/T na faixa de 1,1 a 1,5. Para águas irrestritas lateralmente (restrições de profundidade somente), a largura efetiva W_{eff} da hidrovia deveria ser de pelo menos

$$W_{eff} = [7,7 + 45 (1 - C_{wp})^2] B \quad (16)$$

Isso leva à largura efetiva $W_{eff} \geq 8B$, presumindo-se $C_{WP} \approx 0,9$

- **Barrass II** (1979, 1981) modificou e simplificou sua fórmula inicial para resultar:

$$S_{max} = \frac{C_B S_k^2 V_k^{2.08}}{30} \quad (17)$$

- **Eryuzlu e Hausser** (1978) fizeram investigações experimentais com navios tanques de grande porte com carga total em águas irrestritas com profundidade restrita ($1,08 \leq h/T \leq 2,75$). As análises dos resultados para *squat* na proa resultaram

$$S_b = 0.113 \left(\frac{T}{h} \right)^{0.27} B F_{nh}^{1.8} \quad (18)$$

- **Eryuzlu e colaboradores** (1994) efetuaram extensos testes com modelos de navios de carga geral e graneleiros de proa bulbosa ($C_B \geq 0,8$, $L/B = 6,7 - 6,8$, $B/T = 2,4 - 2,9$) em águas irrestritas lateralmente e com calado restrito ($1,1 \leq h/T \leq 2,5$). O efeito da largura do canal no *squat* foi investigado em testes suplementares com modelos, efetuados em um canal restrito totalmente submerso (altura do trecho dragado submerso $h_T = 0,5 h$, inclinação das margens $n = 2$).

Uma fórmula empírica, válida tanto para canais restritos como para canais artificiais, foi obtida e avaliada por meio de medições de *squat* em tamanho natural.

$$S_b = 0.298 \frac{h^2}{T} \left(\frac{V}{\sqrt{gT}} \right)^{2.289} \left(\frac{h}{T} \right)^{-2.972} K_b \quad (19)$$

com

$$K_b = \frac{3.1}{\sqrt{\frac{W}{B}}} \quad \text{when} \quad \frac{W}{B} < 9.61$$

$$K_b = 1 \quad \text{when} \quad \frac{W}{B} \geq 9.61 \quad (20)$$

Römisch (1989) desenvolveu sua fórmula empírica a partir de amplas investigações com modelos, com base na velocidade crítica do navio V_{cr} . Ela é válida tanto para canais irrestritos e restritos como para canais artificiais dentro da faixa de $h/T = 1,19$ a $2,25$.

$$S_b = C_v C_F K_{\Delta T} T \quad (21)$$

com:

$$C_v = 8 \left(\frac{V}{V_{cr}} \right)^2 \left[\left(\frac{V}{V_{cr}} - 0.5 \right)^4 + 0.0625 \right] \quad (\text{ver tabela c1})$$

$$C_F = \left(\frac{10 C_B B}{L_{pp}} \right)^2 \quad (\text{para squat na proa})$$

$$= 1$$

$$K_{\Delta T} = 0.155 \sqrt{\frac{h}{t}} \quad (\text{para squat na popa}) \quad (22)$$

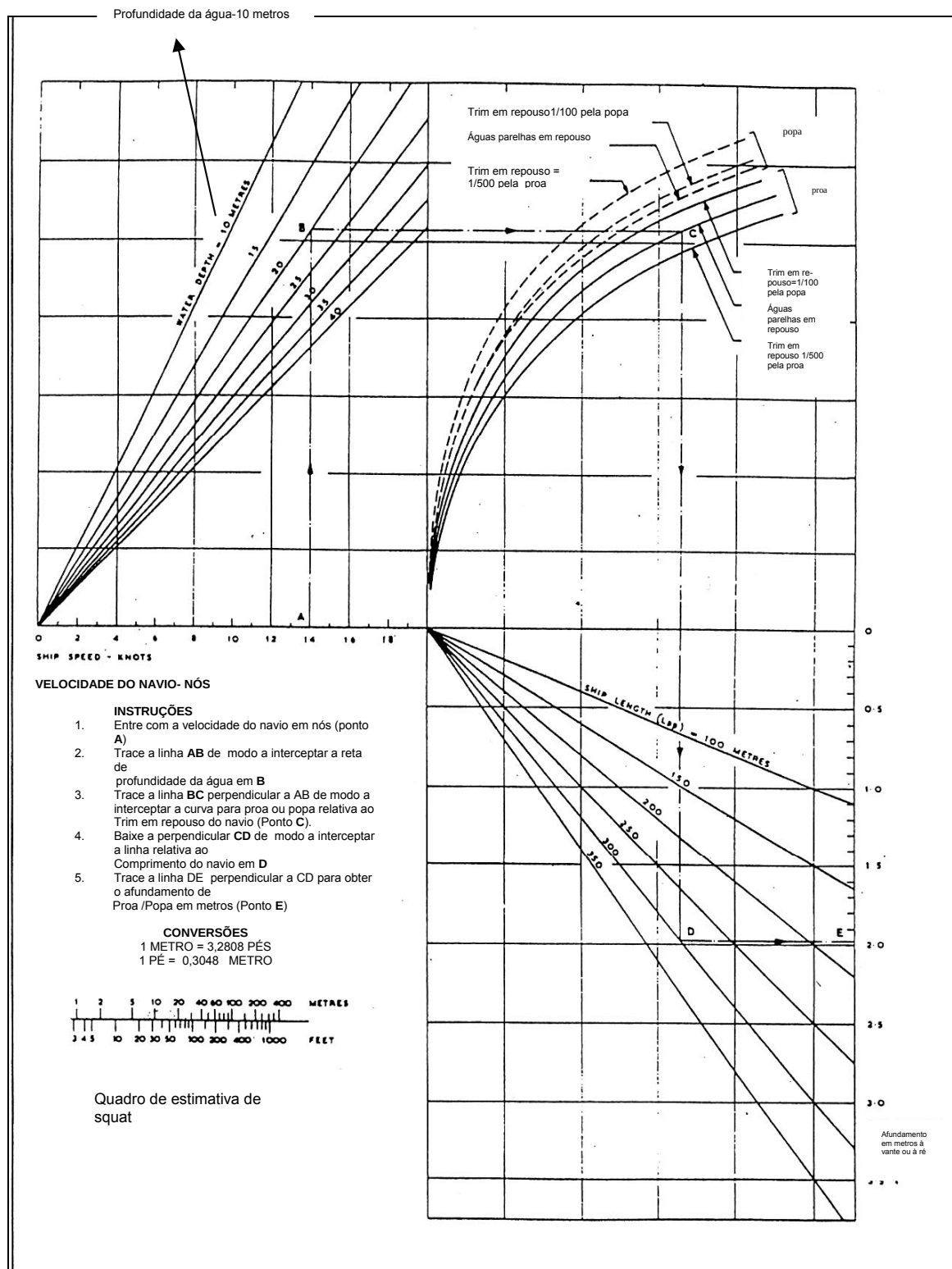


Figura C7 – Método gráfico para previsão de squat para navios de formas cheias
(National Ports Council, 1975)

Tabela C1

V/V _{cr}	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
C _v	0,023	0,046	0,080	0,125	0,180	0,251	0,362

A velocidade crítica do navio V_{cr} depende do tipo de hidrovia:

- Águas rasas irrestritas:

$$V_{cr} = 0.58 \left(\frac{h}{T} \frac{L}{B} \right)^{0.125} \sqrt{gh} \quad (23)$$

- Canal artificial com seção transversal retangular ou trapezoidal:

$$V_{cr} = K_c \sqrt{gh} \quad \text{or} \\ = K_c \sqrt{gh_m} \quad (24)$$

O valor de K_c é dado na **Tabela C2**

Ac/As	1	6	10	20	30	∞
K _c	0	0,52	0,62	0,73	0,78	1,0

- Canal restrito:

$$V_{cr} = \left[K_{ch} \left(1 - \frac{h_T}{h} \right) + K_c \frac{h_T}{h} \right] \sqrt{gh_{mT}} \quad (25)$$

Com:

$$K_{ch} = 0.58 \left(\frac{h}{T} \frac{L}{B} \right)^{0.125} \quad (26)$$

$$h_{mT} = h - h_T \left(1 - \frac{h_m}{h} \right) \quad (27)$$

C3.2 Emprego dos Métodos

Quando empregando uma das fórmulas mencionadas na Seção C3.1 em uma situação prática, deve-se ter em mente que:

- todas as fórmulas devem generalizar o problema, e
- a maioria das fórmulas foi desenvolvida para condições particulares e desse modo têm limites de aplicabilidade.

Desse modo, experiência e discernimento são situações necessárias para sua aplicação. A Tabela C3 pode ser útil para selecionar a fórmula mais adequada a uma

particular, considerando as seguintes notas adicionais (ver também Seção C4).

- Todos os métodos são válidos para canais retos com fundo plano e velocidades subcríticas de navios ($F_{nh} < 1$).
- O tipo de hidrovia e o coeficiente de bloco C_B decidem a fórmula apropriada.
- Os limites de h/T e L/h devem ser respectivamente observados.

O squat resultante será maior na proa para todos os navios de formas cheias carregados (i.e., navios com alto coeficiente de bloco) e para navios mercantes normais navegando carregados em águas rasas irrestritas. Para navios de alta velocidade com C_B < 0,7 em canais restritos muito estreitos ou canais artificiais, o squat máximo deverá ocorrer pela popa. O trim inicial influencia a localização do squat máximo.

C3.3 Resultados das Fórmulas de Squat – Uma Comparação

Três navios mercantes comuns, cujas características são dadas na Tabela C4, foram selecionados para comparação de valores de squat calculados com a fórmula apropriada da Tabela C3.

As Figuras C8 a C10 mostram os valores de squat pela proa resultantes para águas rasas irrestritas com uma relação profundidade/calado de 1,2. Note-se que as curvas de Millward 1990 e 1992 não satisfizeram, para os três navios, a suposição $6 \leq L/h \leq 12$ feita em seus testes com modelos.

C4. EFEITOS ESPECIAIS EM SQUAT

As fórmulas de squat prevêem squat em águas abertas ou restritas para condições estáveis, sem levar em conta o formato da hidrovia ou a influência do tráfego de outras embarcações. Para muitos canais, as condições de projeto são:

- canal reto
- único navio
- sem mudanças súbitas na configuração do canal.

TABELA C3

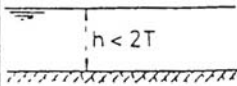
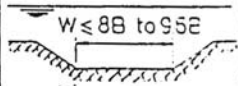
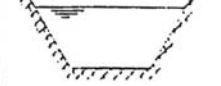
UNRESTRICTED SHALLOW WATER ÁGUAS RASAS IRRESTRITAS		RESTRICTED CHANNEL CANAL RESTRITO		CANAL CANAL ARTIFICIAL	
					
CB ≥ 0.8	CB < 0.8	CB ≥ 0.8	CB < 0.8	CB ≥ 0.8	CB < 0.8
Barras I + II 1.1 ≤ h/T ≤ 1.5	Barras I + II 1.1 ≤ h/T ≤ 1.5	Barras I + II 1.1 ≤ h/T ≤ 1.5	Barras I + II 1.1 ≤ h/T ≤ 1.5	Barras I + II 1.1 ≤ h/T ≤ 1.5	Barras I + II 1.1 ≤ h/T ≤ 1.5
Eryuzlu/Hausser 1.08 ≤ h/T ≤ 2.75					
Eryuzlu et al 1.1 ≤ h/T ≤ 2.5		Eryuzlu et al 1.1 ≤ h/T ≤ 2.5			
Huuske 1.1 ≤ h/T ≤ 2.0	Huuske 1.1 ≤ h/T ≤ 2.0	Huuske/Guliev 1.1 ≤ h/T ≤ 2.0	Huuske/Guliev 1.1 ≤ h/T ≤ 2.0	Huuske/Guliev 1.1 ≤ h/T ≤ 2.0	Huuske/Guliev 1.1 ≤ h/T ≤ 2.0
ICORELS	ICORELS				
Millward 1990 0.6 ≤ L/h ≤ 12	Millward 1990 0.6 ≤ L/h ≤ 12				
Millward 1992 0.6 ≤ L/h ≤ 12	Millward 1992 0.6 ≤ L/h ≤ 12				
Nat. Ports Council 10 ≤ h ≤ 40 m					
Römisch 1.19 ≤ h/T ≤ 2.29	Römisch 1.19 ≤ h/T ≤ 2.29	Römisch 1.19 ≤ h/T ≤ 2.29	Römisch 1.19 ≤ h/T ≤ 2.29	Römisch 1.19 ≤ h/T ≤ 2.29	Römisch 1.19 ≤ h/T ≤ 2.29

TABELA C4

Tipo de navio	Lpp (m)	B (m)	T (m)	CB	L/T	L/B
tanque 250.000TPB	330	50	20	0,85	16,5	6,6
graneleiro 65.000 TPB	245	35	13	0,76	18,8	7,0
Porta containers Panamax	270	32	12,5	0,60	21,6	8,4

TABELA C5

Aumento do squat em função da profundidade da água e da distância à margem vertical

h/T	Distância do navio à margem	
	0,5 B	B
1,1	47%	24%
1,2	25%	16%

Em alguns casos, no entanto, as condições são mais complicadas. Este capítulo descreve os efeitos de tais condições. Esses efeitos somente devem ser levados em conta se um deles ocorrer normalmente ou não

puder ser compensado com outras medidas, ou regras. Na maioria das vezes não é possível fornecer dados exatos para cada condição.

C.4.1 Cruzando e Ultrapassando Navios

O *squat* é provocado pela velocidade da água ao redor do casco do navio. Se um outro navio está próximo, este fluxo de água será influenciado e também o será o *squat*. Os efeitos no *squat* dependem de diversos fatores: direção, velocidade e dimensões do outro navio e configuração da hidrovia.

O efeito de interação entre navios que se encontram foi estudado por Dand (1981); como exemplo, as Figuras C11 e C12 mostram históricos de afundamento à meia nau e trim durante situações de cruzamento e ultrapassagem, para diversos valores de profundidade

da água/calado e separação lateral/boca do navio. A Figura C13 mostra as seguintes relações em função da proporção entre as velocidades dos dois navios:

- afundamento máximo à meia nau/afundamento constante à meia nau;
- squat máximo pela proa/squat constante pela proa;
- squat máximo pela popa/ squat constante pela popa.

Para uma razão entre as velocidades próxima à unidade, o squat pela proa parece aumentar entre 50% a 100% durante cruzamentos e ultrapassagens.

Não se conhecem métodos ou regras práticas efetivas que levem em consideração esses fatores. Se cruzamentos e/ou ultrapassagens só ocorrerem ocasionalmente, a melhor solução é a redução da velocidade. Se tais manobras ocorrerem freqüentemente, deve ser levado em conta um aumento no squat. Deve-se ter em mente, no entanto, que manobras de cruzamento e ultrapassagem não somente causam squat adicional, mas também forças laterais e movimentos de guinada. Os efeitos destes últimos na manobrabilidade e controlabilidade do navio somente podem ser diminuídos pela redução da velocidade e/ou maior separação lateral entre os navios.

C4.2 Proximidade de Margens

Os métodos da Seção C3 para canais de largura restrita e canais artificiais levam em consideração o efeito de margens somente de maneira indireta, uma vez que se presume que o navio esteja navegando no centro da hidrovia. Na maioria dos casos, a presunção é válida. No entanto, o *squat* aumenta se o navio estiver navegando próximo à margem, uma vez que a pressão hidrodinâmica sobre o navio é afetada pela margem.

Testes com modelos (National Ports Council, 1980) mostraram que o afundamento adicional devido à proximidade da margem aumenta se:

- a distância entre o casco do navio e a base da margem diminuir;
- a relação entre profundidade da água e calado do navio diminuir;
- O número Froude F_{nh} aumentar;
- A quantidade de água sobre a margem diminuir (mais significativo do que a inclinação da margem).

squat na proa para navio-tanque de 250.000 TPB

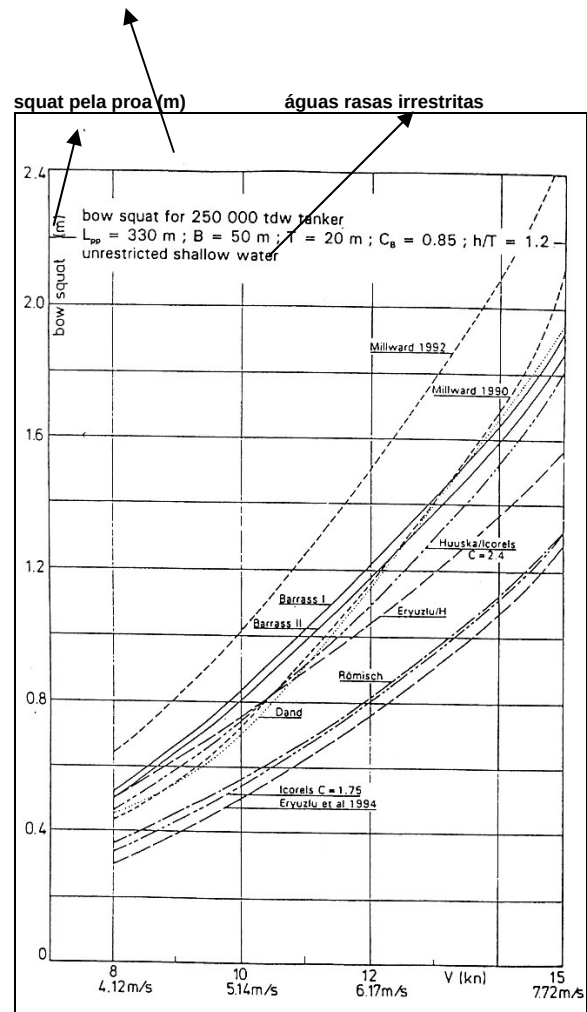


Figura C8- Squat na proa para navio tanque de 250.000 TPB ($L_{pp} = 330$ m; $B = 50$ m; $T = 20$ m $C_B = 0,85$) em águas rasas irrestritas ($h/T = 1,2$)

Uma estimativa desse *squat* adicional para navios com coeficiente de bloco C_B entre 0,70 e 0,85 e um trim estático de não mais de 0,01 do comprimento do navio é mostrada na Figura C14 para uma configuração típica de margem inundada. Uma margem de canal artificial que aflora à superfície causa *squat* adicional. O emprego da Figura C14 requer conhecimento do *squat* normal quando em curso (ver Seção C3), que é a média do afundamento normal na proa e popa. O *squat* adicional devido à margem pode então ser lido como um múltiplo do *squat* médio; este último é somado ao afundamento normal da proa ou da popa. O *squat* adicional somente será desprezível se a distância do navio à margem for de mais de $2B$ ou $3B$, dependendo do número Froude; números Froude maiores requerem maior separação. O efeito de margem no trim dinâmico de um navio parece ser insignificante.

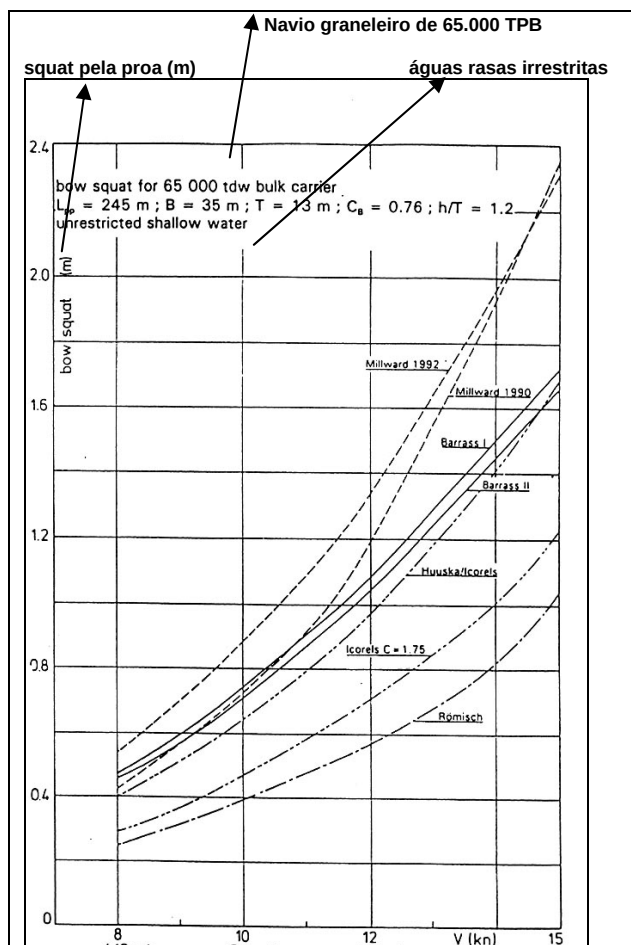


Figura C9 – Squat pela proa para graneleiro de 65.000 TPB ($L_{pp} = 245$ m; $B = 35$ m; $T = 13$ m; $C_B = 0,76$) em águas rasas irrestritas ($h/T = 1,2$)

Quando operando em uma hidrovia de uma dada profundidade, o afundamento adicional pode ser reduzido efetivamente diminuindo-se a velocidade do navio ao se aproximar da margem de um canal restrito ou de um canal artificial.

