

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Escola Politécnica

Curso de Engenharia Civil

Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente

*Crêterios de projeto em obras portuárias: uma
compara o entre normas brasileira e estrangeiras*

Luis Paulo de Oliveira Bianco

Rio de Janeiro

Março de 2015

*Critérios de projeto em obras portuárias: uma
comparação entre normas brasileira e estrangeiras*

Luis Paulo de Oliveira Bianco

Projeto de Monografia apresentado ao Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof.: GILBERTO OLYMPIO MOTA FIALHO

Rio de Janeiro

Março de 2015

*Critérios de projeto em obras portuárias: uma
comparação entre as normas brasileira e estrangeiras*

Projeto de Monografia apresentado ao Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Examinada por:

Prof. GILBERTO OLYMPIO MOTA FIALHO, D. Sc., Orientador

Prof. AFONSO AUGUSTO MAGALHÃES DE ARAÚJO, D.Sc.

Prof. PAULO RENATO DINIZ JUNQUEIRA BARBOSA, M.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO de 2015

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Deus, que sempre me guiou.

Aos meus pais Luis Carlos e Regina Celi que me apoiaram nesta jornada de vida, que me educaram e ensinaram os valores que carrego comigo.

Às minhas irmãs Luciana e Suzana, companheiras de todos os momentos.

À minha noiva Isabelle Guedes dos Santos e família, por todo apoio e tantos momentos felizes.

Aos meus colegas estudantes, que enfrentaram juntos o desafio de se formar engenheiro por esta escola.

Aos professores da Escola Politécnica que tanto contribuíram para a minha formação.

Aos meus companheiros de trabalho que me mostraram os caminhos do engenheiro profissional.

Resumo

Este estudo é uma comparação entre a norma de projeto portuário brasileiro da ABNT, *NBR 9782: Ações em Estruturas Portuárias, Marítima ou Fluviais* com as normas *Unites Facilities Criteria*, dos Estados Unidos da América e *British Standards*, do Reino Unido, no que se refere a critérios de projeto, com ênfase em cargas permanentes, sobrecargas verticais, cargas móveis, ações ambientais, ações de atracação e ações de amarração.

Este trabalho propõe-se a investigar as normas e fazer uma crítica a norma brasileira, indicando se está ou não em boas condições de ser a norma vigente, com bom nível de especificações, em comparação com as normas estrangeiras.

O resultado deste estudo foi a evidência de que a norma brasileira é muito sucinta em seus tópicos e explicações. A norma brasileira utiliza valores de cargas e sobrecargas desatualizados e métodos simples para cálculo das ações ambientais, de atracação e amarração.

Palavras-chaves: projeto, estrutura portuária, acostagem, amarração, norma técnica, comparação internacional, NBR 9782

Abstract

This study seeks to compare the Brazilian port project standard of ABNT, *NBR 9782: Loads on Port, Maritime or River Structures* with the standards Unites Facilities Criteria, from the United States of America and British Standards, from the United Kingdom, as regards to design criteria, with an emphasis on permanent loads, vertical distributed loads, mobile loads, environmental loads, berthing loads and mooring loads.

This work proposes to investigate the standards and critiques the Brazilian standard, indicating whether or not it has good conditions of being the current standard, with a good level of requirements and specifications compared to foreign standards.

The result of this study was that the Brazilian standard is very succinct on its topics and explanations. Values of loads and overloads are outdated, while environmental, berthing and mooring actions have simple calculation methods.

Keywords: port design, technical standards, international comparison, NBR 9782

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
SEÇÃO I - GERAL	1
1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	1
3. Escopo	2
4. Metodologia	2
5. Normas e Agências Normativas	2
SEÇÃO II – CARGAS PERMANENTES E SOBRECARGAS	6
6. Cargas Permanentes	6
7. Sobrecargas Verticais – Definição	7
8. Área de estoque	9
9. Distribuição de sobrecargas	12
SEÇÃO III – CARGAS MÓVEIS.....	13
10. Cargas Móveis - Definição	13
11. Veículos	15
12. Composição ferroviária	16
13. Cargas de guindastes móveis sobre pneus.....	17
14. Cargas de guindaste de pórtico sobre trilhos	23
15. Cargas de outros equipamentos de manuseio	32
SEÇÃO IV – AÇÕES AMBIENTAIS	42
16. Geral	42
17. Correntes.....	43
18. Marés e níveis d’água	56
19. Ondas	58
20. Ventos.....	74
21. Sobrepressão hidrostática	75
22. Variação de temperatura.....	76
SEÇÃO V – AÇÕES DE ATRACAÇÃO	77
23. Considerações Gerais	77
24. Determinação de energia de atracação	79
25. Massa deslocada pelo navio (M_1) ou Coeficiente de configuração de berço	81