Fuehrer e Römisch (1977) propuseram uma fórmula para navios navegando fora do centro em um canal. Nesse caso, a velocidade crítica necessária para o cálculo de squat (ver Seção C3.1) pode ser obtida de:

$$V_{cr,d} = \left(1 - 0.3 \frac{d}{b_r}\right) K_c \sqrt{gh_m}$$

Onde d é a distância entre o eixo longitudinal do navio e o eixo do canal, e b_r a largura aritmética do canal artificial ($= A_c / h$).

Este problema foi também discutido por Huuska (1976).

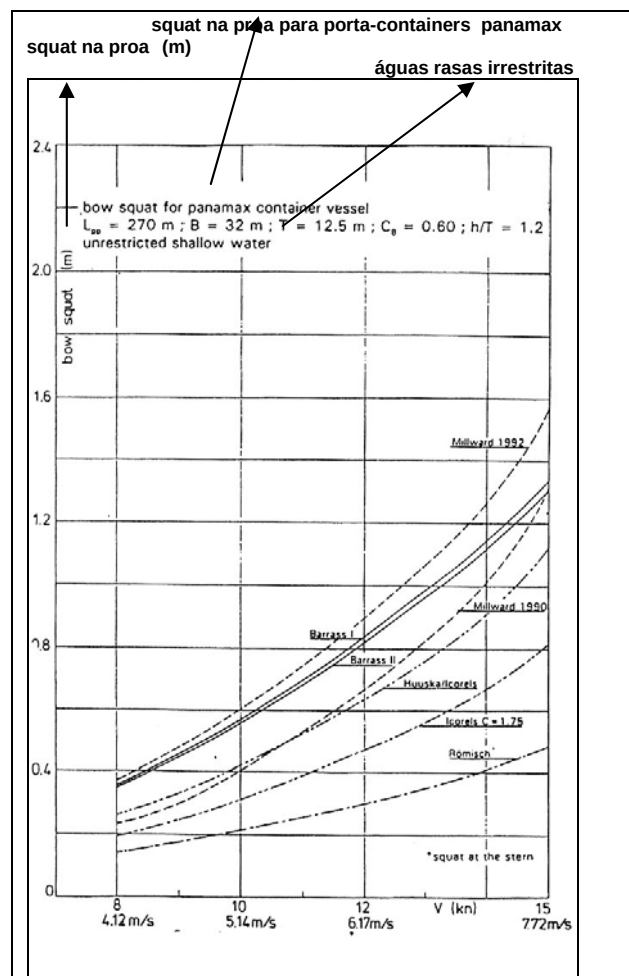


Figura C10 – Squat pela proa em navio porta containers panamax ($L_{pp} = 270$ m; $B = 32$ m; $T = 12,5$ m; $C_B = 0,60$) em águas rasas irrestritas ($h/T = 1,2$)

C4.3 Configuração do Fundo de Hidrovias

Os métodos de cálculo discutidos no Capítulo C3 são válidos para condições estáveis, caracterizadas por velocidade do navio e profundidade da água constantes. Em hidrovias naturais ou parcialmente dragadas, podem ocorrer grandes variações de profundidade, causando fenômenos de squat inconstante, transiente.

Quando a profundidade da água de um canal de acesso diminui gradualmente, a resistência do navio aumenta. Isto reduz sua velocidade e, como resultado, o squat também é reduzido.

Por outro lado, a situação se torna crítica quando o navio está passando de águas profundas para uma área rasa com mudança abrupta na profundidade. Em tais casos, o navio pode adentrar a área rasa a toda força (velocidade para águas profundas), o que resultaria em um squat significativo. Mais ainda, a transição entre as duas condições constantes pode ser

caracterizada por violentas oscilações (arfagem e caturro). Recomenda-se que a velocidade do navio seja ajustada de modo que o número Froude de profundidade F_{nh} não exceda o valor de 0,5.

Embora não haja estudos suficientes para apresentar um método para determinação de squat sobre um *sill* ou em uma área rasa limitada, o presente estado da arte (Haatainen e colaboradores, 1978) indica que o último não excede valores de squat encontrados sobre um fundo plano de mesmo número Froude de profundidade.

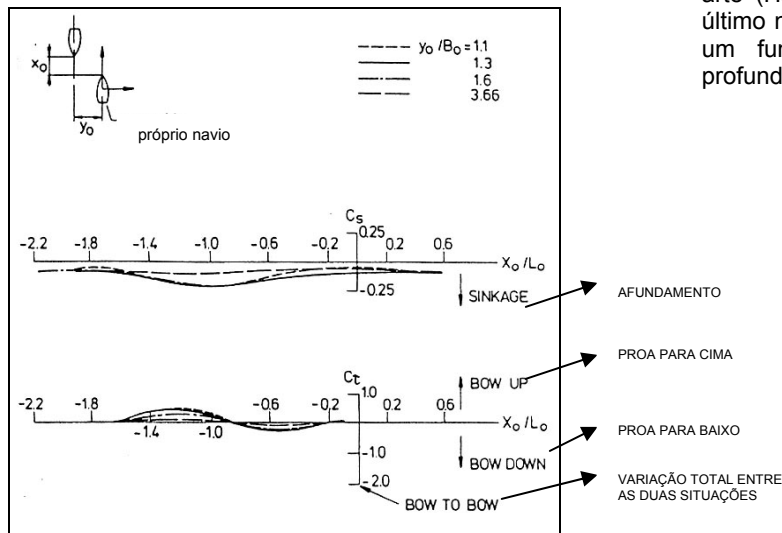


Figura C11 – Cruzamentos
 $h/T_o = 1,2$; $F_{nhR} = 0,67$.
 Efeito de y_o / B_o sobre afundamento e trim
 (Dand, 1981)

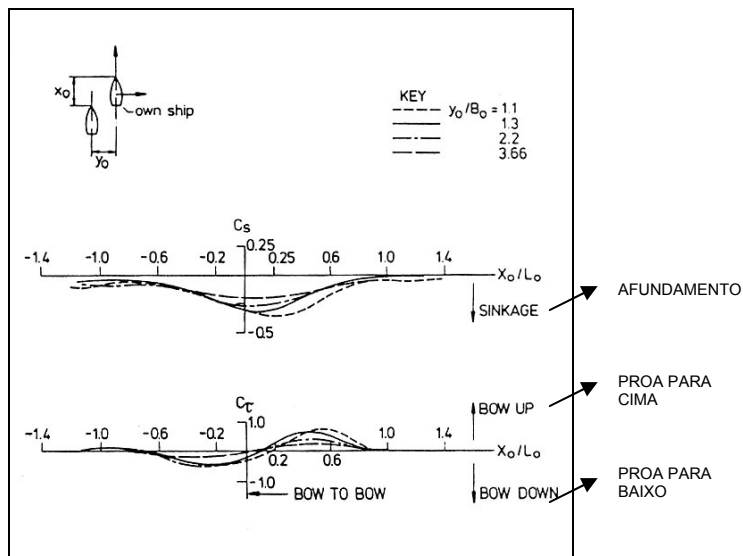
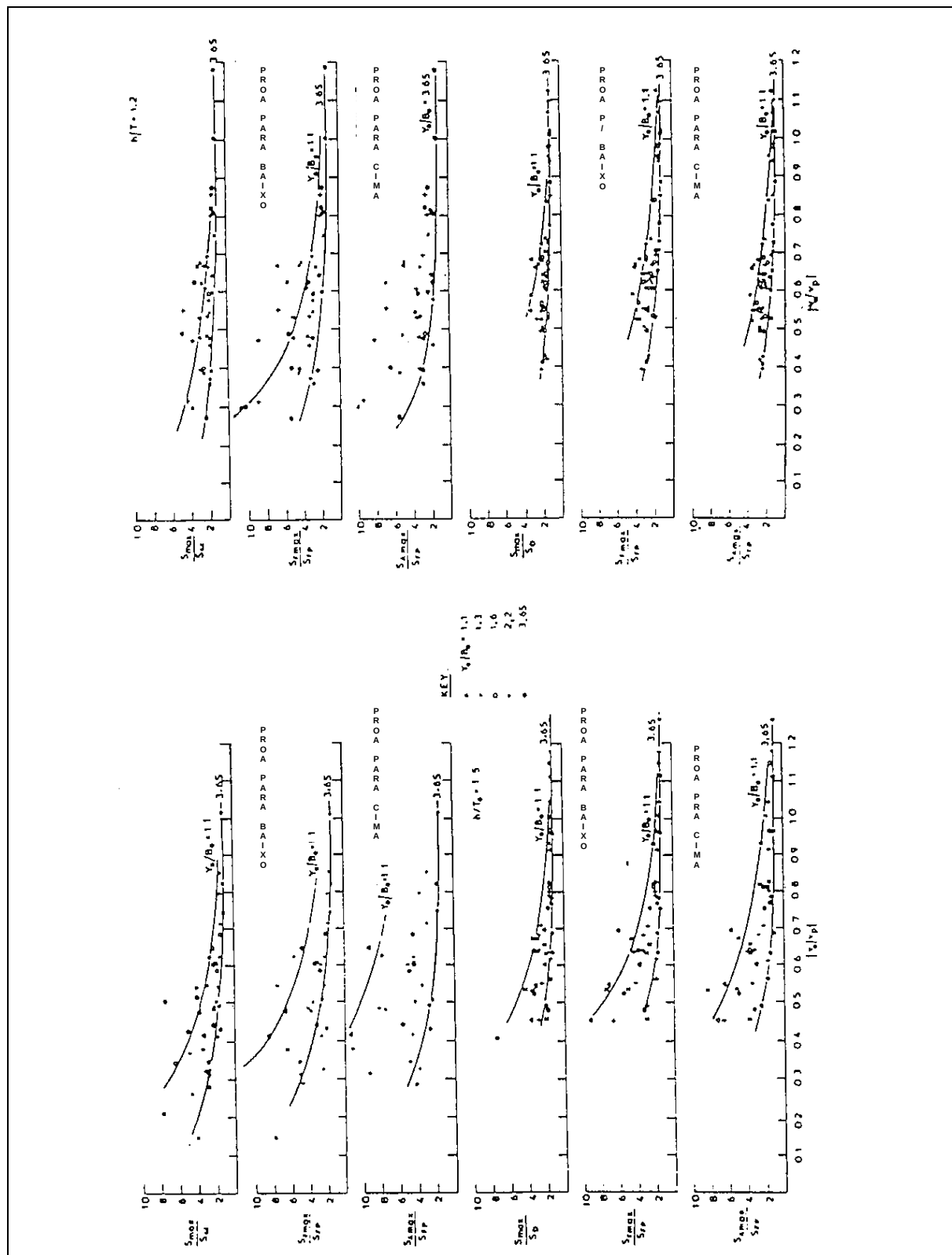


Figura C12 – Ultrapassagem:
 $h/T_o = 1,2$; $F_{nhR} = - 0,269$
 Efeito de y_o / B_o sobre afundamento e trim
 (Dand, 1981)

A amplitude do *squat* não é sensível à extensão das águas rasas. Um *sill* com largura de 0,3 vez o comprimento do navio pode induzir um *squat* transiente da mesma magnitude que um fundo de mar plano de extensão infinita.



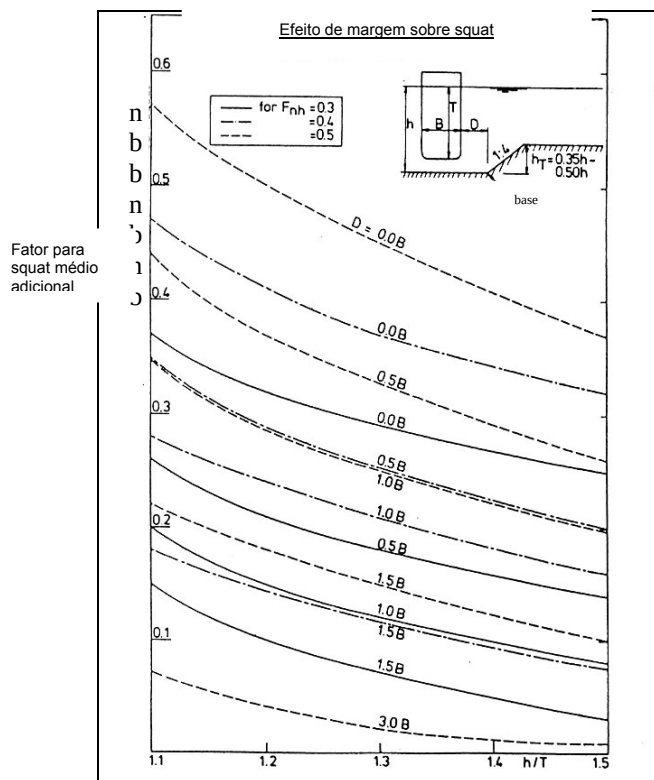


Figura C14 – Efeito de margem sobre squat
(National Ports Council, 1980)

C4.4 Fundos de Lama

A terminologia empregada neste parágrafo é explicada no Apêndice D.

A presença de uma camada de lama fluida no fundo de um canal influencia o afundamento e o trim de um navio devido a dois efeitos.

- A área de pressão ao redor do casco em movimento provoca ondulações na interface água-lama (ou as chamadas “ondas internas”) que, por sua vez, modificam a distribuição de forças verticais sobre o comprimento do navio modificando, portanto, afundamento e trim.
- Se a quilha do navio penetra a camada de lama, a força hidrostática (flutuação) agindo na parte submersa do navio é aumentada devido à densidade maior da lama.

Como a deformação da interface é função da velocidade do navio, os efeitos descritos em (a) são dependentes da velocidade; a influência de (b), por outro lado, depende da lâmina d'água abaixo da quilha. Como resultado, deve-se fazer uma distinção entre as faixas de velocidade e de lâmina d'água abaixo da quilha.

Na maioria dos casos, a presença de camadas de lama reduz o *squat*, de modo que previsões de *squat* para situações de fundo sólido geralmente resultam em superestimativas seguras. Existem duas exceções:

- baixas velocidades com lâminas d'água abaixo da quilha positivas e relativamente grandes;
- altas velocidades com lâminas d'água abaixo da quilha negativas e espessas camadas de lama de baixa densidade (baixo gradiente de concentração).

O primeiro caso não é de maior importância, uma vez que o *squat* a baixa velocidade é pequeno. A segunda exceção, por outro lado, deve ser levada em consideração caso o canal deva ser usado a velocidades de 8 nós ou mais.

C4.5 Deriva e Guinada

C4.5.1 Introdução

Geralmente, investigações teóricas e experimentais do fenômeno de *squat* consideram somente navegação a velocidade constante à vante com deriva zero ao longo de um curso retilíneo. Em diversas situações, tais suposições implicam em uma simplificação:

- um navio navegando com vento pelo través somente é capaz de seguir um curso constante com um certo ângulo de deriva;
- em curvas, guinadas e movimentos laterais são superpostos à velocidade à avante.

Estes tipos adicionais de movimentos devem ser levados em consideração quando da determinação da lâmina d'água total abaixo da quilha, já que as velocidades relativas da água e, portanto, as pressões hidrodinâmicas e, portanto o *squat*, são modificados.

C4.5.2 Estado da Arte

Neumann (1969) desenvolveu uma teoria para calcular características de fluxo à volta, e de forças sobre, um corpo delgado sob fluxo lateral em águas rasas.

Um método numérico tridimensional utilizando a teoria potencial foi proposto por Leiva von Bovet (1985) para calcular fluxo ao redor do casco do navio em águas rasas. Esse método permite a avaliação de afundamento e trim devido ao movimento horizontal em uma trajetória curva com um ângulo de deriva. O método foi ampliado por Martin e Puls (1986), levando em conta o efeito do hélice.

Esta revisão mostra que não estão disponíveis métodos práticos, empíricos para avaliação de efeitos *squat* em navios navegando em uma trajetória curva ou com um ângulo de deriva.

C4.5.3 Exemplos

Resultados de testes com modelos e cálculos teóricos publicados por Martin & Puls (1986) são exibidos na Figura C15. Eles mostram o efeito de deriva e curvatura

de rota sobre força vertical e momento de trim agindo sobre um cargueiro.

Como exemplos, os resultados mostram:

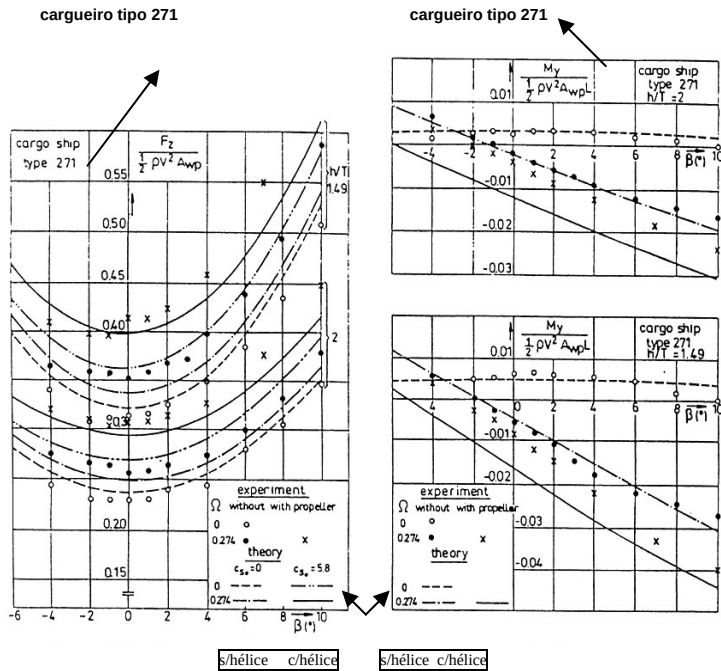


Figura C15 – Coeficientes de força vertical e momento de trim em função do ângulo de deriva em diferentes profundidades de águas com e sem hélice. (Martin e Puls, 1986)

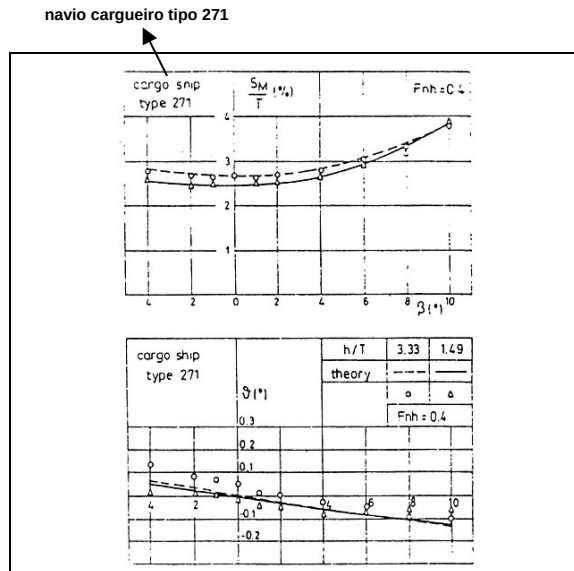


Figura C16 – Mudanças no calado e trim em função do ângulo de deriva; $L/R = 0,32$ (Martin e Puls, 1986; Leiva von Bovet, 1985)

- um ângulo de deriva de 10° parece resultar em um aumento na força vertical de 50% ou mais;
- o movimento de guinada devido a uma curvatura na trajetória com raio de 3,65 vezes o comprimento do navio causa um aumento de cerca de 10%.

Os efeitos no afundamento do navio e no trim são demonstrados na Figura C16.