26.	Massa de água adicional (M_2)	82
27.	Velocidade de aproximação do navio (V)	84
28.	Coeficiente de excentricidade (C_e)	88
29.	Coeficiente de rigidez (C_r) ou de deformação (C_d) ou de maciez (C_s)	92
30.	Coeficiente de geometria (C_g)	93
31.	Esforços de atracação	93
32.	Forças paralelas à linha de atracação.....	99
33.	Dimensionamento do sistema de defensas	101
SEÇÃO VI – AÇÕES DE AMARRAÇÃO		104
34.	Introdução.....	104
35.	Forças devido ao vento.....	108
36.	Forças devidas às correntes	124
37.	Amarração das embarcações - Considerações gerais	141
38.	Dispositivos de amarração.....	144
39.	Tipos de cabeços, guinchos ou outros dispositivos	149
40.	Tração nos dispositivos de amarração	156
CONCLUSÃO.....		163
BIBLIOGRAFIA		164
ANEXOS		165

SEÇÃO I - GERAL

1. Introdução

A construção portuária brasileira carece de uma normalização atualizada, no que se refere a assegurar requisitos específicos de projeto e instalações. Este trabalho buscou comparar a atual normas brasileira com as normas estrangeiras equivalentes buscando identificar as lacunas, omissões ou pontos de melhoria para que a norma brasileira possa ser aprimorada.

Um dos objetivos deste trabalho é servir como referência para profissionais da área que buscam conhecimento das normas internacionais.

As duas normas internacionais foram selecionadas por serem de fácil acesso e serem publicações de dois países com tradição na construção portuária. Também levou-se em conta a facilidade de compreensão da língua inglesa.

A motivação deste trabalho foi a carência de bibliografia atualizada em português sobre o tema de engenharia portuária. A norma brasileira não se atualizou junto com as transformações do transporte naval mundial. Basear um projeto somente nas normas brasileiras, pode gerar projetos ultrapassados, que tenham problemas em receber maiores e mais modernos navios, problemas para operar equipamentos de manuseio de cargas. Por falta de atualização na norma, um projeto pode ser superdimensionado ou subdimensionado, o que pode gerar impactos econômicos, impactos na operação portuária, impacto na segurança de estruturas e operações.

Um dos resultados deste trabalho foi demonstrar que a norma brasileira carece de especificações técnicas detalhadas que são abundantes nas normas equivalentes norte-americanas e britânicas, como será apresentado a seguir.

2. Objetivo

Apresentar e comparar a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR – 9782: Ações em Estruturas Portuárias, Marítima ou Fluviais com as normas equivalentes *United Facilities Criteria* dos Estados Unidos da América e *British Standard*, do Reino Unido, de modo a encontrar as semelhanças e diferenças entre elas.

3. Escopo

O escopo deste trabalho se refere a critérios de projeto de ações em estruturas acostáveis, com ênfase em cargas permanentes, sobrecargas verticais, cargas móveis, ações ambientais, ações de atracação, ações de amarração, e suas equivalentes nas normas estrangeiras.

4. Metodologia

O método de trabalho consistiu primeiramente no estudo da norma NBR 9782, de onde foram retirados os tópicos que se queria abordar. Em seguida, foi feita uma pesquisa do que seriam as normas estrangeiras equivalentes, de onde se chegou nas normas UFC e BS. foi feito um estudo dessas normas e foram selecionados e traduzidos através de uma extensa pesquisa de vocabulário e termos técnicos todos os tópicos de interesse dessas normas, e apresentados neste trabalho. Em seguida, separou-se os itens das norma um por um, e foi possível fazer as e comparações entre cada item de cada norma que serão apresentados neste trabalho. Ao final é feita uma comparação geral entre as normas levando-se em conta estas considerações.

5. Normas e Agências Normativas

Enquanto as normas de projeto portuário brasileira e inglesa são administrados por órgãos civis, as estadunidense são administradas por órgãos militares.

A norma brasileira é a mais antiga, do ano de 1987, enquanto a britânica é de 2000. A atualização mais antiga da norma estadunidense é de 2010.

5.1 Normalização

Normalização é a atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem em um dado contexto. Consiste, em particular, na elaboração, difusão e implementação das Normas.

A normalização é, assim, um processo de formulação e aplicação de regras para a solução ou prevenção de problemas, com a cooperação de todos os interessados e, em particular, para a promoção de economia global. No estabelecimento dessas regras

recorre-se à tecnologia como o instrumento para estabelecer de forma objetiva e neutra, as condições que possibilitem que o produto, projeto, processo, sistema, pessoa, bem ou serviço atendam às finalidades a que se destina, sem ser esquecidos os aspectos de segurança.

Norma é documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido que fornece regras, diretrizes ou características mínimas para atividades ou para seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto.

A norma é, por princípio, de uso voluntário, mas quase sempre é usada por representar o consenso, sobre o estado da arte de determinado assunto, obtido entre especialistas das partes interessadas.[1]

5.2 Associação Brasileira de Normas Técnicas

A ABNT é o Foro Nacional de Normalização por reconhecimento da sociedade brasileira desde a sua fundação, em 28 de setembro de 1940, e confirmado pelo governo federal por meio de diversos instrumentos legais. Entidade privada e sem fins lucrativos, a ABNT é membro fundador da International Organization for Standardization (ISO).