O efeito de deriva sobre o afundamento médio, trim e afundamento pela proa são também ilustrados na Figura C17, mostrando resultados dos testes com modelo de um graneleiro efetuados no Flanders Hydraulics, Antuérpia. Resultados preliminares de testes de guinada PPM com um graneleiro ilustram a influência da curvatura da rota no afundamento e trim: a Figura C18 mostra que, devido ao movimento de guinada, o afundamento da proa aumenta por cerca de 25% em uma curva com raio $R = 2,5 L$. O efeito de deriva não está incluído.

C5. RECOMENDAÇÕES

A comparação entre estimativas de squat de acordo com diferentes métodos na Seção C3.3 mostra que desvios importantes podem ocorrer, sendo cerca de 2 a razão entre os resultados máximos e mínimos. Presentemente, os motivos para tais desvios não estão claros, de maneira que não é possível recomendar um método único de estimativa de squat. No entanto, algumas diretrizes gerais podem ser fornecidas.

- Algumas fórmulas são desenvolvidas explicitamente para uma configuração particular de hidrovia, uma faixa restrita de profundidade de águas e/ou um tipo específico de navio. A Tabela C3 pode ser utilizada para selecionar um método apropriado de estimativa.
- Os cálculos sistemáticos da Seção C3.3 mostram que alguns métodos resultam em valores sistematicamente altos (por ex., Millward) ou baixos (por ex., Eryuzlu, Römisch) de valores de squat; a fórmula ICORELS/Huuska parece produzir um resultado médio. Por essa razão, a fórmula ICORELS é recomendada no estágio de projeto-conceito de um canal. Considerando as possíveis consequências do contacto com o fundo, devido entre outros fatores ao tipo de carga e à estrutura do fundo, pode-se tomar decisões a respeito de empregar uma fórmula mais “otimista” ou “pessimista”.

- Se forem esperados problemas de squat com um tipo específico de navio em condições particulares, recomenda-se testes com modelos. É aconselhável, no entanto, executar tais testes com modelos de navios auto-propulsados; se forem empregados modelos rebocados, a conformação do dispositivo de reboque exige atenção especial a fim de evitar momentos de forças adicionais que causem trim extra.
- Recomenda-se que estimativas de squat feitas durante o estágio de projeto sejam validadas por meio de observações em tamanho. Tal avaliação posterior pode levar a modificações nos calados permissíveis ou a correções no programa de dragagem de manutenção.
- A maioria das fórmulas de squat é destinada a navios se movendo em curso reto e no centro de um canal. O desvio dessas condições pode levar a aumento no squat.

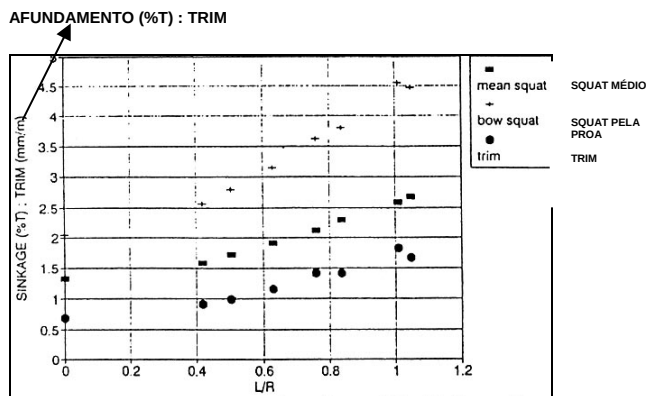


Figura C18 – Teste com modelo em escala de graneleiro (264 x 32 x 12,25 m³, escala 1/64, h/T = 1,1, sem ação de hélice): influência da curvatura da rota sobre afundamento e trim (Flanders Hydraulics, Antuérpia)

Geralmente, não estão disponíveis métodos de cálculo para condições especiais. O squat aumenta, a partir de condições constantes, nos seguintes casos:

- cruzamentos e ultrapassagens;
- curso descentrado em relação à linha central do canal;
- sills, águas rasas transitentes;
- fundos de lama: velocidade relativamente alta (> 8 nós), lâmina d'água negativa sob a quilha, lama com baixo gradiente de densidade;
- deriva (por ex., devido a vento, curvas) e guinadas (curvas).

Em tais condições, o aumento do squat pode ser atenuado empregando-se velocidades mais baixas ou aumentando-se a profundidade da água.

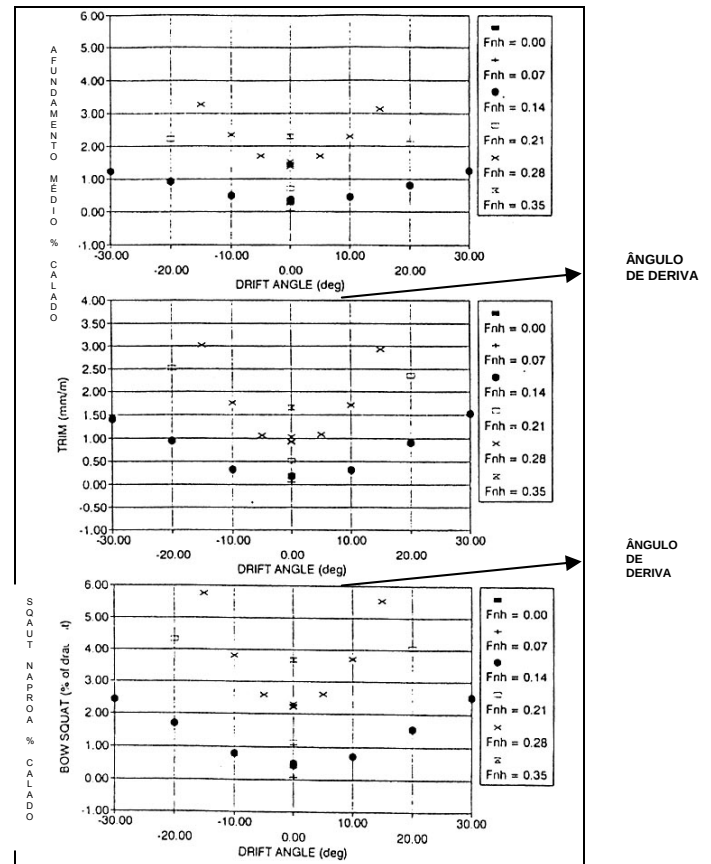


Figura C17 – Testes com modelo de graneleiro em escala (259,6 x 43 x 14,6 m³, escala 1/70, h/T = 1,2, sem ação de hélice): influência da deriva sobre afundamento e trim (Flanders Hydraulics, Antuérpia)

C6. PROPOSTAS

C6.1 Propostas para Pesquisas Adicionais

Estimativas de squat baseadas em fórmulas propostas por diversos autores freqüentemente resultam em desvios muito significativos, conforme ilustrado na Seção C3.3. Como exemplo dos dois extremos, a Figura C8 mostra que a fórmula de Eryuzlu resulta um squat de 0,76m pela proa para um navio tanque de 250.000 TPB navegando a uma velocidade de 12 nós em águas abertas com 20% de lâmina d'água abaixo da quilha, enquanto a fórmula mais recente de Millward resulta 1,5m.

Outro exemplo é dado na Figura C19, comparando os resultados de fórmulas empíricas de squat com dados publicados pela SNAME em "The MARAD Systematic Series of Full-form Ship Models"³⁹. Os resultados são surpreendentes. Por exemplo a uma velocidade de 10 nós com 20% de lâmina d'água abaixo da quilha, as

³⁹ 1 Série MARAD de Modelos de Navios de Formas Cheias

equações de Millward, que tendem a superestimar, resultam em um afundamento da proa de aproximadamente 1m; as de ICORELS resultam 0,75m e as de Eryuzlu 0,5m. A publicação das séries MARAD, por outro lado, resulta um afundamento da proa de 1,4 m.

O seguinte pode contribuir para explicar essas diferenças:

- (1) Os resultados MARAD e as fórmulas de Millward são baseados em testes com modelos rebocados, enquanto os testes de Eryuzlu foram efetuados com modelos auto-propulsados. Se o impacto da auto-propulsão é desse modo significativo, isto implica que deveria ser questionada a credibilidade dos resultados de muitos testes cativos com modelos rebocados.
- (2) Uma Segunda explicação concerne à geometria do navio. É possível que os efeitos de *squat*, e particularmente o trim, dependam muito da geometria da parte de vante do corpo do navio, por exemplo, do tipo de proa. Eryuzlu levou em consideração somente navios com proas bulbosas, enquanto a série de MARAD consistia de navios com proas arredondadas ou cilíndricas.
- (3) Outros fatores podem ter importância: efeitos de escala, análise diferente dos dados de *squat*, verificação por meio de medições em tamanho real sob condições comparáveis.

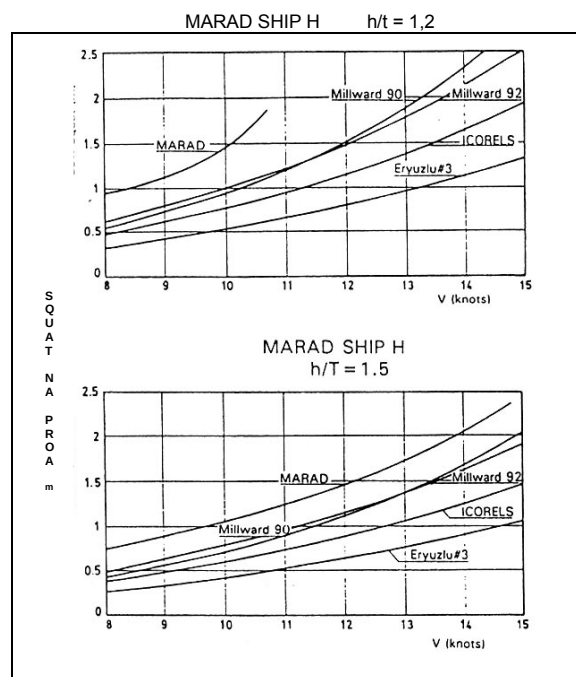


Figura C19 – Squat de proa para modelo MARAD de navio: valores experimentais versus métodos de previsão

Uma explicação completa pode somente ser dada através de uma análise crítica de resultados

experimentais. Uma abordagem teórica poderia também ser útil, sendo que ambos poderiam ser tarefas para um grupo de trabalho futuro.

C6.2 Propostas para Medições

Uma vez que diferentes métodos de previsão mostram diferenças significativas, torna-se necessário validar tais métodos com medições *in loco*. Se efeitos especiais são esperados para um dado canal, a necessidade de medição (modelo ou *in loco*) é ainda maior. Também pode ser necessária a verificação do protótipo com relação à política de admissão. Neste item serão fornecidas algumas considerações sobre medições *in loco*.

Pode existir a necessidade de medições de *squat* *in loco* para:

- canais restritos
- águas rasas irrestritas
- águas abertas e profundas
- *sills*.

Considerando as medições, os seguintes itens podem ser importantes:

- Métodos e instrumentos de medição: análises de falhas e confiabilidade são essenciais, antes e após as medições.
- Itens relacionados ao navio:
 - geometria do navio, condições de carregamento, estabilidade (longitudinal e transversal), sistema de propulsão;
 - posição e velocidade do centro de gravidade, orientação e velocidades com relação ao centro de gravidade, leme, rotações do hélice;
 - ângulo de deriva relativo à água, eventualmente relativo a terra.
- Itens relacionados à água:
 - ondas, vagas, marés, profundidade, correntes, temperatura (gradiente), salinidade (gradiente).
- Itens relacionados ao fundo do mar:
 - contornos, propriedades do solo, textura.
- Itens relacionados ao meio ambiente:
 - Ventos

Uma profusão de métodos de medição tem sido empregada e exemplos podem ser encontrados em Dand e Ferguson (1973), Nawrocki (1994), Eryuzlu e colaboradores (1994), e medições em Outer Weser, na Alemanha. Todos têm desvantagens. Os métodos aceitos são baseados em testes com modelos, para os quais foram efetuadas verificações com navios protótipos.

Na opinião do Grupo de Trabalho, existe uma necessidade urgente de medições-protótipos confiáveis, efetuadas com navios cuidadosamente selecionados, sob várias condições e em diferentes tipos de localidades, especialmente na faixa mais alta de velocidade. Recentemente, tornaram-se disponíveis os recursos dos sistemas de posicionamento por satélite (GPS). A maior vantagem desses sistemas sobre os métodos em uso no passado é que os sistemas baseados em satélites, em princípio, são capazes de providenciar medições altamente confiáveis e exatas quase que em qualquer lugar do oceano.

Quais são os próximos passos?

Medições in loco, na situação atual, são essenciais para que se obtenha um melhor discernimento sobre a aplicabilidade dos vários métodos de cálculo de squat. As medições podem se revelar essenciais para fornecer uma base sólida para o entendimento teórico.

C7. REFERÊNCIAS

- BARRASS, C.B.: "Ship Handling Problems in Shallow Water". Marine Engineers Review, 1979, pp. 17-19.
- BARRASS, C.B.: "The Phenomena of Ship Squat". International Shipbuilding Progress, No.26, 1979, pp.44-47, and Terra et Aqua, Aqua, No. 18, 1979, pp. 16-21.
- BARRASS, C.B.: "A Unified Approach to Squat Calculations for Ships". PIANC Bulletin No. 32, 1979, pp 3-10.
- BARRASS, C.B.: "Ship Squat – A Reply". The Naval Architect, November 1981, pp. 268-272.
- BLAAUW, H.; VAN DER KNAAP, F.: "Prediction of Squat of Ships Sailing in Restricted Water". Proceedings of 8th International Harbour Congress, Antwerp, June 1983, pp. 2.81-2.93. Waterloopkundig Laboratorium, Delft Hydraulics Laboratory, No. 302, 1983, pp. 1-13.
- BOUGIS, J.: "Calcul du surenfoncement des navires animés d'une vitesse en route". A.T.M.A., Session 1984. pp. 255-272.
- BROSSARD C., DELOUIS A., GALICHON P., GRANBOULAN J., MONADIER P.: "Navigability in Channels Subject to Siltation – Physical Scale Model Experiments". Proceedings of the 22nd Coastal Engineering Conference, Delft, 1990. Volume 3, pp. 3088-3103. ASCE, New York, 1990.
- CONG, L., HSIUNG, C.C.: "Computing Wave Resistance, Wave Profile, and Sinkage and Trim of Transom Stern Ships". Proceedings of the Third International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Marine and Offshore Industries (CADMO 91), Key Biscayne, 1991, pp. 99-112.
- CONSTANTINE, T.: "On the Movements of Ships in Restricted Waterways". Journal of Fluid Mechanics, Vol. 9, Part 2, 1960, pp.247-256.
- DAND, I. W., FERGUSON, A.M.: "The Squat of Full Ships in Shallow Water". The Naval Architect, No.4, Oct. 1973, pp. 237-255..
- DAND, I.W. : "Full Form Ships in Shallow Water, Some Methods for the Prediction of Squat in Subcritical Flows". National Physical Laboratory, Report No. 160, 1972, pp. 1-24.
- DAND, I.: "Some Measurements in Interaction Between Ship Models Passing on Parallel Courses". NMI R108, August 1981.
- DAND, I.W.: "On Ship-Bank Interaction". R.I.N.A, 1981, pp. 25-40.
- ERYUZLU, N.E. , HAUSSE, R.: "Experimental Investigation into Some Aspects of Large Vessel Navigation in Restricted Waterways". Proceedings of the Symposium of Aspects of Navegability of Constraint Waterways Including Harbour Entrances, Vol. 2, 1978, pp. 1-15.
- ERYUZLU, N.E., CAO, Y.L., D'AGNOLO, F.: "Underkeel Requirements for Large Vessels in Shallow Waterways". 28th International Navigation Congress, PIANC, Leningrad 1977, pp. 17-25.
- FÜHRER, M., RÖMISCH, K.: "Effects of Modern Ship Traffic on Inland and Ocean Waterways and Their Structures". 24th International Navigation Congress, PIANC, Leningrad 1977, pp. 236-244.
- GATES, E.T, HERBICH, J.B.: "Mathematical Models for the Design, Operation and Economic Analysis of Deep-Draft Navigation Channels". PIANC XXIV, Leningrad 1977, pp. 175-181.
- GULIEV, U.M.: "On Squat Calculations for Vessels Going in Shallow Water and Through Channels". PIANC Bulletin 1971, Vol I, No 7, pp. 17-20.
- HAATAINEN, P., LUND, J., KOSTILAINEN, V.: "Experimental Investigation on the Squat In Changing Water Depth Conditions". Helsinki University of Technology Ship Hydrodynamics Laboratory, Otaniemi, Report No. 14, 1978.
- HILGERT, H., BENEDICT, K.: "Kleefreiheit in Bregenztz Fahrwassern". Schiff & Hafen / Seewirtschaft, Heft 12, 1990, pp. 66-69 and Heft I, 1991, pp. 59-61.
- HOOFT, J.P.: "The Behavior of a Ship in Head Waves at Restricted Water Depth". International Shipbuilding Progress. No. 244, Vol. 21, 1974, pp. 367.
- HUUSKA, O.: "On the Evaluation of Underkeel Clearances in Finnish Waterways". Helsinki University

of Technology, Ship Hydrodynamics Laboratory, Otaniemi, Report No. 9, 1976.

ICORELS (International Commission for the Reception of Large Ships); "Report of Working Group IV". PIANC Bulletin No. 35, Supplement, 1980.

LEIVA VON BOVET, G.: "Tiefgangs- und Trimmwinkeländerungen von Schiffen unter Berücksichtigung Endlicher Wassertiefe und Einfluß auf die Steuerbarkeit". Schiffbauforschung, Vol. 24, No. I, S. 3-11. 1985.;

MARTIN, H., PULS, D.: "Vertical Forces, Trim Moments and Changes of Draught and Trim of Ships in Shallow Water". Schiffbauforschung Vol. 25, No. 3, S. 155-159. 1986.

MILLWARD, A.: "A Preliminary Design Method for the Prediction of Squat in Shallow Water". Marine Technology, Vol. 27, No. 1, Jan. 1990, pp. 10-19.

MILLWARD, A.: "A Comparison of the Theoretical and Empirical Prediction of Squat in Shallow Water". International Shipbuilding Progress, Vol. 39, No. 417, 1992, pp. 69-78.

NAGHDI, P.M., RUBIN, M.B.: "On the Squat of a Ship". Journal of Ship Research, Vol. 28, No. 2, June 1984, pp. 107-117.

National Ports Council: "Ship Behaviour in Ports and their Approaches". Part 2. Additional sinkage caused by sailing in the proximity of channel bank, 1980. Part 3. The prediction of squat for vessels in shallow waters, 1981. Part 4. Addition sinkage caused by blockage when sailing in a narrow waterway. 1982. Research Transport Headquarters, London.

National Ports Council: "Port Approach Design – a Survey of Ship Behaviour Studies". Vol I e II. Londres, 1975.

NAWROCKI, S.: "Full –Scale Measurements of Sinkage and Trim of a Bulk Carrier". Boletim PIANC nº 82, 1994, págs. 77-82.

NEWMAN, J.N.: "Lateral Motion of a Slender Body Between two Parallel Walls". Journal of Fluid Mechanics, Vol. 39, nº 1, págs. 97-117, 1969

NORRBIN, N.H.: "ship Underkeel and Side Clearance for Sea Passage". Schiff & Hafen, Heft 7, 1984, págs. 56-60.

PIANC: "Underkeel Clearance for Large Ships in Maritime Fairways with Hard Bottom", Boletim PIANC nº 51, Suplemento, 1985, págs. 1-25.

RIBADEAU-DUMAS, L.: "L'entretien des Navires dû à leur Mouvement". L'Enquête Technique du Service des Phares et Balises, nº 53, 1982, págs. 24-55.

RÖMISCH, K.: "Empfehlungen zur Bemessung von Hafeneinfahrten", Wasserbauliche Mitteilungen der Technischen Universität Dresden, Heft 1, 1989, págs. 39-63.

RÖMISCH, K.: "Der "Squat" in Berggrenzten Fahrwassern – Betrachtung aus Hydromechanischer Sicht". Schiff & Hafen/Seewirtschaft, Heft 10, 1993, págs. 58-62

ROSEMAN, D.P. (Editor): "the MARAD systematic Series of Full-Form Ship Models". SNAME (The Society of Naval Architects and Marine Engineers), Jersey City, 1987.

SELLMEIJER R., VAN OORTMERSEN, G.: "The Effect of Mud on Tanker Manoeuvres". Spring Meetings, RINA, Paper nº 7 I The Royal Institution of Naval Architects, Londres, 1983.

SEREN D. B., FERGUSON, A.M., Mc GREGOR, R. C.: "Squat – an Examination of Two Practical Prediction Methods". The Naval Architect, nº 5, Setembro de 1981, págs. E228-E230.

Transportforskningsdelegationen: "Sjötransporter, Farleders Säkerhet (Sea Transportation, Fairways and Safety)". Stockholm, 1983, pp. 5.1 – 5.14.

TUCK E.O.; TAYLOR, P.J.: "Shallow Water Problems in Ship Hydrodynamics". Proceedings 8th Symposium on Naval Hydrodynamics, Pasadena, 1970.

URLAUB, M.: "Squat and Keel Clearance – Problems and Repercussions from a Pilot's Point of View (in Germany)". Schiff & Hafen / Seewirtschaft, Vol. 45, nº 1, January 1993, p. 44.

Väg – och Vattenbyggnadsstyrelsen, Vattenvägsavdelningen: "Planeringsdirektiv för Farleder (Planning Manual for Fairways) – (Manual de Planejamento para Águas Navegáveis)". Helsinki, 1980, págs. 31-39.

VAN CRAENENBROECK K., VANTORRE M. DE WOLF P.: "Navigation in Muddy Areas: Establishing the Navigable Depth in the Port of Zeebrugge". Proceedings of the CEDA-PIANC Conference, Accessible Harbours, Amsterdam, novembro de 1991.

VANTORRE M., COEN I.: "On Sinkage and Trim of Vessels Navigating Above a Mud Layer". Proceedings 9th KVIV Harbour Congress, págs. 4.149-161, KVIV, Antwerp, 1988.

VANTORRE, M.: "Systematische proevenreeksen met het zelfaangedreven schaalmodel van een sleepopperzuiger boven een mengsel petroleum-trichloorethaan als slijbsimulatiemateriaal: experimentale waarnemingen en theoretische

interpretaties". Rijksuniversiteit Gent & Waterbouwkundig Laaboratorium Borgehout. Gent/Antwerpen, 1990.

VANTORRE M.: "Ship Behaviour and Control at Low Speed in Layered Fluids". Proceedings International Symposium on Hydro-and Aerodynamics in Marine Engineering (HADMAR), BSHC, Varna, 1991.

VERMEER, H.: "The Behaviour of a Ship In Restricted Waters", International Shipbuilding Progress, Vol. 234, nº 280, 1977, págs. 323 – 336.

WATT, D.: "Vessel Performance In Confined and Restricted Channels of the St. Lawrence River". Ministry of Transport, Ottawa, dezembro de 1970, pages 1-34.

WAUGH, R.G.: "Water Depths Required for Ship navigation". Journal of Waterways, Harbours and Coastal Ennineering Division, ASCE, Vol. 97, 1971, págs. 455-474.

WENS F., DE WOLF P., VANTORRE M., DE MEYER C.: "a Hydro-Meteoro System for Monitoring Shipping Traffic in Narrow Channels in Relation with the Problem of the Nautical Bottom in Muddy Areas". 27th International Navigation Congress, Section II, Subject I, págs. 5-16. PIANC, Osaka, 1990.

"Estimating the bow and Stern Sinkage of a Ship Under Way in Shallow Water". The Naval Arthitect. Nº 1, jan. 1973, págs. 6-7.

APÊNDICE D

PROFUNDIDADES EM ÁREAS DE FUNDO DE LAMA: O ENFOQUE DO FUNDO NÁUTICO

D.1. SUMÁRIO

De um ponto de vista prático e operacional, um enfoque de fundo náutico requer:

- (a) um critério prático, i.e., a seleção das características físicas da lama, agindo como um parâmetro para o enfoque de fundo náutico e seu valor crítico;
- (b) um método prático de verificação, para a contínua averiguação do nível aceito;
- (c) um valor mínimo para a necessária lâmina d'água livre sob a quilha (UKC) com referência ao fundo náutico, assegurando um risco mínimo de contacto com este último e um comportamento aceitável do navio;
- (d) conhecimento do comportamento do navio nessas situações; se necessário, medidas para compensar efeitos adversos na controlabilidade e manobrabilidade.

A seção D.2 trata de tópicos a respeito das exigências (a) e (b). Estas estão mutuamente relacionadas, uma vez que é inútil selecionar um parâmetro para o qual não esteja disponível um método de verificação prático e contínuo. Algumas propriedades físicas da lama que interessam ao enfoque de fundo náutico serão discutidas sumariamente, seguindo-se uma revisão dos procedimentos práticos para determinação do fundo náutico.

A Seção D.3 fornece uma pesquisa detalhada sobre o comportamento de navios navegando em áreas de lama, e é portanto mais relacionada aos itens (c) e (d). O comportamento do navio (resistência, manobrabilidade, propulsão, etc.) é afetado pela presença de camadas de lama devido principalmente:

- à geração de ondulações internas na interface entre água e lama, que depende de algumas propriedades da lama, como densidade e espessura da camada, mas também das características do navio, como calado, UKC⁴⁰ e velocidade à vante;

- às propriedades reológicas da lama (viscosidade, rigidez), que são responsáveis por forças adicionais agindo sobre o casco do navio.

A seção D.4 fornece algumas sugestões para pesquisas adicionais.

D.2 DETERMINAÇÃO PRÁTICA DO FUNDO NÁUTICO

D.2.1 Características da Lama (Ver Referências D3, D4 e D27)

As propriedades reológicas de um fluido caracterizam sua resistência ao fluxo, deformação e mudanças estruturais. A reologia é representada graficamente por um reograma (curva de fluxo), fornecendo a relação entre variação da velocidade $\dot{\gamma} \equiv d\gamma / dt$ e tensão de cisalhamento T . A inclinação $dT / d\dot{\gamma}$ dessa curva é denominada *viscosidade diferencial dinâmica* e a relação $T / \dot{\gamma}$ é chamada *viscosidade dinâmica aparente*.

Para um fluido Newtoniano (por ex., água) não existe diferença entre as viscosidades dinâmicas diferencial e aparente, de modo que a reologia é caracterizada completamente por um parâmetro somente: a *viscosidade dinâmica* η . (Figura D.1a.). A lama, por outro lado, é um material visco-plástico (ou *shear thinning*⁴¹), o que significa que a viscosidade dinâmica aparente é uma função uniformemente decrescente da variação da velocidade (ver Figura D.1.c).

Para propósitos de engenharia, a lama é constantemente considerada como um fluido Bingham determinado reologicamente por (ver Figura D.1.b):

- sua *viscosidade dinâmica* (diferencial) η ;
- sua tensão de escoamento ou *rigidez inicial* T

Comparações com a Figura D.1c mostram que empregar um modelo de Bingham para descrever a reologia da lama implica em uma séria simplificação, por diversos motivos:

⁴⁰ Neste apêndice, UKC refere-se à interface lama-água em repouso, a menos que especificado em contrário.

⁴¹ Cuja viscosidade muda quando se altera a tensão de cisalhamento.

- a inclinação de um reograma de lama não é constante, mas diminui com a variação da velocidade;
- relações diferentes são encontradas com variações para maior ou menor na tensão de cisalhamento: é necessária uma tensão de cisalhamento menor para obter a mesma deformação no caso de a tensão de cisalhamento diminuir.

Este último é consequência da *tixotropia* da lama. Desde que o cisalhamento do material resulta na quebra de sua estrutura original, ocorre a *liquefação*, resultando em um decréscimo na resistência ao fluxo. Expressado de maneira simples, a lama se comporta mais como um líquido após ter sido agitada. Como outro resultado de tixotropia, para ciclos crescentes e subsequentemente decrescentes de variação da velocidade, os reogramas consecutivos ficam abaixo dos anteriores. Por outro lado, quando cessa a agitação, a recuperação estrutural ocorre em algum tempo e a tensão de escoamento aumenta de novo (consolidação). Pode-se concluir que o reograma de uma amostra de lama depende de seu histórico de tensão (ou história reológica).

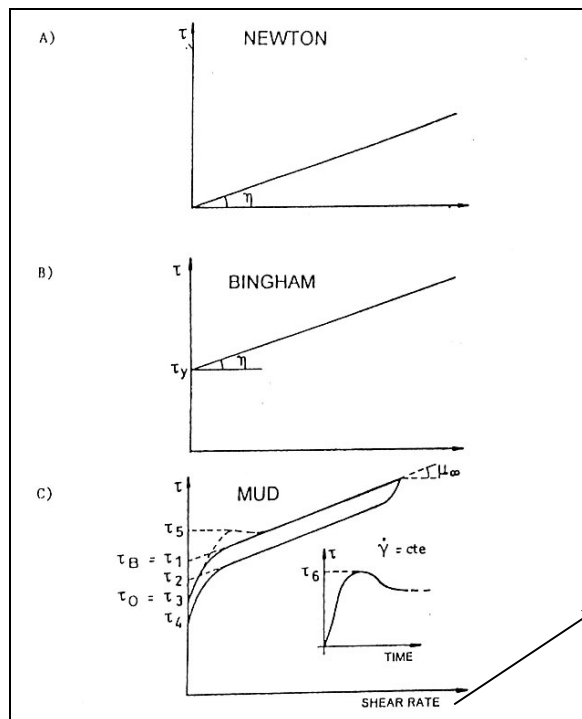


Figura D1 – Características reológicas de
(a) um fluido Newtoniano
(b) um fluido Bingham
(c) lama [D.3]

Tal comportamento causa dificuldades em definir os parâmetros do modelo de Bingham. A Figura D.1c mostra diversos valores característicos de tensão de

cisalhamento que poderiam ser definições possíveis de tensão de escoamento, por ex.:

- T_0 : tensão de escoamento estática, tensão de escoamento inferior
- T_B : tensão de escoamento de Bingham, tensão de escoamento superior, tensão residual.

Na suposição de um modelo Bingham, T_B (tensão de escoamento Bingham) e η_∞ (viscosidade diferencial de Bingham) são normalmente selecionados como parâmetros modelos.

Outra importante propriedade física é a densidade ρ_2 , relacionada com a *solids volume fraction*⁴² ϕ e concentração de material sólido T_s :

$$\rho_2 = \rho_1 (1 - \phi) + \rho_s \phi = \rho_1 (1 - \phi) + T_s$$

ρ_1 e ρ_s sendo as densidades da água e do material sólido (sedimento), respectivamente.

Para uma dada amostra de lama, viscosidade e tensão de escoamento podem ser consideradas como função da *solids volume fraction* (e, portanto, da densidade), mas também dependem de outros parâmetros (ver Referência D.3 para lista completa):

- histórico de tensão
- conteúdo de areia
- diâmetro de partícula (espectro)
- mineralogia do barro
- coeficiente de deformação (variação da velocidade)
- percentagem de material orgânico
- química da água (especialmente pH, salinidade), etc.

Se todos esses parâmetros são dados, viscosidade e/ou tensão de escoamento podem ser consideradas como mera função da densidade. De acordo com a faixa de densidade, pode ser feita uma distinção entre lama fluida e lama plástica (Figura D2):

- a *solids volume fraction* reduzida e, portanto, a baixa densidade, a lama é uma suspensão livre similar à água, com viscosidade e tensão de escoamento que não dependem, ou dependem levemente, da densidade (lama fluida);
- lama com *solids volume fraction* mais elevada e portanto densidade mais alta é um depósito de sedimentos com propriedades reológicas facilmente mensuráveis, que dependem muito da densidade (lama plástica). Além do comportamento viscoso, esse tipo de lama apresenta também comportamento elástico, comparável a um solo; essa combinação é denominada viscoelasticidade (ou elastoviscosidade).

⁴² Número resultante da divisão do volume das partículas sólidas que compõem uma mistura pela soma dos volumes de todos os componentes dessa mistura (quando ainda separados)

Essa mudança no comportamento estrutural é chamada de *comutação reológica* ou *transição reológica*. A tensão de escoamento correspondente parece ser menor do que 10 N/m^2 – Referências D.5, D.25. Investigações recentes nas hidrovias Alemãs, no entanto, resultaram em uma força de resistência ao escoamento crítica de 120 N/m^2 – Referência D.35.

Na Figura D3, são mostrados perfis reológicos e de densidade típicos em depósitos de lama solta. A densidade parece aumentar mais ou menos gradualmente com a profundidade; algumas vezes, são observados degraus típicos nos quais a densidade quase não aumenta com a profundidade. A curva inicial de rigidez mostra claramente o nível de transição reológica.

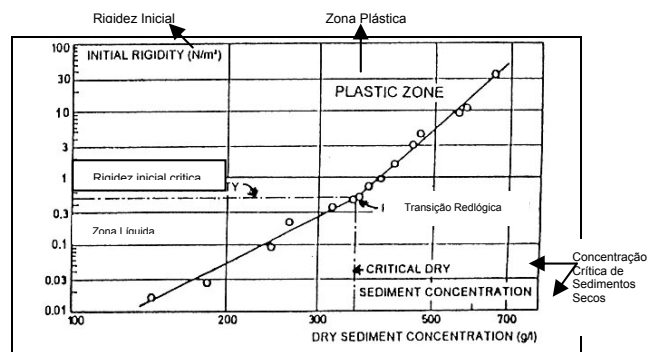


Figura D2 – Rigidez inicial com relação à concentração de sedimento seco [D.25]

No Relatório do II Grupo de Trabalho 14 PIANC PTC II (Métodos econômicos de manutenção de canais), Referência D.8, é feita uma revisão dos métodos de verificação estáticos e contínuos para determinar essas características in loco.

D.2.2 Emprego de eco-sonda para determinação do fundo náutico.

O emprego de eco-sonda com diferentes frequências resulta em uma indicação qualitativa quanto a estar presente ou não uma camada de lama não consolidada.

Níveis altos de frequência (100-210 kHz) indicam a interface água-lama, enquanto sinais de baixa frequência (15-33 kHz) penetram na camada de lama (Figura D.4) e são normalmente refletidos de um fundo bem consolidado ou de um fundo duro. Valores típicos para a diferença entre ambos os níveis variam de 0,3 m a vários metros.

Não está claro se existe alguma relação entre o nível indicado pelo eco de baixa frequência e uma característica física da lama. De acordo com diferentes autores, o traço mais baixo é considerado como sendo a reflexão do fundo bem consolidado – Referência D.2 -

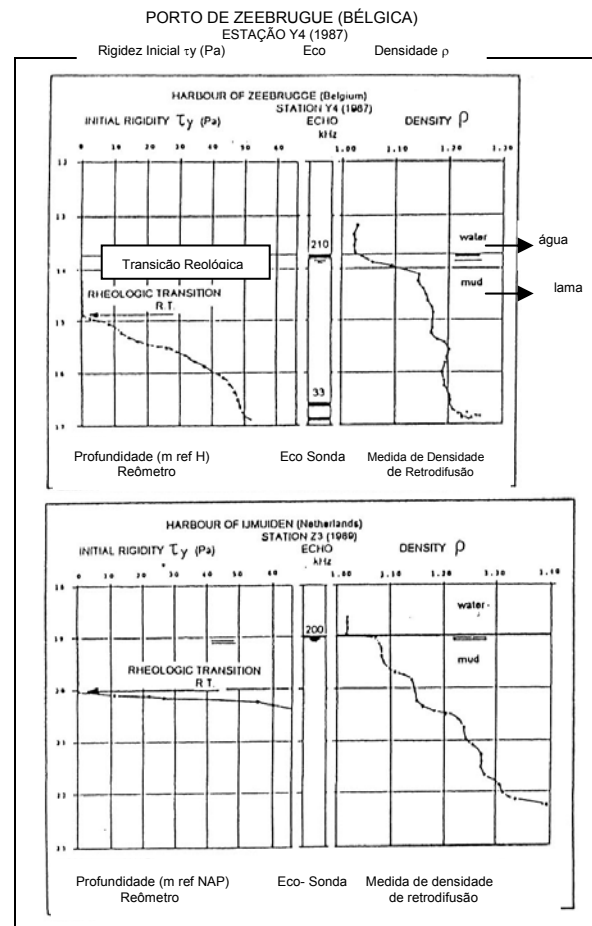


Figura D3 – Perfis reológicos e de densidade típicos em depósitos de lama solta [D18]

ou do fundo duro – Referência D.6. Na referência D.7, é relatado que esse eco não parece corresponder a um valor específico de densidade. Experiências com sistemas de medição acústica demonstram que reflexos na lama dependem de vários parâmetros que afetam a impedância acústica (bolhas de gás, horizontes arenosos, etc.).

Um eco acústico é determinado pela impedância acústica (dependente da frequência), que é dominada por gradientes de densidade ao invés de pela própria densidade.

Ainda, como ondas de baixa frequência algumas vezes refletem em vários níveis, elas nem sempre resultam em sinal inequívoco (ver Figura D.5 e Referências D.8, D.9 e D.10).

Tais dificuldades na interpretação de eco sondagens de baixa frequência não ocorrem sempre. Em alguns locais, é encontrado um relacionamento razoável com um parâmetro de lama física. São exemplos:

- o eco de 33 KHz geralmente corresponde ao nível de densidade de 1.150 kg/m³ no estuário de Loire – Referência D.11;
- em Antuérpia, o fundo náutico é definido por meio de eco sonda de 33 kHz – Referência D.12.

A aplicabilidade de tal critério não pode ser generalizada. Ela deve ser examinada para cada local, já que pode depender de flutuações sazonais e até de marés.

D.2.3. Critérios baseados em propriedades reológicas

D.2.3.1 Definições de Fundo Náutico Baseadas em um Valor Crítico da Tensão de Escoamento

De um ponto de vista científico, uma definição deveria ser baseada em uma tensão de escoamento crítica. Por outro lado, a escolha de um valor crítico parece ser delicada.

Um valor máximo para tensão de escoamento poderia ser baseado em uma comparação teórica das forças atuantes de hélice e leme com a resistência do navio devido tanto à fricção com a água como ao contacto com o fundo de lama, sendo tal resistência calculada aproximadamente pelo produto da superfície de contacto pela tensão de escoamento inicial.

No entanto, tal abordagem rende valores aceitáveis muito altos para tensão de escoamento. Por exemplo, um navio de 100.000 TPB estaria apto a navegar a uma velocidade de 5 nós se a tensão de escoamento fosse menor do que 100 N/m²; seria até possível executar manobras de leme em tais condições. Existem muitas indicações de que a navegação em tais condições não é realista:

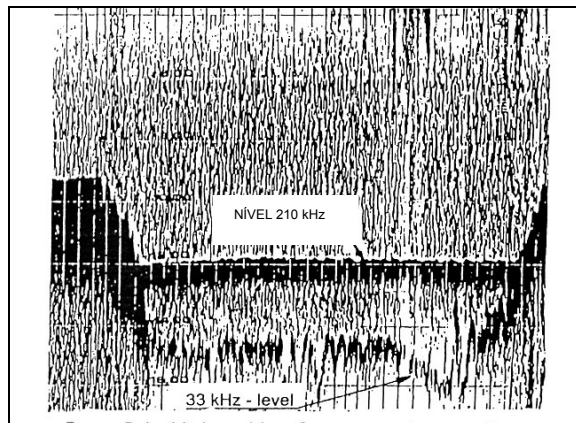


Figura D4 – Eco-sondagens de alta e baixa frequências em fundos de lama [D.18]

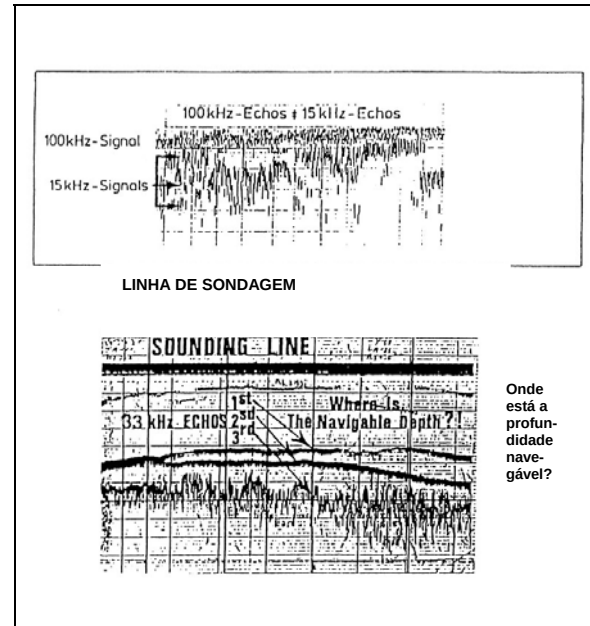


Figura D5 – Dificuldades de eco-sondagens de baixa frequência em áreas de fundo de lama: Emden [D.9], Estuário de Gironde [D.8]

- Testes com modelos têm demonstrado que multiplicar a tensão de escoamento pela superfície de contacto (quilha-lama) não resulta em um valor correto para a resistência inicial (ver seção D.3).
- Os cálculos são válidos somente para uma camada uniforme de lama: se a espessura da camada de lama variar, o navio tenderá a seguir a trajetória “mais fácil”.
- A eficiência do leme e da propulsão pode ser influenciada como resultado de ondas internas.

D.2.3.2 Definição de Fundo Náutico com Base em Transição Reológica

Uma definição teórica do fundo náutico baseada em transição reológica oferece várias vantagens práticas:

- A tensão de escoamento correspondente a esse nível é muito baixa (1 a 3 N/m²) e pode desse modo ser considerada segura.
- Como as propriedades reológicas aumentam muito rapidamente com a profundidade nas proximidades do limite de transição, pode-se esperar que um aumento substancial na profundidade leve a valores inaceitáveis de tensão de escoamento, de modo que aquele nível pode ser considerado como econômico.

Apesar dessas vantagens práticas, podem ser levantadas algumas objeções contra o emprego do nível de transição reológica:

- a transição reológica não está realmente situada em um nível específico, mas indica uma *faixa* de transição;
- uma definição fazendo uso desse nível estará meramente baseada nas propriedades da lama; não terá sido considerada sua influência na dinâmica e comportamento do navio.

Vários procedimentos operacionais para determinação de fundo náutico são baseados no nível de transição reológica, embora, devido a considerações práticas, a determinação seja baseada em medições de densidade (ver Seção D24).

D.2.4 Critérios baseados em um nível de densidade de lama

Como muitos sistemas de verificação estão disponíveis hoje em dia para a medição contínua de densidade de sedimento, muitos procedimentos operacionais para determinação do fundo náutico são baseados em um valor para a gravidade específica aceitável da lama (ver Seção D2.5).

No entanto, o valor da densidade crítica da lama depende do local, uma vez que as propriedades reológicas não são puramente funções da densidade (ver Seção D2.1). Conseqüentemente, a escolha de um nível de densidade crítica é baseada em considerações sobre propriedades reológicas da lama local. Isso leva às seguintes desvantagens:

- A densidade crítica que define o fundo náutico depende da localização, de modo que não é possível estabelecer um valor universal.
- Em um dado local, as características da lama podem ser variáveis (por ex., efeitos das estações), de modo que a densidade crítica seria freqüentemente mudada.
- Por razões práticas, tal adaptação da definição de fundo náutico não é desejável, de modo que uma densidade crítica fixa tem que ser selecionada. Tal seleção implica sempre em um equilíbrio entre segurança e economia; se, por razões de segurança, for escolhida a densidade mais baixa observada, é duvidoso se a densidade proposta representará também a solução mais econômica.
- Ocasionalmente, os perfis de densidade mostram degraus típicos nos quais a densidade quase não é influenciada ao longo de vários metros de profundidade (ver Seção D2.1, Figura D3, Referência D.4). Isto implica que a associação do fundo náutico a apenas uma densidade pode levar a incertezas.

D.2.5 Exemplos

D.2.5.1 Rotterdam (Holanda)

O nível de densidade de 1.200 kg/m^3 foi selecionado para a área do Europort (controlado pelo Ministério dos Transportes e Obras Públicas – Rijkswaterstaat) devido a observações da lama terem revelado que este nível quase não é influenciado por fortes assoreamentos – Referência D.15. Uma lâmina livre abaixo da quilha de um metro relativa ao nível de 1.200 kg/m^3 foi considerada segura.

Várias cartas são plotadas – Referência D.8.

- (a) carta hidrográfica: profundidade detectada por uma eco-sonda de 210 kHz coincidindo com a interface lama-água (densidade aproximada 1.050 kg/m^3);
- (b) carta de densidade: profundidades de níveis com densidades 1.100 , 1.150 e 1.200 kg/m^3 ;
- (c) carta dupla: profundidade de sondagem da carta hidrográfica e fundo náutico indicados pela densidade 1.200 kg/m^3 ;
- (d) carta náutica (ver Figura D.6): fundo náutico (1.200 kg/m^3) com indicação de camadas de lama.

D.2.5.2 Zeebrugge: Canal 'Pas van het Zand' e Porto Externo (Bélgica)

Das avaliações reológicas da lama e dos resultados de testes em tamanho real (ver seção D.3), foi concluído que o horizonte de 1.150 kg/m^3 representa um critério seguro para o fundo náutico no porto e seus canais de acesso. – Referências D.7, D.16, D.17 – uma vez que o nível de transição reológica sempre parece corresponder a um valor de densidade mais alto. Isto implica que o nível de 1.150 kg/m^3 representa o “piores caso”; acima deste nível, não podem ser medidas resistências ao cisalhamento significativas ou detectáveis.

Pode-se concluir que o fundo náutico é definido como sendo o nível correspondente à transição reológica, mas como um sistema de verificação contínua para monitorar esse nível não está disponível, ele é, na prática, substituído por um nível crítico de densidade. Esse nível corresponde realmente à transição reológica para lama sem areia; para lama com um conteúdo maior de areia, a transição reológica muda para valores de densidade mais altos (1.200 ou até 1.260 kg/m^3), conforme demonstrado nas Referências D.7 e D.18.

Os seguintes procedimentos para a produção de cartas náuticas foram estabelecidos. A área é verificada simultaneamente pela plataforma BEASAC (Belfotop Eurosense Acoustical Survey Air Cushion), efetuando sondagens, e o sistema de verificação Navitracker, localizando o nível de 1.150 kg/m^3 . Cada uma destas equipes de verificação entrega uma carta:

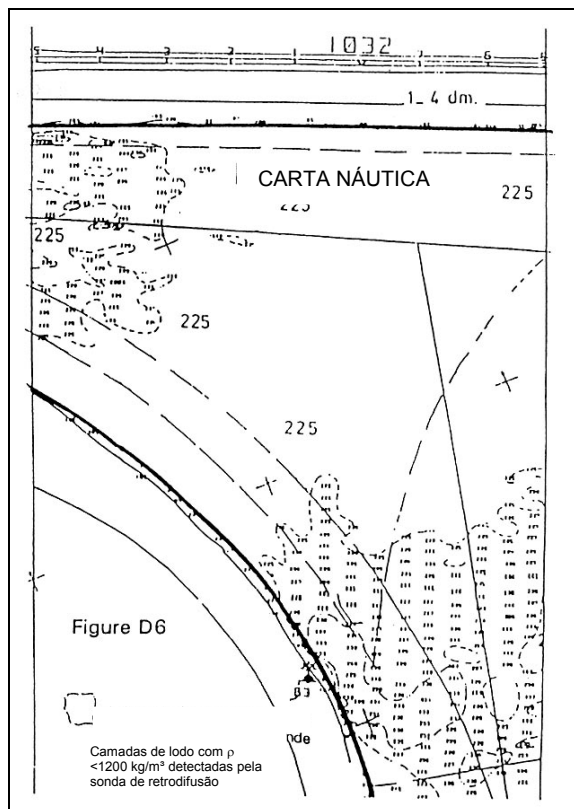


Figura D6 – Beerkanaal, área portuária de Rotterdam: carta náutica [D.8].

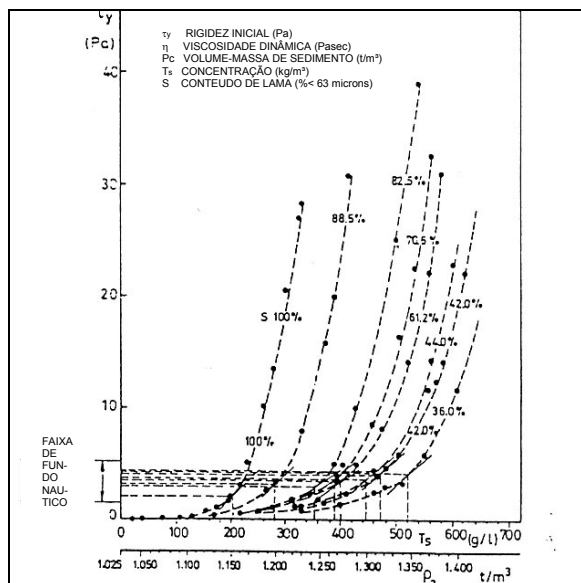


Figura D7 - Lama de Zeebrugge: tensão de cisalhamento em função da densidade para diferentes conteúdos de lama [D.18]

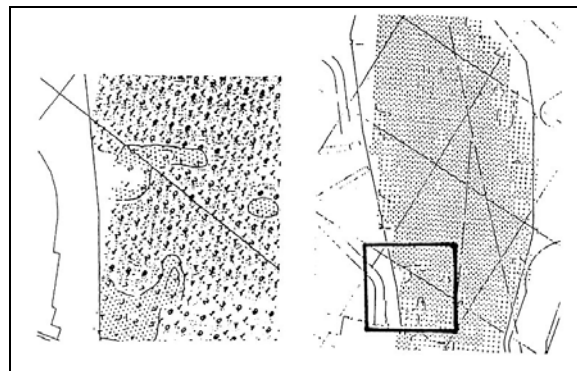


Figura D8 – Mapa Zeebrugge Navitracker: carta diferencial entre o nível mais alto do sedimento e o horizonte de densidade [D.19]

- A carta BEASAC representa os dados de eco sondagem, com áreas achuriadas onde foram detectados dois ecos diferentes (210 kHz e 33 kHz).
- A carta Navitracker consiste de três sub-cartas:
 - * os dados da eco sonda de 210 kHz;
 - * o nível de densidade de 1.150 kg/m³;
 - * as diferenças de profundidade entre eles (Figura D.8, da Referência D.19).

A carta náutica verdadeira é um mapa combinado Beasac/Navitracker, no qual os dados da eco sonda de 210 kHz relativos à área com fundo de lama são substituídos pelo horizonte de densidade 1.150 kg/m³ (Figura D.9, da Referência D.19).

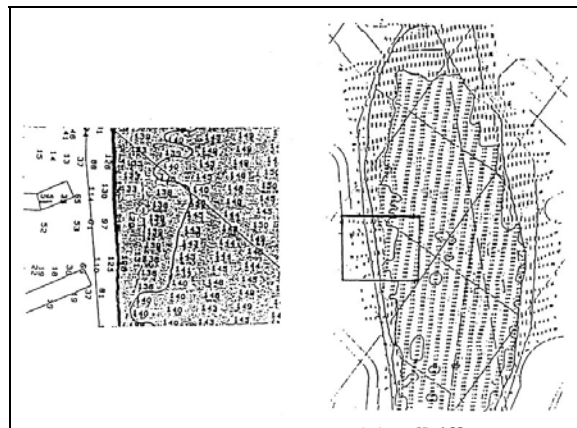


Figura D9 – Zeebrugge: carta náutica [D.19]

D.2.5.3 Nantes-Saint-Nazaire – Bordeaux (França)

Os procedimentos seguidos nos estuários de Loire e Gironde são comparáveis com o enfoque de Zeebrugge. O nível de 1.200 kg/m³ foi aceito como sendo o fundo náutico uma vez que, na média, essa

densidade corresponde ao nível reológico de transição, Referências D.13, D.11.

D.2.5.8 Outros

D.2.5.4 Alemanha

O Conselho Federal de Hidrovias determinou critérios baseados em densidade para o fundo náutico em diversas áreas de navegação com fundo de lama – Referências D.35:

Brunsbüttel: 1.180 – 1.250 kg/m³
Emder Fahrwasser: 1.220 – 1.240 kg/m³
Wilhelmshaven: 1.220 kg/m³

Esses valores de densidade correspondem à resistência não drenada ao cisalhamento de 0,12 kN/m², que foi considerado como sendo um valor médio para o nível de transição reológica. Os valores críticos de densidade devem ser checados pelo menos anualmente.

D.2.5.5 Golfo do México (U.S.A)

O Programa de Pesquisas sobre Dragagem da Engenharia do Exército Americano considera a implementação do conceito de fundo náutico, definido por meio de uma densidade crítica correspondente ao nível de transição reológica. Sistemas de estudo de lama fluida foram desenvolvidos e testados em vários canais (Rio Calcasieu, Louisiana; Rio Sabine, Texas; Porto Gulfport, Mississippi).

O propósito é relatar aos navegantes o nível crítico de densidade acima mencionado, junto com as reflexões acústicas de alta e baixa frequência. No entanto, com base em experiência e a seu próprio critério, os práticos podem aceitar navios com calados além do nível crítico de densidade. Ao reportar o nível de densidade crítica, O Corpo de Engenheiros do Exército Americano não estará fornecendo garantias formais sobre sua navegabilidade. A definição final sobre profundidade navegável é deixada aos práticos locais, conhecedores do comportamento específico dos navios e de práticas de manobra (Referências D.28, D.29, D.30, D.31 e D.32).

D.2.5.6 Maracaibo (Venezuela)

O nível de 1.200 kg/m³ é aceito como sendo o fundo náutico já que, na média, esta densidade corresponde a um nível de transição reológica.

D.2.5.7 Cayenne (Guiana Francesa)

No rio Mahuri, que dá acesso ao porto de Cayenne, aceita-se que o fundo náutico esteja situado 0,30 m acima do nível de 1.270 kg/m³.

A Referência D.15 relata que nos canais de acesso ao porto de Bangkok o nível de 1.230 kg/m³ é considerado seguro. Não se sabe se este valor é baseado em verificações das propriedades da lama ou se são simplesmente prática marítima local.

O nível de 1.200 kg/m³ é considerado como sendo o fundo náutico no porto de Cochin (Índia), mas o critério não é aplicado por causa da falta de instrumentação sofisticada localmente – Referência D.36.

D.3 COMPORTAMENTO DE NAVIOS NAVEGANDO EM ÁREAS DE FUNDO DE LAMA

D.3.1 Introdução

Esta seção revê dados disponíveis na literatura aberta relativos ao comportamento de navios navegando sobre ou em uma camada de lama.

Embora alguns estudos teóricos tenham sido recentemente efetuados, a maioria das informações é baseada em trabalho experimental de testes em tamanho real e com modelos.

D.3.1.1 Testes com Modelos

Testes com modelos têm sido efetuados no MARIN (Wageningen, Holanda, 1976, Referência D.20), Flandres Hydraulics (Antuérpia, Bélgica, 1986-1988, Referências D.16, D.17, D.21 e D.22) e SOGREAH (Grenoble, França, 1989, Referências D.13 e D.14). Uma revisão das condições de testes é fornecida nas Tabelas D.1 e D.2, da Referência D.23.

. D.3.1.1.1 MARIN, Wageningen, Referência D.20

Em 1976 foram efetuados testes com um modelo (escala 1:82,5) de um navio tanque de 200.000 TPB (310m x 47,2m x 18,9 m) em uma seção da bacia de águas rasas do MARIN.

A lama foi simulada com uma mistura de parafina clorada e querosene. Foram testadas várias configurações de espessura de camada de lama: três condições para inverno (densidade 1.140 kg/m³; espessuras das camadas 2,5m, 1,35m e 3,85m) e duas condições para verão (densidade 1.240 kg/m³, espessuras das camadas 2,5m e 1,35m).

TABELA D.1 – Revisão de programas de testes com modelos

Lab.	Material simulador de lama	ρ (kg/m ³)	η (Pa s)	Ty (Pa)	h2 (mm)	Modelo de Navio	h1/T	Velocidade do modelo (m/s)	condições do teste	medições
Marin	CP/K	1140 inverno	0,028	0	30 16 47	Tanque	0,85	0,17	auto propulsados	velocidade-rpm
		1240 verão	0,031	0	30 16			0,28 0,40	estacionários cativos PMM	squat forças forças
Flanders Hydraulics (FH)	TCE/P	1110	0,002	0,135	35	TSHD	0,90	0,0	auto propulsado com <i>beam guidance</i> : estado constante, ação do leme, aceleração, desaceleração	velocidade, squat
		1140	0,002	0,14	11	GNP				forças laterais
		1220	0,002	0,146	35	TSHD				forças de propulsão
		1220	0,002	0,146	16	TSHD	1,20	0,50		
	NM	1089	0,005	1,1	140	Interior	1,5	0,16	rebocado	posição da interface velocidades do fluido
		-	-	-	-		-	-		
	AM	1198	0,024	17,8	340	TSHD	5,7	1,25	auto-propulsão testes de resistência inicial	(ver TCE/P) resistência inicial (UKC<0)
		1030	0,004	0,4	28		0,85	0,00		
Sogreah	AM	-	-	-	-	Tanque	-	-	rebocado	força de tração, squat
		1196	0,079	32	40		1,20	0,40		
		gr. baixo		baixo	≈ 35		0,80	0,20		
		gr. Inter.		-	≈ 30		-	0,30		
		gr. alto		alto	≈ 25		1,20	0,40		
								0,50 0,60		

Tabela D.2 – Modelos de Navios

Laboratório	Modelo de navio	Lpp (m)	B (m)	T (m)	Cb	Escala
Marin	Tanque	3,76	0,57	0,23	0,85	1:82,5
		(310,2)	(47,0)	(19,0)		(1:1)
Flanders	TSHD	3,10	0,58	0,20	0,84	1:40
		(124,0)	(23,2)	(8,0)		1:1
Hidráulica	GLN	3,81	0,59	0,16	0,80	1:70
		(266,7)	(41,3)	(11,2)		(1:1)
(FH)	Interior	3,95	0,69	0,14-0,34		
Sogreah	Tanque	2,56				1:100; 1:70; 1:55

O fluido foi aquecido a 20°C para obter uma viscosidade aceitável (25cSt, $\approx 0,03$ Pa s). A lâmina d'água abaixo da quilha com relação à interface variou entre +15% e -10% do calado.

Três séries de testes foram executadas:

- (1) testes com auto-propulsão (determinação da relação velocidade-RPM e medição de *squat* e trim em função da velocidade);
- (2) testes cativos estacionários (medição de forças em função da velocidade, ângulo de leme e ângulo de deriva);
- (3) testes de mecanismos de movimento planar.

As séries de testes (2) e (3) foram conduzidas a uma velocidade do navio de 5 nós. Na primeira configuração

de inverno, foram efetuados testes com duas velocidades adicionais: (3 e 7 nós).

D.3.1.1.2 Flanders Hydraulics, Borgerhout - Antuérpia Referências D.16, D.17, D.21 e D.22

Testes com modelos auto-propulsados de navios

Foram efetuados testes em 1986-1988 com modelos de um navio transportador de gás natural (267 x 41'6 x 11 m, escala 1:70) e uma draga auto-transportadora de sucção (124 x 23 x 9,7 m, escala 1:40). Os modelos, equipados com propulsão e leme, foram forçados a seguir uma guia posicionada na linha central de uma pequena bacia (32 x 2,25 x 0,3 m), porém, com liberdade para se movimentarem verticalmente. Foram medidos velocidade, afundamento, trim, forças laterais, propulsão do hélice e torque. RPM do hélice e ângulo do leme foram controlados.

Para a série sistemática de testes, a camada de lama foi simulada por meio de uma mistura tricloreto-gasolina. Várias configurações de lama foram testadas (espessura em tamanho real 0,6 – 1,4m, densidade $\rho = 1.110 - 1.225 \text{ kg/m}^3$. O líquido parece ser um fluido Bingham ($\eta = 0,002 \text{ Pa s}$; $\tau_y = 0,13 - 0,15 \text{ Pa}$). A lâmina d'água abaixo da quilha relativa à interface variou entre +20% e -10% do calado.

Uma série limitada de testes foi também executada sobre lama artificialmente composta ($\rho = 1.030 - 1.150 \text{ kg/m}^3$, espessura em tamanho real 1,2 m, $\eta = 0,004 - 0,028 \text{ Pa s}$, $T_y = 0,4 - 11 \text{ Pa}$). A lâmina d'água abaixo da quilha variou entre +20% e -4% do calado.

Tipos de testes:

- testes de aceleração
- testes em condições constantes (velocidade constante, < 6 nós)
- testes de desaceleração
- testes em condições constantes com ação do leme.

Testes com modelos rebocados de navios

Para estudar os fenômenos de ondas internas na interface, foram efetuados testes com um modelo de embarcação interior rebocada acima de camadas de lama natural. A deformação da interface e as velocidades do fluido foram anotadas.

Testes de resistência inicial

O modelo de draga de sucção acima mencionado foi testado com lâmina d'água negativa abaixo da quilha com relação à interface das camadas de lama artificial para determinar a resistência inicial.

D.3.1.1.3 SOGREAH, Grenoble, Referências D.13, D14

Em 1989, foram executados testes com um modelo rebocado de navio tanque de 2,56m de comprimento em um pequeno canal de 50 X 3,2 m.

Vários tipos de camadas de lama artificialmente composta foram empregados:

- 2 tipos de lama: de alta e baixa rigidez;
- 3 gradientes de concentração em função da profundidade (alta, intermediária, baixa).

Os testes foram efetuados com dois calados (0,112 e 0,156 m), velocidades entre 0,2 e 0,6 m/s (valores distintos variáveis) e uma grande faixa de lâminas d'água abaixo da quilha, positivas e negativas. As forças de *squat*, trim e de tração foram medidas.

D.3.1.2 Testes em tamanho real

Foram efetuados testes em tamanho real em Rotterdam – Referência D15, Zeebrugge, - Referências D.7 e D.16 e no estuário de Loire – Referência D.13.

D.3.1.2.1 Rotterdam – Referência D.15

Em 1975, foram efetuados testes em tamanho real na área do Europort, com o petroleiro Lepton, de 300.000 TPB. Durante os experimentos, a trajetória e aprofundamento do navio, a atividade do leme e a RPM do hélice foram registrados. O comportamento e as variações da densidade da lama durante e após a passagem do navio foram anotados a bordo de lanchas de inspeção fundeadas nas proximidades. Condições dos experimentos: calado 20,9m, lâmina d'água abaixo da quilha 1,60m, espessura da camada de lama (entre 1.030 e 1.200 kg/m³) 1,15m, velocidade 4 nós.

Zeebrugge – Referência D.7 e D.16

Dezessete testes em tamanho real com a draga auto-transportadora de sucção Vlaanderen XVIII foram executados na área externa de Zeebrugge em 1986-1988. Foram efetuados três tipos de testes:

- tipo 1: manobras curtas de máquina (testes de aceleração/desaceleração)
- tipo 2: manobras a força constante
- tipo 3: testes de guinada a velocidade zero por meio de *bow thrusters*.

Os tipos 1 e 2 foram executados com lâmina d'água abaixo da quilha de -0,35 a +3,0m com relação à interface. Três sessões foram executadas com lâmina d'água negativa, através de lama com densidade máxima de 1.140 kg/m³. Durante os testes, dois navios de inspeção ficaram fundeados ao longo da trajetória para observar o comportamento da lama.

Nantes – Saint Nazaire – Referencia D.13

Em 1985, a trajetória do Alsace, um navio tanque navegando com 10% de lâmina d'água relativa ao nível de densidade de 1.200 kg/m³ no estuário de Loire foi seguida por dois navios.

D.3.1.3 Desenvolvimentos teóricos

As ondulações da interface e o squat devido à navegação de navios sobre ou em camadas de lama fluida foram estudados na Universidade de Ghent, Bélgica – Referências D.16, D.21, D.22, D.24 e D.26.

Cálculos teóricos da resistência de onda de um navio movendo-se a velocidade constante sobre uma camada de lama fluida foram levadas a efeito na Universidade de Tel-Aviv e relatados na Referência D.34.

D.3.2 Ondulações da Interface

O efeito de camadas de lama fluida sobre o comportamento de um navio depende principalmente da deformação da interface causada pelo campo de pressão ao redor do casco em movimento. Movimentos verticais da interface ou ondulações internas (sendo o termo “ondas internas” o menos correto, Referência D24) foram observados durante os testes com modelos e em tamanho real.

O efeito da velocidade do navio é ilustrado na Figura D.10.

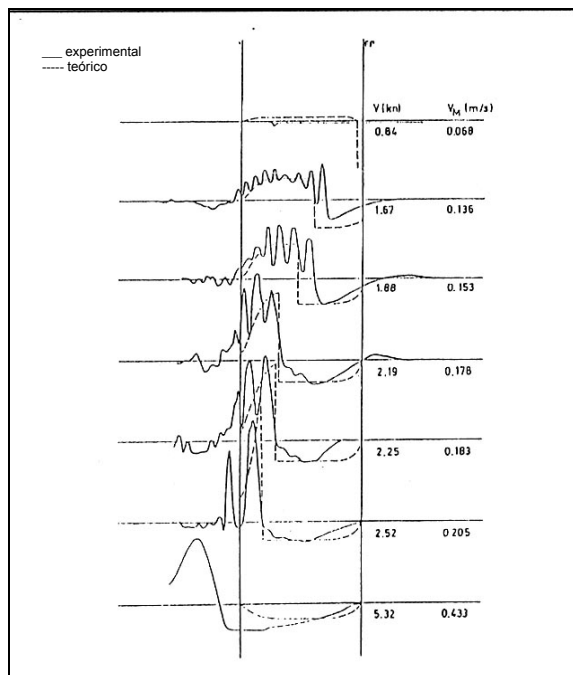


Figura D 10 – Testes com modelo no Flanders Hydraulics com draga de sucção em um sistema de duas camadas:
 $h_1 + T = 1,20$; $\rho_2 + \rho_1 = 1,11$; $h_2 + T = 0,175$
 Influência da velocidade do navio nas ondulações da interface [D.26]

- A velocidades muito baixas, a interface permanece praticamente tranqüila (primeira faixa de velocidade).
- A uma velocidade intermediária, observa-se um afundamento da interface sob a entrada⁴³ do navio, que em uma certa seção transforma-se em elevação. Esse salto hidráulico interno move-se em direção à ré com velocidade crescente. O ângulo entre o salto e o proa do navio é de aproximadamente 90° (segunda faixa de velocidade).
- A altas velocidades, o salto da interface ocorre por ante à ré da popa. O ângulo acima mencionado

⁴³ Parte do navio à vante da seção paralela do costado

aumenta para aproximadamente 135° (terceira faixa de velocidade).

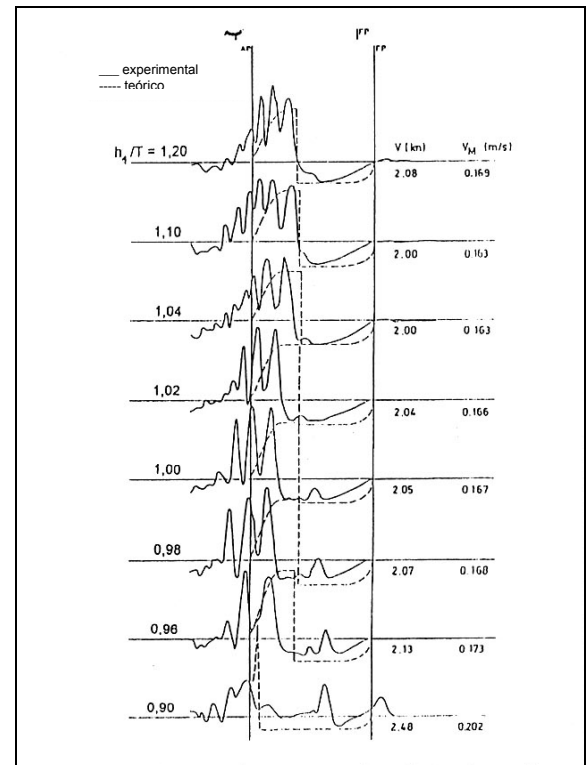


Figura D 11 – Testes com modelos no Flanders Hydraulics com draga de sucção em um sistema de duas camadas:
 $h_1 + T = 1,20$; $\rho_2 + \rho_1 = 1,11$; $h_2 + T = 0,175$
 Influência do UKC nas ondulações da interface [D.26]

A Figura D.11 ilustra que essa relação entre velocidade e ondulações na interface é menos clara com grandes lâminas d'água negativas abaixo da quilha ($\leq -4\%$ do calado) devido a um tipo de onda interna secundária sob a entrada do navio.

A maioria desses fenômenos, observados durante testes com camadas de TCE/P no Flanders Hydraulics, foi confirmada por resultados de testes sobre lama natural e artificial, e também concordam com aqueles publicados pelo MARIN (Figura D.12) e SOGREAH:

- No MARIN, as deformações na interface geradas a baixas velocidades pareceram estar localizadas nas proximidades do navio, enquanto a velocidades mais altas, a influência se estendia a maiores distâncias. Descobriu-se que a altura do salto interno :
 - aumenta com a espessura da camada de lama;
 - diminui com a diminuição da lâmina d'água sob a quilha;

- diminui com o aumento de densidade.
- No SOGREA, as ondulações internas nas camadas de lama compostas artificialmente não eram visíveis com a lama mais rígida; com a lama menos rígida, “ondas” internas com alturas de 0,5 (lâmina d’água negativa sob a quilha) a 2 (lâmina d’água positiva sob a quilha) vezes a espessura da lama foram observadas na faixa de velocidade mais alta.

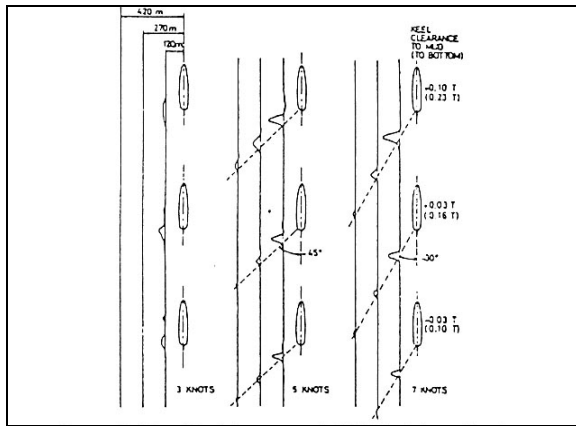


Figura D12 – Testes com modelos no MARIN com navio-tanque em um sistema de duas camadas: $H_2 + T = 0,13$; $\rho_2 + \rho_1 = 1,14$ [D.20]

- No Flanders Hydraulics, a série de testes com modelos auto-propulsados sobre uma camada de lama fluida artificial revelou deformações na interface comparáveis às observadas em sistemas de duas camadas.
- Testes qualitativos no Flanders Hydraulics com um modelo rebocado sobre camadas de lama natural resultaram em padrões similares de deformação. Medições das velocidades do fluido confirmaram o caráter de salto hidráulico da deformação da interface: a lama flui em sentido oposto em relação à velocidade do navio sob a parte afundada da interface, e segue o navio sob a parte elevada. Outra conclusão importante é a respeito da estabilidade da interface. A velocidades mais altas, ocorre a mistura de lama com água algumas vezes, mas esta se localiza somente atrás do navio, de modo que os padrões de velocidade de fluido à volta do navio não são afetados por esse fenômeno. Também foi observado que a interface se recompunha de maneira surpreendentemente rápida.
- A existência e natureza dos movimentos de interface foram confirmadas pelas observações em tamanho real em Rotterdam e Zeebrugge (ver Figura D.13).

Em geral, o efeito sobre o comportamento do navio é mais importante na segunda faixa de velocidade e menos importante na terceira faixa de velocidade. Por este motivo, é de utilidade fazer uma estimativa da velocidade de transição entre a segunda e a terceira faixas de velocidade. A seguinte expressão é baseada em cálculos teóricos (Universidade de Ghent) e confirmada por testes com modelos (Flanders Hydraulics). (Ver Referências D.16, D.22, Figura D.14):

$$V_{crit} = \sqrt{\frac{8}{27}gh_1 \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_2}\right)}$$

Esta velocidade é diferente da velocidade máxima de propagação de ondas internas de gravidade em um sistema fluido de duas camadas – Referência D.20:

$$C_{max} = \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}gh_2}$$

Devido à deformação da interface e a fenômenos de squat (ver Seção D3.5), várias situações de posições relativas entre a quilha do navio e o sistema de duas camadas são possíveis (ver Figura D.15).

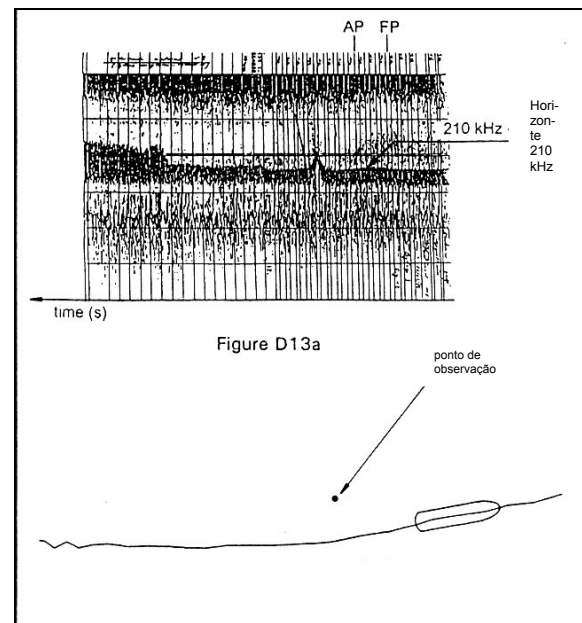


Figura D 13 – Onda interna registrada por navio de pesquisa durante teste em tamanho real com a Vlaanderen XVIII [D.16]

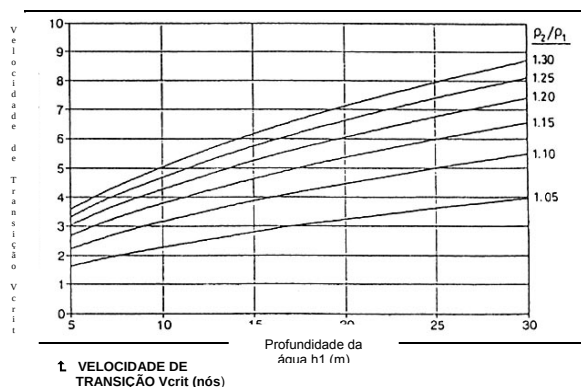


Figura D.14 – Transição entre a segunda e a terceira faixas de velocidade.

D.3.3 Propulsão e Resistência

D.3.3.1 Relação Velocidade-Propulsão

A ilustração mais clara do efeito das ondulações de interface nas propriedades de propulsão de um navio é dada pela relação entre velocidade à vante (V) e número de revoluções do hélice (n). Resultados de testes com modelos mostram que o efeito ocorre principalmente no segundo estágio de velocidade, quando uma dada RPM resulta em uma velocidade substancialmente mais baixa se comparada à situação com um fundo sólido (Figura D.16). A transição entre a segunda e a terceira faixas de velocidade é suavizada com a diminuição da lâmina d'água sob a quilha (Figura D.17).

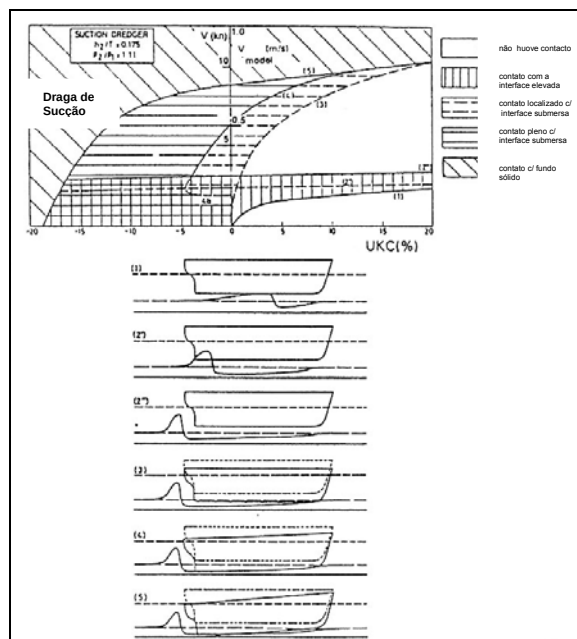


Figura D.15 – Testes com modelos no Flanders Hydraulics e cálculos teóricos com draga em um sistema de duas camadas: $h_1 + T = 1,20$; $p_2 + p_1 = 1,11$; $h_2 + T = 0,175$. Posição da quilha do navio relativa à interface água-“lama” em função da velocidade à vante e UKC [D.16]

O efeito da lâmina d'água sob a quilha é ilustrado por resultados de testes em tamanho natural levados a efeito em Zeebrugge. Na faixa de pequena lâmina d'água sob a quilha, testes executados com potência de propulsão constante demonstram que a velocidade aumenta de 20 a 25% se a lâmina d'água abaixo da quilha variar de -5 a $+10\%$ do calado (Figura D.18). Deve-se notar que todos os testes em condições constantes efetuados em Zeebrugge foram executados na terceira faixa de velocidade.

A curva velocidade-RPM (n) é o resultado combinado de resistência e propulsão; ambas as características devem ser investigadas separadamente para se avaliar a contribuição de cada uma.

D.3.3.2 Resistência

Foram executados testes de resistência com modelos de navios no SOGREAH. A Figura D.19 mostra que, a velocidade constante, a resistência aumenta com a diminuição da lâmina d'água abaixo da quilha até que se chegue a uma pequena lâmina positiva. Se a lâmina d'água diminui a um pequeno valor negativo, a resistência diminui ligeiramente; se a quilha penetra mais profundamente na camada de lama, observa-se um substancial aumento da resistência.

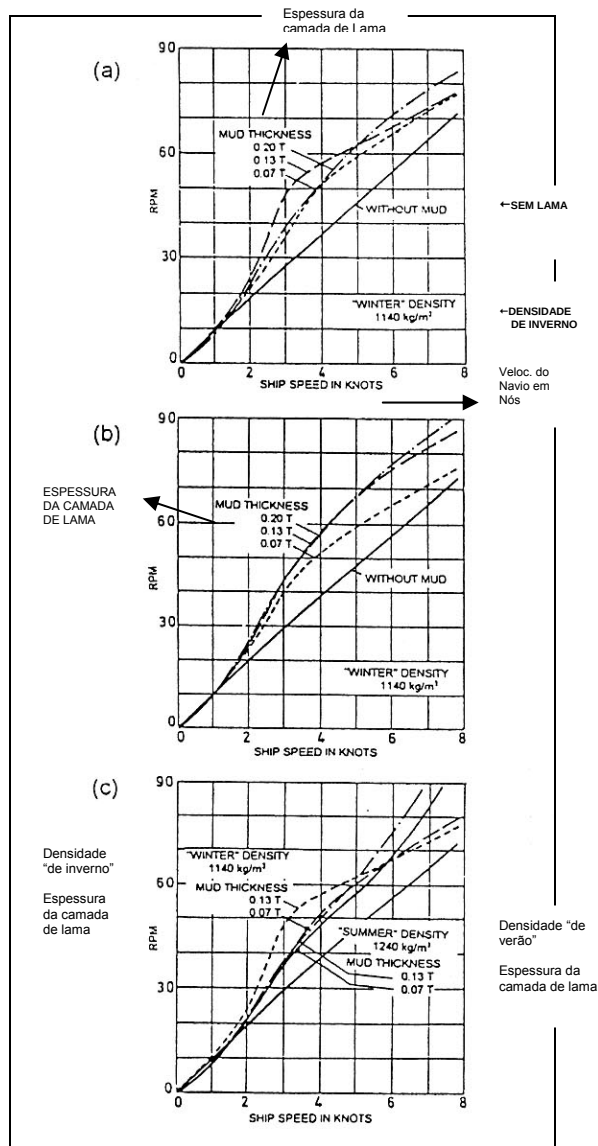


Figura D 16 – Testes com modelo no MARIN com navio tanque em um sistema de duas camadas, relação velocidade-RPM [D.20]
 (a) $UKC = 20\%$ ao fundo
 (b) $UKC = 10\%$ ao fundo
 (c) $UKC = 10\%$ à interface

A resistência foi determinada de um modo qualitativo, indireto, por manipulação dos resultados de testes de desaceleração realizados em tamanho natural (Zeebrugge) e por meio de modelos de navios (Flanders Hydraulics). Um aumento importante no coeficiente de resistência foi observado em uma faixa bem definida de velocidade, situada dentro da segunda faixa. Testes com modelos mostraram que com lâminas d'água abaixo da quilha inicialmente positivas, o coeficiente de resistência aumentava com o aumento da velocidade até que ocorresse contacto entre a quilha e a camada de lama devido à deformação da interface

e efeitos de *squat* (Figura D.15, curva 1). Isto implica que o contacto com a camada de lama causava uma *diminuição* no coeficiente de resistência; este fenómeno pode ser entendido considerando-se a velocidade do navio com relação à água e à lama (Figura D.20), e é confirmado pelas medições de resistência de SOGREAH para lama de baixo gradiente (Figura D.19).

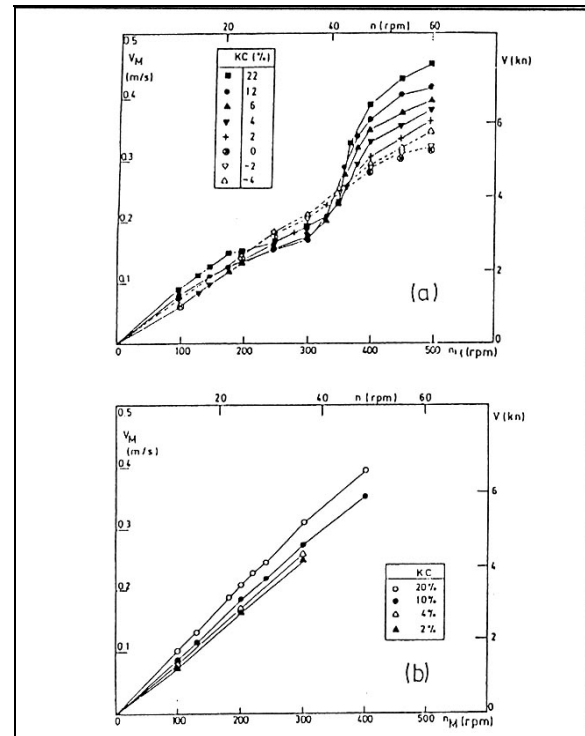


Figura D17 – Testes com modelo no Flanders Hydraulics com navio transportador de GLN, relação velocidade-RPM para diferentes UKC
 (a) em um sistema de duas camadas -
 ($\rho_2 + \rho_1 = 1,14$; $h_2 + \tau = 0,07$)
 (b) sobre um fundo sólido

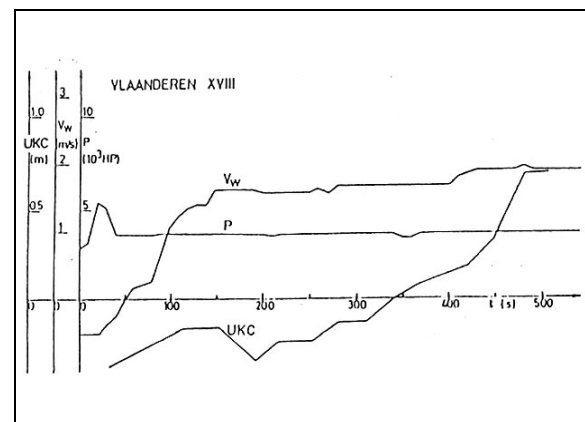


Figura D18 – Experimento em escala natural em Zeebrugge: influência da UKC sobre a velocidade a uma força de propulsão constante [D.16]

D.3.3.3 Resistência inicial

Medições de resistência inicial - Referência D.27 – demonstraram que não existe relação entre os resultados dos testes e o valor teórico calculado pela multiplicação da área de contacto pelo tensão de escoamento inicial. A resistência inicial medida parece ter sido superestimada pelo valor calculado com pequenas lâminas d'água negativas e subestimada com maiores lâminas d'água positivas sob a quilha (ver Figura D.22). É possível que, devido às propriedades visco-elásticas da lama, uma força suplementar tenha que ser superada para penetrar horizontalmente na camada rígida de lama. Pode-se concluir que cálculos teóricos de tensão de escoamento crítico definindo o fundo náutico (ver Seção D2.3.1) são duvidosos.

D.3.3.4 Propulsão

Foi observado que a velocidade à qual o coeficiente de resistência determinado por meio de testes de desaceleração alcança o seu máximo não coincide necessariamente com o "côncavo" da curva velocidade/RPM (Figura D.15, curva 2).

Isto implica que a forma da curva velocidade/RPM não deve se atribuída meramente a um aumento na resistência, mas à influência do movimento da interface na propulsão. Existem indicações de que o contacto entre a superfície ascendente e a parte de ré da quilha obstrui o fluxo para o hélice, causando pouca eficiência propulsora. Esta última é ilustrada pelo fato que no côncavo da curva velocidade/RPM, foram medidos valores de propulsão e torque muito altos (comparáveis às condições de tração estática, ver Figura D.21).

Testes em tamanho real em Zeebrugge mostraram que as características da aceleração durante manobras curtas com a máquina a baixa velocidade não são afetadas por lâminas d'água abaixo da quilha na faixa entre -5 e +40%.

D.3.3.5 Discussão

Uma análise da performance de um navio requer conhecimento das forças longitudinais que nele agem. Elas são resistência, forças propulsoras e, no caso de velocidade variável, forças de inércia. Esse conhecimento somente pode ser conseguido por meio de testes cativos com modelos. Testes com navios em tamanho real e modelos auto-propulsados, por outro lado, dão somente uma idéia da performance global, por exemplo, por meio de uma relação entre velocidade e RPM ou potência.

Infelizmente, nenhum dos três laboratórios investigou sistematicamente resistência ou propulsão. No MARIN, testes de resistência e propulsão resultaram somente em uma curva velocidade-RPM. No Flanders Hydraulics, somente testes auto-propulsados foram efetuados. No SOGREAH, foi medida a resistência, mas a propulsão não foi investigada. Isto implica que o

presente estado da arte não contém todos os elementos para uma avaliação completa do efeito de camadas de lama sobre a velocidade longitudinal e controlabilidade de navios.

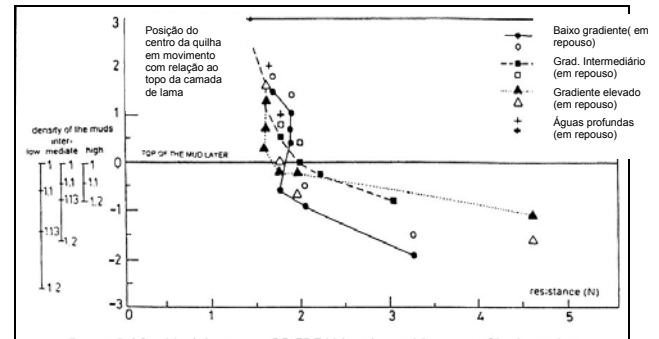


Figura D19 – Testes com modelos no SOGREAH com fundo de lama de alta rigidez, $T=0,156m$, $V = 0,4 m/s$. Variação da força de tração com UKC e gradiente de densidade. (D.14)

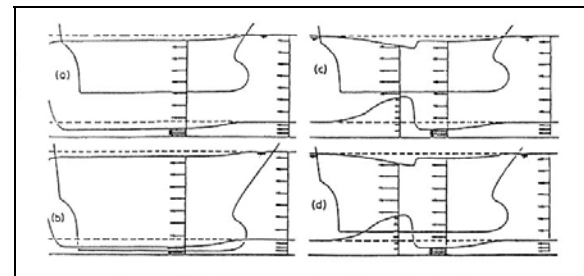


Figura D20 – Fluxo ao redor de um navio navegando em um sistema de duas camadas [D.16]
(a) Terceira faixa de velocidade, UKC positiva ou zero
(b) Terceira faixa de velocidade, UKC negativa
(c) Segunda faixa de velocidade, UKC relativamente grande e positiva
(d) Segunda faixa de velocidade, UKC pequena, positiva ou negativa.

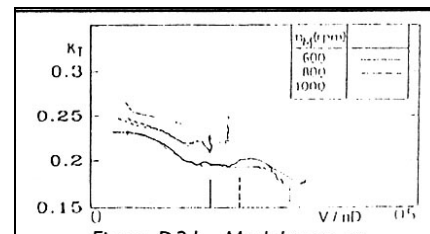
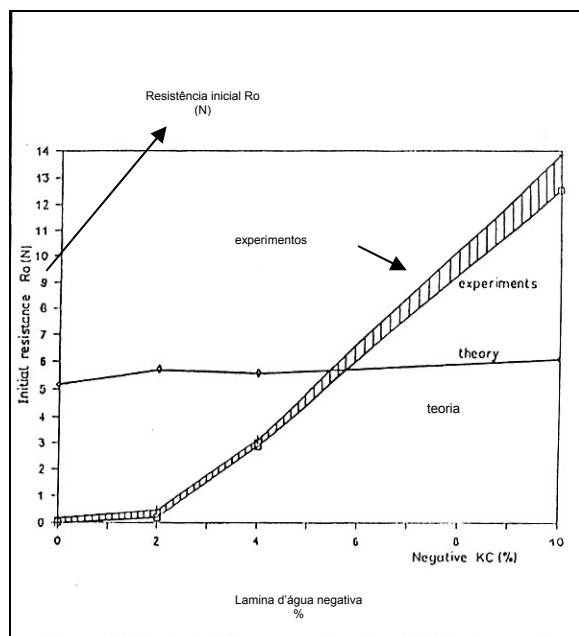


Figura D21 – Testes com modelos no Flanders Hydraulics com draga de sucção em um sistema de duas camadas
 $(\rho_2 + \rho_1 = 1,22 h_1 + T = 1,2; h_2 + T = 0,175)$
Relação aparente velocidade de avanço-coeficiente de propulsão. Abscissas marcadas correspondem aos respectivos valores críticos de velocidade [D.22]



*Figura D22 – Testes com modelos no Flanders Hydraulics com draga de sucção em camada de lama artificial ($T_y = 5,2 \text{ Pa}$).
Relação KC – resistência inicial [D33]*

A resistência é afetada pela presença de uma camada de lama devido a várias causas possíveis:

- (a) Resistência adicional de ondas devido a ondulações na interface.

A importância não está clara, e deve ser avaliada por meio de testes de resistência combinados com informações sobre padrões de ondulação interna. Cálculos teóricos conforme os efetuados na Referência D34 oferecem outra possibilidade, mas devem ser validados com dados experimentais.

Deve-se ter em mente que, embora sejam observadas “ondas” internas relativamente altas, seu conteúdo de energia é relativamente baixo por causa da pequena diferença de densidade entre ambos os fluidos.

- (b) Reologia da lama.

O efeito da viscosidade mais alta e do caráter Bingham da lama é importante no caso de ocorrer contacto entre o navio e a camada de lama; neste caso, o efeito na resistência é determinado pelo valor (negativo) da lâmina d'água abaixo da quilha, pelas propriedades reológicas da lama e pelo gradiente vertical desta última.

- (c) Mudanças na velocidade relativa entre o navio e a água e/ou lama devido a ondulações na interface.

Este efeito depende da faixa de velocidade e da lâmina d'água inicial abaixo da quilha:

- A velocidade determina o tipo de ondulação de interface e, portanto, a mudança na velocidade relativa: uma interface afundada diminui a velocidade relativa da água e aumenta a velocidade relativa da lama, enquanto uma interface elevada tem efeito oposto.
- Para uma dada velocidade, a lâmina d'água inicial sob a quilha determina se ocorrerá contacto entre o navio e a parte afundada e/ou elevada da interface. Para uma configuração em particular, todos os casos possíveis são dados na Figura D.15.

Considerações sobre resistência não explicam totalmente todos os aspectos da curva velocidade/RPM. Uma explicação possível refere-se à resistência da onda interna na transição entre as faixas de velocidade 2 e 3, porém medições de propulsão e torque do hélice no Flanders Hydraulics indicaram que contactos entre a interface elevada e a parte de ré da quilha obstruem o fluxo para o hélice, causando uma eficiência de propulsão muito baixa.

Pode-se concluir que as combinações lâmina d'água sob a quilha/velocidade entre as curvas 1 e 2 são caracterizadas por resistência relativamente baixa e baixa eficiência de propulsão. Investigações adicionais são necessárias para checar se o controle da velocidade e as manobras de parar podem ser afetados nessas condições.

D.3.4 Manobrabilidade

D.3.4.1 Comportamento dinâmico

Os testes com modelos do MARIN levaram às seguintes conclusões:

- Um navio se torna mais lerdo se a lâmina d'água abaixo da quilha for reduzida, até que esta atinja 3% a 5% do calado. Reduções abaixo desses níveis tornam o navio menos lento.
- A presença de lama parece ter um efeito maior sobre manobras a baixa velocidade (3 nós) e menor efeito a altas velocidades (até 7 nós).
- A presença de lama no fundo geralmente tende a reduzir a velocidade dos movimentos constantes (velocidade à vante, deriva e velocidade de guinada são menores) e a acelerar os movimentos dinâmicos (*overshoot* em testes zigue-zague é menor).

D.3.4.2 Efeitos do leme

Sobre fundo sólido, um comando de leme a bombordo induz uma força lateral sobre o leme para boreste, resultando em um momento que força o navio a guinar

para bombordo. Resultados de testes com modelos levados a efeito no Flanders Hydraulics nem sempre seguem esse padrão (Figura D.23). Em alguns casos, as forças e momentos adotam os sinais usuais para grandes ângulos de leme, mas apontam para a direção oposta para pequenos ângulos. Tal instabilidade da ação do leme parece ocorrer se a quilha estiver em contacto com água e lama (faixas 1 a 2" e 3 a 4 na Figura D.15)., especialmente se a zona de contacto estiver localizada próximo à popa (faixa 2' a 2"). No caso de uma ação "estável" do leme, no entanto, as forças induzidas por um ângulo de leme são maiores sobre lama do que sobre um fundo sólido.

Análise de dados publicados pelo MARIN – Referência D.20 – mostra que o ponto de aplicação da força induzida pelo ação do leme não se situa próximo à perpendicular de ré, como é o caso quando sobre um fundo sólido, mas desloca-se cerca de 30 a 40% do comprimento do navio à vante, o que é uma situação menos estável. O resultado do teste do Flanders Hydraulics leva a valores comparáveis quando sob grandes ângulos de leme. O ângulo de leme parece causar um fluxo assimétrico tanto na água quanto na lama, o que resulta em uma ondulação de interface assimétrica, criando forças laterais sobre o casco. Se estas últimas contrabalançam as forças sobre o leme, pode ocorrer instabilidade – Referência D.23.

D.3.4.3 Contacto com lama plástica

Um navio com a quilha em contacto com uma camada consolidada de lama plástica algumas vezes se torna incontrolável e escolhe "caminho de menor resistência". Ao mesmo tempo, é praticamente impossível reduzir a velocidade do navio, embora esta seja de apenas 1 ou 2 nós.

Tais fenômenos foram observados durante os experimentos em tamanho natural efetuados em 1988 com a draga auto-transportadora de sucção Vlaanderen XVIII próximo a Zeebrugge, e confirmados independentemente por diversas testemunhas (práticos, tripulações de embarcações interiores). Não está claro se existe algum relacionamento entre estes fenômenos e a presença de uma camada de lama, as propriedades reológicas, a deformação da interface, etc.

D.3.5 Efeito de squat

D.3.5.1 Efeitos sobre o governo

A presença de uma camada de lama fluida no fundo de um canal influencia o afundamento e o trim de um navio devido a dois efeitos.

- (a) O campo de pressão ao redor do casco em movimento causa ondulações na interface água-

lama que modificam a distribuição de forças verticais ao longo do comprimento do navio e, consequentemente, seu afundamento e trim.

- (b) Se a quilha do navio penetra na camada de lama, a força hidrostática (flutuação) que age sobre as obras vivas aumenta devido à densidade mais alta da lama.

Como a deformação da interface é função da velocidade do navio, os efeitos descritos em (a) são dependentes da velocidade; a influência de (b), por outro lado, depende da lâmina d'água sob a quilha. Como resultado, deve ser feita uma distinção entre faixas de velocidade e de lâmina d'água abaixo da quilha.

D.3.5.2 Faixa de Velocidade mais Baixa

Na "segunda faixa de velocidade", a ocorrência de uma elevação na interface próxima à popa causa efeitos de trim (Figura D.24).:

- Se a lâmina d'água abaixo da quilha for suficientemente grande (Figura D.20.c), a elevação da interface sob a popa provocará um trim pela popa.
- Com a diminuição da lâmina d'água abaixo da quilha, ocorre o contacto entre a quilha e a interface (Figura D.20d). A força vertical exercida na parte de ré, inicialmente direcionada para baixo, diminui e até muda seu sinal, provocando um trim pela proa.

A influência sobre o afundamento médio também depende da lâmina d'água abaixo da quilha (Figura D.25):

- Se a lâmina d'água sob a quilha com relação à interface lama-água for relativamente grande (>10%), o afundamento médio será comparável ou até ligeiramente superior ao verificado sob condições de fundo sólido para velocidades inferiores a 3 nós.
- Com pequenas lâminas d'água positivas ou negativas sob a quilha, os efeitos de flutuação devidos à elevação da interface reduzem o afundamento, que é praticamente zero nessa faixa de velocidade.
- Com lâminas d'água sob a quilha negativas e relativamente grandes, a flutuação devida à densidade da lama provoca a elevação do navio.

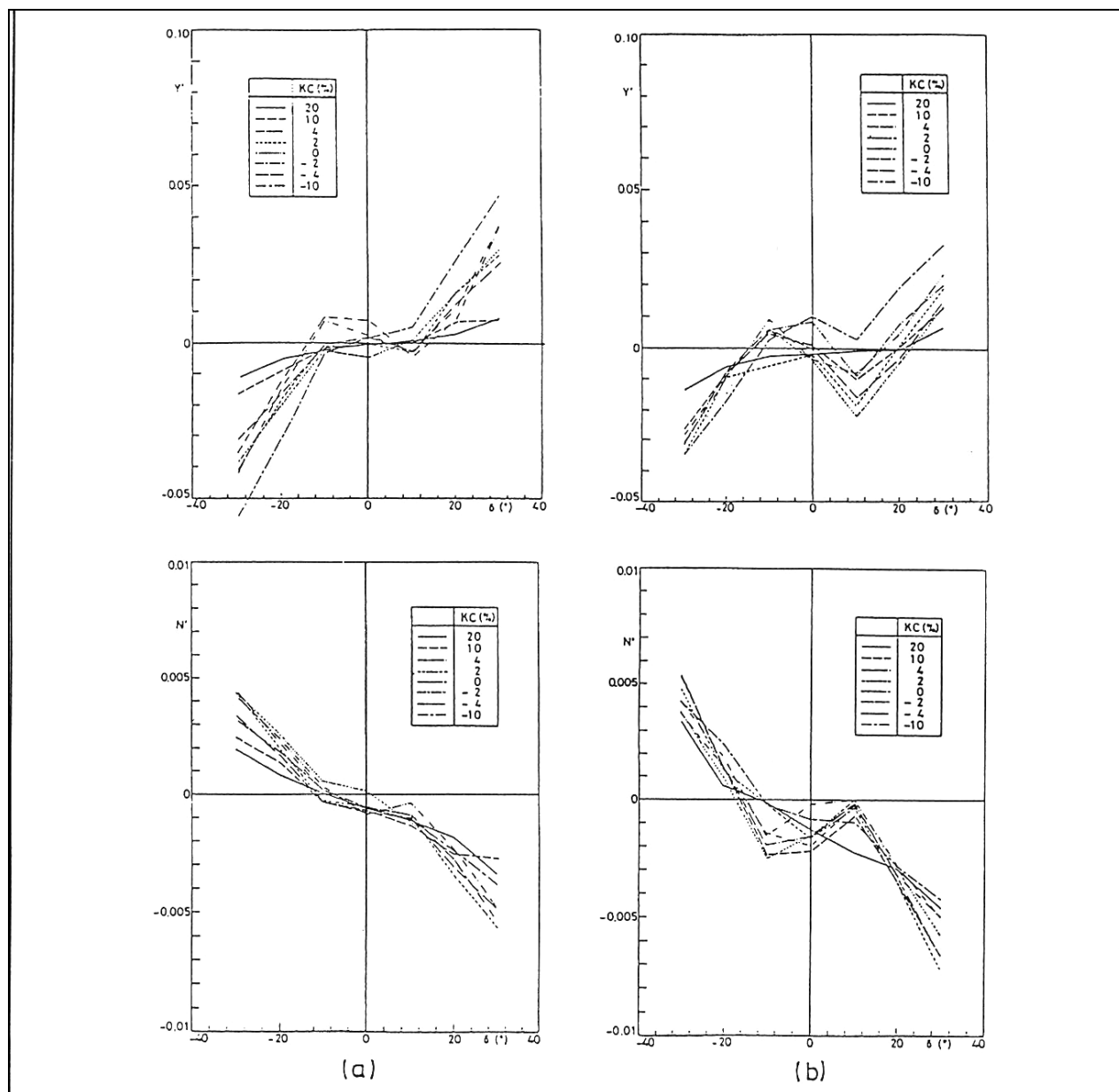


Figura D23 – Testes com Modelos no Flanders Hydraulics com draga de sucção em um sistema de duas camadas:
 $h_2 + T = 0,175$: (a) $\rho_2 + \rho_1 = 1,22$; (b) $\rho_2 + \rho_1 = 1,11$
 Influência da UKC sobre a ação do leme (segunda faixa de velocidade) [D.26]

D.3.5.3 Faixa de Velocidade Superior

Na “terceira faixa de velocidade”, ocorre um afundamento da interface ao longo de todo o comprimento do navio.

Se a lâmina d’água abaixo da quilha for positiva ou ligeiramente negativa, este afundamento da interface

resulta em um aumento da lâmina d’água livre sob a quilha (Figura D.20a). Como resultado, os efeitos de *squat* são menores se comparados com uma situação de fundo sólido, com a mesma lâmina d’água inicial sob a quilha.

Com lâminas d’água negativas relativamente grandes sob a quilha, ocorre contacto entre a camada de lama e a quilha (Figura D.20b).

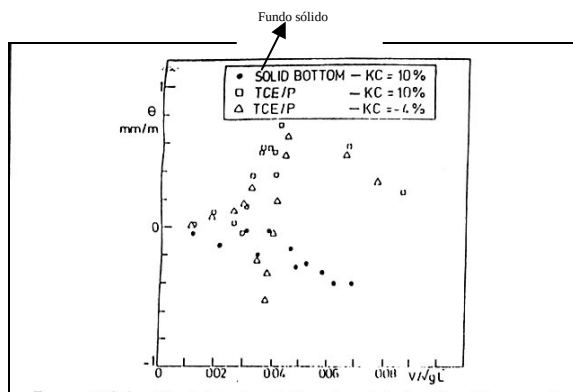


Figura D24 – Testes com modelo no Flanders Hydraulics (Antuérpia) com uma draga auto-transportadora de sucção (115,6 x 23,0 x 8,0 m³, escala 1/40) sobre uma camada de lama simulada com mistura tricloreto-gasolina (TCE/P – Trichlorethane-Petrol)
($\rho_2 + \rho_1 = 1,22$; $h_2/T = 0,175$): trim. Fonte: [D.26]

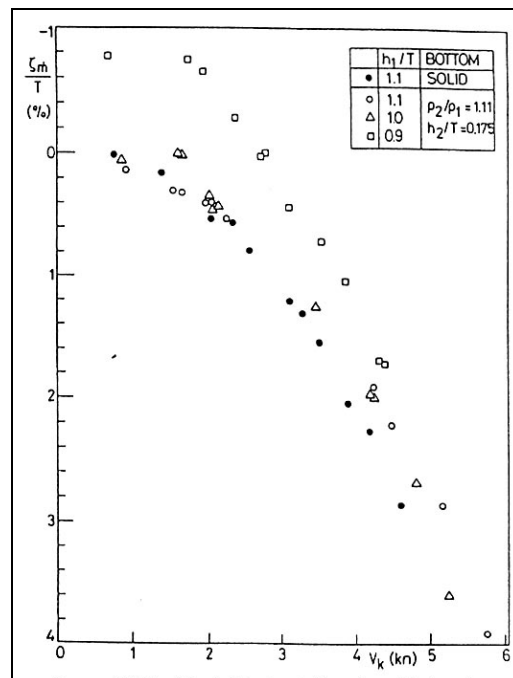


Figura D25 – Testes com modelos no Flanders Hydraulics (Antuérpia) com uma draga auto-transportadora de sucção (115,6 x 23,0 x 8,0 m³, escala 1/40) sobre uma camada de lama simulada com mistura tricloroetano-gasolina (TCE-P)
($\rho_2 + \rho_1 = 1,22$; $h_2/T = 0,175$): afundamento à meia nau.
Fonte: [D.26]

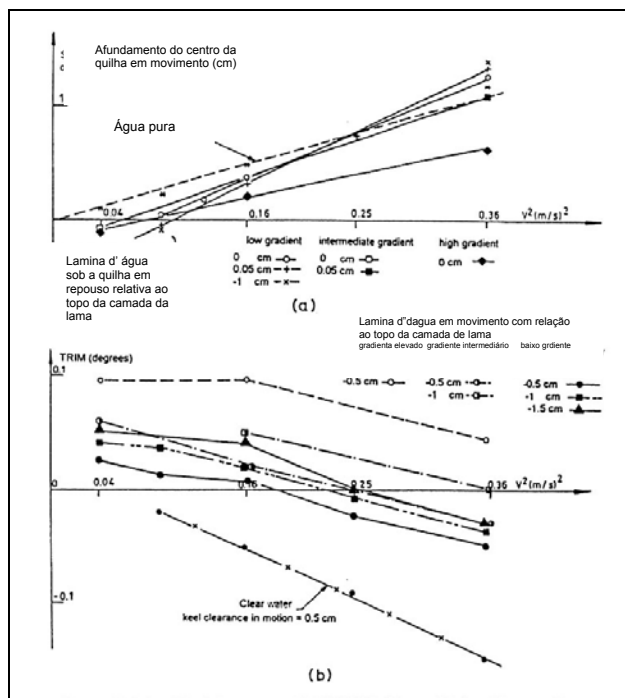


Figura D26 – Testes com modelo no SOGREAH (Grenoble) com um navio tanque (comprimento do modelo 2,56m) sobre camada de lama artificialmente composta: afundamento à meia nau. Fonte: [D.14]

A velocidade relativa um tanto alta entre ambos resulta em uma força vertical para baixo (hidrodinâmica) que contrabalança a força de flutuação, aplicada para cima (hidrostática). A velocidades acima de 8 a 10 nós, a força para baixo pode até exceder a força adicional de flutuação, fazendo com que o afundamento seja maior do que em condições de fundo sólido (Figura d;26).

Em todos os casos, a presença de camadas de lama influencia o trim de tal maneira que a proa é movida para cima em comparação à situação com um fundo sólido.

D.3.5.4 Efeito das Características da Lama

A transição entre as faixas de velocidade mais baixa e mais alta depende da profundidade da água e da densidade da lama, e muda para velocidades mais altas com o aumento da densidade.

Os efeitos de squat também parecem depender de características reológicas, especialmente do gradiente de concentração vertical da lama. As forças agindo para cima em uma embarcação navegando em uma camada de lama são mais importantes quando a lama é

de alto gradiente, de modo que os efeitos de *squat* são parcialmente eliminados

D.3.5.5 Conclusão

Na maioria dos casos, a presença de camadas de lama diminui os efeitos de *squat*. Nessas circunstâncias, o emprego de estimativas de *squat* para situações de fundo sólido revela-se cauteloso. Existem, no entanto, duas exceções:

- baixa velocidade, lâmina d'água positiva relativamente grande sob a quilha;
- alta velocidade, lâmina d'água negativa sob a quilha, lama com baixo gradiente de concentração.

D.4. PROPOSTAS PARA PESQUISAS ADICIONAIS

D.4.1 Definição teórica de fundo náutico

De um ponto de vista teórico, científico, a definição de fundo náutico deveria ser baseada em um valor crítico de uma característica física da lama (por exemplo, tensão de escoamento). Este deveria ser selecionado de tal maneira que as forças causadas pelo contacto da quilha de um navio com uma camada de lama com características críticas pudessem ser superadas pelos meios de controle normais do navio (hélice, leme, rebocadores).

Na prática, é duvidoso se o emprego do valor da tensão de escoamento crítica no lugar do nível de transição reológica causaria um aumento relevante na profundidade náutica.

D. 4.2 Determinação prática de fundo náutico

Hoje em dia, a maioria dos métodos para determinação do fundo náutico é baseada em medições contínuas de densidade; o nível crítico de densidade é dado como uma função da densidade local – a relação reológica. Uma medição contínua, direta de características reológicas ofereceria grandes vantagens. No entanto, considerando o estado da arte atual no que toca à tecnologia de medição, é de se esperar que em um futuro previsível os métodos mais práticos serão relacionados à densidade.

Uma padronização dos procedimentos de medição e definições (por exemplo, para tensão de escoamento, ver Figura D.1c) deve ser incentivada.

D.4.3 Comportamento do navio e Controlabilidade

Podemos concluir da seção D.3 que, se a velocidade exceder um valor crítico, manobrabilidade e controlabilidade não são afetadas de maneira adversa pela presença de uma camada de lama líquida no fundo do canal (ver Seção D3.2). No entanto, alguns aspectos devem ser esclarecidos:

- existem indicações de que a controlabilidade do navio (efetividade de leme e propulsão, bem como sua capacidade de parada) pode ser afetada em uma faixa crítica de baixas velocidades, devido à interação com a onda interna;
- as causas de possíveis problemas de controlabilidade devidos a contactos da quilha com uma camada de lama consolidada devem ser investigadas.

Está claro que testes com modelos têm participação importante nesta pesquisa. Experimentos em tamanho real devem ser incentivados, porém eles são muito dispendiosos e a execução de testes sistemáticos é praticamente impossível. Para que se possa extrapolar os resultados de testes com modelos para o tamanho real, é necessário chegar a um acordo sobre os procedimentos dos testes e particularmente, sobre a simulação de camadas de lama em condições de modelos em escala, levando em consideração os propósitos e as condições dos testes. Por exemplo, o emprego de um sistema de duas camadas pode oferecer vantagens para a execução de grandes séries de testes sistemáticos para estudar o comportamento do navio em lâminas d'água positivas ou um pouco negativas abaixo da quilha. Por outro lado, torna-se necessário o emprego de uma suspensão similar à lama para simulação de penetrações mais profundas da quilha em uma camada mais rígida de lama.

D.5. REFERÊNCIAS

- D1. DEVLIEGER, H.; DE CLODET, J. Navitracker: a giant step forward in intactness and economics of maintenance dredging. *Terra et Acqua*, nº 35, pp. 2-8, December 1987.
- D2. PIANC PTC II. Navigation in muddy areas. Excerpt from Bulletin No. 43. Report of Working Group 3-a. *pianc*, Brussels, 1982-1983.
- D3. BERLAMONT, J.; OCKENDEN, M.; TOORMAN, E.; WINTERWERP, J. The characteristics of cohesive sediment properties. *Coastal Engineering*, Vol. 21, pp. 105- 128, 1993.
- D4. MALHERBE B. Towards a definition of the nautical bed in mud deposits: the concept of

- rheologic transition, RT. International Workshop on Cohesive Sediments: "Towards a Definition of 'Mud'", Brussels, 1990.
- D.5 MIGNIOT C. Manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral. Première partie : Hydrodynamique sédimentaire. SOGREAH - L.C.H.F.
- D.6 KERCKAERT P., VANDENBOSSCHE D., MALHERBE B., DRUYTS M., VAN CRAENENBROECK K. Maintenance dredging at the port of Zeebrugge: Procedures to achieve an operational determination of the nautical bottom. Proceedings 9th KVIV Harbour Congress, pp4, 13 - 32, KVIV, Antwerp, 1988.
- D.7 KERCKAERT P., MALHERBE B., BASTIN, A. Navigation in muddy areas: The Zeebrugge experience. PIANC Bulletin No 48, Brussels, 1985.
- D.8 PIANC PTC II. Economic methods of channel maintenance. Report of Working Group 14. Suplement to PIANC Bulletin No. 67. PIANC, Brussels, 1989.
- D.9 ASTER, D., MEYER, E. Verbesserte Bestimmung der nautischen Tiefe im Emden Fahrwasser. Hansa, 127. Jahrgang, Nr. 23- 24, S. 1729 –1733. 1990.
- D.10 GRANBOULAN, J.; CHAUMET-LAGRANGE, M. Data collection and processing. Terra et Aqua, Nr. 46, pp.13-30. September 1991.
- D.11 BROSSARD C., LANNUZEL G., HELARD J.-P., GALLENNE B. Technical Improvements and maintenance economics for the maritime channels in the Loire estuary,. Port Autonome de Nantes Saint-Nazaire, 20 pp.
- D.12 CLAESSENS J., MARAIN J. Access channel to the Kallo Lock. Research of alternative dredging methods. Proceedings 9th KVIV Harbour Congress, pp. 4.189-200, KVIV, Antwerp, 1998.
- D.13 BROSSARD C., CAILLOT M., GRANBOULAN J., MIGNIOT M., MONADIER P., ROUDIER J. Sécurité de la navigation dans les chenaux envasés. 27^e Congrès International de Navigation, Section ii, Sujet I, pp 23-28. AIPCN, Osaka, 1990.
- D.14 BROSSARD C., DELOUIS A., GALICHON P., GRANBOULAN J., MONADIER P. Navigability in channels subject to siltation – Physical scale model experiments. Proceedings of the 22nd Coastal Engineering Conference, Delft, 1990.
- Volume 3, pp. 3088-3103. ASCE, New York, 1990.
- D.15 VAN BOCHOVE G., NEDERLOF L. Vaargedrag van diepstekende schepen in slibrijke gebieden. De Ingenieur, Nr. 30/31, juli 1979.
- D.16 VAN CRAENENBROECK K., VANTORRE M., DE WOLF P. Navigation in muddy areas: Establishing the navigable depth in the port of Zeebrugge. Proceedings of the CEDA-PIANC Conference, Accessible Harbour, Amsterdam, November 1991.
- D.17 WENS F., DE WOLF P., VANTORRE M., DE MEYER C. A hydro-meteo system for monitoring shipping traffic in narrow channels in relation with the problem of the nautical bottom in muddy areas. 27th International Navigation Congress, Section II, Subject I, pp. 5-16. PIANC, Osaka, 1990.
- D.18 DE MEYER, C.P; MALHERBE, B. Optimisation of maintenance dredging operations in maritime and estuarine areas. Terra et Aqua, No. 35, pp. 25-39. December 1987.
- D.19 WARNIER, F.; DRUYTS, M.; LEYS, E. Dredging in relation to harbours constructions –how to minimize maintenance dredging. Proceedings of the CEDA-PIANC Conference, Accessible Harbours, Amsterdam, November 1991.
- D.20 SELLMEIJER R., VAN OORTMERSSSEN, G. The effect of mud on tanker manoeuvres. Spring Meetings, RINA, Paper No. 7, The Royal Institution of Naval Architects, London, 1983.
- D.21 VANTORRE M., COEN I. On sinkage and trim of vessels navigating above a mud layer. Proceedings 9th KVIV Harbour Congress, pp. 4.149-161, KVIV, Antwerp, 1988.
- D.22 VANTORRE M. Ship behaviour and control at low speed in layered fluids. Proceedings International Symposium on Hydro- and Aerodynamics in Marine Engineering (HADMAR), BSHC, Varna, 1991.
- D.23 VANTORRE, M. Ship behaviour and control in muddy areas: State of the art. Manoeuvring and Control of Marine Craft (MCMC'94), Southampton, 1994.
- D.24 FERDINANDE, V.; VANTORRE, M. The behaviour of a mud-water interface underneath a slowly advancing ship at small keel clearance. International Symposium on Hydro- and Aerodynamics in Marine Engineering (HADMAR'91), Varna, 1991. Proceedings, Volume I, Paper No. 4, 10 pp.

- D. 25 GALICHON P., FERAL A., GRANBOULAN J., VIGUIER, J. Variations in rheological properties of muds in the Gironde estuary. Proceedings of the 22nd Coastal Engineering Conference, Delft, 1990. Volume 3, pp. 2936-2949. ASCE, New York, 1990.
- D. 26 VANTORRE M. Systematische proevenreeksen met het zelfaangedreven schaalmodel van een sleepopperzuiger boven een mengsel petroleumtrichloorethaan als slibsimulatiemateriaal: experimentele waarnemingen en theoretische interpretaties. Rijksuniversiteit Gent / Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout. Gent / Antwerpen 1990.
- D. 27 TOORMAN, E. A. Modelling of fluid mud flow and consolidation. Doctor's Thesis, Katholieke Universiteit Leuven. Leuven, 1992
- D. 28 TEETER, A. M. Navigable depth concept for channels with fine-grained sediment. Dredging Research, Vol. DRP-91-4, pp. I-5, OCTOBER 1991.
- D. 29 The viscous characteristics of channel-bottom muds. Dredging Research Technical Notes. DRP-2-04, July 1992.
- D. 30 Evaluation of new fluid mud survey system at field sites. Dredging Research Technical Notes. DRP-2-05, November 1992.
- D. 31 Navigable depth investigations at the Calcasieu Lake entrance channel, Louisiana. Dredging Research Technical Notes. DRP-2, February 1994.
- D. 32 TEETER, A. Experience with intrusive fluid-mud survey systems in coastal channels. FIG XX. International Congress, Melbourne, 1994.
- D. 33 VERTONGEN E. Enkele aspecten in verband met de weerstand van schepen in slibrijke gebieden. Stedelijke Industriële Hogeschool Antwerpen, 1988-1989..
- D. 34 ZILMAN, G.; MILOH, T.; KAGAN, L. Hydrodynamics of a body moving over a mud layer. Proceedings of the 20th Symposium on Naval Hydrodynamics, Santa Barbara, 1994
- D. 35 RECHLIN, D. Definition of the nautical depth in the main muddy areas of the Federal Waterways Board. PIANC Bulletin No. 86, pp. 18-31, 1995.
- D. 36 MATHEW, T.K.; CHANDRAMOHAN, P.V. Low cost dredging techniques at the Port of Cochin, India. Terra et Aqua, No. 52, pp. 13-19, September 1993.

D.6. SÍMBOLOS

AM	lama composta artificialmente	
AP	perpendicular de ré	
B	boca do navio	(m)
C _B	coeficiente de bloco	(-)
CP/K	parafina clorinada – mistura de querosene	
D	diâmetro do hélice	(m)
FP	perpendicular de vante	
g	aceleração da gravidade	(m/s ²)
h ₁	profundidade da água entre a superfície livre e a interface água-lama	(m)
h ₂	espessura da camada de lama	(m)
K _T	coeficiente de lpropulsão: $T/\zeta u^2 D^4 \div (\rho n^2 D^4)$	(-)
L	comprimento do navio	(m)
LNG	gás liquefeito natural (navio transportador)	
L _{pp}	comprimento do navio entre perpendiculares	(m)
n	velocidade angular do hélice do navio	(rpm)
N	momento de guinada; momento sobre eixo vertical do navio	(Nm)
N'	momento de guinada adimensional $N/(...) \div (\frac{1}{2} \rho^2 V^2 L^3)$	(-)
n _M	velocidade angular do hélice do modelo	(rpm)
NM	lama natural	
P	potência (no eixo)	(kW, HP)
RPM	revoluções por minuto	
S	conteúdo de lama; conteúdo de partículas com diâmetro < 63 µ	(peso%)
t	tempo	(s)
T	calado	(m)
	propulsão	(N)
TCE/P	mistura tricloreto-gasolina	
T _s	concentração de material sólido (sedimento seco)	(g/l)
TSHD	draga auto-transportadora de sucção (Trailing Suction Hopper Dredger)	
UKC	lâmina d'água sob a quilha com referência à interface água-lama (a não ser que de outro modo especificado)	(m ou % do calado)
V	velocidade do navio	(m/s ou nós)
V _{crit}	velocidade crítica separando a segunda e a terceira faixas	(m/s ou nós)
V _M	velocidade do modelo	(m/s)
V _w	velocidade do navio através da água	(m/s ou nós)
Y	força lateral sobre o navio	(N)
Y'	força lateral adimensional $Y \div / Y / (...) (\frac{1}{2} \rho V^2 L^3)$	(-)
γ	cisalhamento	(-)
γ'	variação de velocidade	(1/s)
δ	ângulo do leme	(°)
ρ	densidade	(kg/m ³ ou t/m ³)
ρ ₁	densidade da água	(kg/m ³ ou t/m ³)
ρ ₂	densidade da lama	(kg/m ³ ou t/m ³)
ρ _s	densidade do sedimento	(kg/m ³ ou t/m ³)
η	viscosidade dinâmica	(Pa s)
η [∞]	viscosidade diferencial de Bingham	(Pa s)
τ	tensão de cisalhamento	(Pa ≡ N/m ²)

T_o	tensão de escoamento estática (ou inferior)	(Pa $\equiv$ N/m ²)
T_B	tensão de escoamento de Bingham (ou superior), tensão residual	(Pa $\equiv$ N/m ²)
T_y	rigidez inicial, tensão de escoamento	(Pa $\equiv$ N/m ²)
ϕ	fração de volume de sólido	(-)
ζ_m	afundamento médio	(m)