A ABNT é responsável pela publicação das Normas Brasileiras (ABNT NBR), elaboradas por seus Comitês Brasileiros (ABNT/CB), Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE).

A norma NBR 9782: Ações em Estruturas Portuárias, Marítima ou Fluviais, que é objeto deste trabalho, fixa os valores representativos das ações que devem ser consideradas no projeto de estruturas portuárias, marítimas ou fluviais. Os valores se aplicam às estruturas de abrigo ou acostagem. Para ter acesso a norma é necessário o pagamento de uma taxa e a versão mais recente é de 1987. [1]

5.3 Norma Americana

O sistema *Unified Facilities Criteria* (UFC), que pode ser traduzido como “Critérios Unificados de Instalações”, fornece critérios de projeto, planejamento, construção,

sustentação, restauração e modernização, aplicáveis aos departamentos militares , os órgãos de defesa , e as Atividades de Campo do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD). A norma será usada para todos os projetos do DoD e é válido para outros clientes sempre que necessário.

As normas UFC são documentos vivos que serão periodicamente revistos , atualizados e disponibilizados para os usuários como parte da responsabilidade dos serviços de prestação de critérios técnicos para a construção militar. A Sede do *US Army Corps of Engineers* (HQUSACE) , *Naval Facilities Engineering Command* (NAVFAC) e *Air Force Center for Engineering and the Environment* (AFCEE) são responsáveis pela administração do sistema UFC.

As normas UFC apresentadas neste trabalho contém descrições e critérios de projeto para cais e construção do cais, amarras e defensas, esforços provenientes de ações ambientais, estruturas secundárias e auxiliares. Estes UFC fornecem critérios mínimos de planejamento e projeto de instalações portuárias eficientes.

As normas UFC utilizadas para compor este trabalho são públicas. Elas estão listadas a seguir, com seu título original, seguido de uma tradução para língua portuguesa e a data de sua mais recente atualização:

- UFC 4-152-01 Design: Piers and Wharves (Projeto: Píeres e Cais – 2012);
- UFC 4-150-06 Military Harbors and Coastal Facilities (Portos Militares e Obras Costeiras – 2010);
- UFC 4-159-03 Design: Moorings (Projeto: Amarras – 2012).

5.4 Norma Britânicas

O *British Standards Institution*, que pode ser traduzido como “Instituto de Normas Britânico” é o órgão de padrões nacionais do Reino Unido, sendo pioneiro nesta área. A instituição representa os interesses econômicos e sociais do Reino Unido em todas as organizações de normatização europeias e internacionais. A organização trabalha com diversos setores, empresas, governos e consumidores para desenvolver padrões britânicos, europeus e internacionais. [4]

As normas propõe-se como um guia de recomendações gerais em critérios de projeto, planejamento, construção e manutenção de estruturas em ambientes marítimos. As

recomendações desta norma são dadas de maneira a ajudar aos clientes e engenheiros a obter as informações básicas para o projeto de qualquer estrutura marítima.

O guia não leva em conta o critério financeiro do empreendimento, apesar de reconhecer que é necessário fazer estudos econômicos para cada projeto, em conjunto com os critérios de engenharia explicitados na norma. A norma foi escrita para as condições encontradas no Reino Unido, e apesar da maioria do conteúdo poder ser aplicável em qualquer outro local, poderão ser necessárias alterações.

O código de práticas representa a boa prática no momento em que é escrito, e inevitavelmente, desenvolvimentos técnicos fazem partes dele obsoletos com o tempo.
[5]

As normas BS são acessíveis através do pagamento de uma taxa. As normas que compõe este trabalho são:

- BS 6349-1:2000 Maritime structures – Part 1: Code of practice for general criteria (Estruturas marítimas – Parte 1: Código de práticas para critério geral);
- BS 6349-4:1994 Maritime structures – Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems (Estruturas marítimas – Parte 4: Código de práticas para projeto de sistemas de defensas e amarras).

A norma BS 6349-1:2000 foi produzida para substituir a antiga BS 6349-1:1984. A norma publicada em 2000 ainda está em vigor, mesmo sendo obsoletas as Seções 2, 3, 6 e 7 que foram substituídas com a publicação recente das normas BS 6349-1-1:2013, BS 6349-1-3:2012 e BS 6349-1-4:2013.

A norma BS 6349-4:1994 está obsoleta e foi substituída pela BS 6349-4:2014. Como não foi possível adquirir essa versão mais nova publicada em 2014, decidiu-se por utilizar a primeira, visto ser este um trabalho acadêmico.

SEÇÃO II – CARGAS PERMANENTES E SOBRECARGAS

6. Cargas Permanentes

As normas apresentam-se bastante similares quanto ao tópico de cargas permanentes, sendo que a norma norte-americana apresenta mais pesos específicos de materiais que a norma brasileira, enquanto a norma britânica não apresenta nenhum.

6.1 Norma Brasileira

Carga Permanente é o peso próprio dos elementos componentes da estrutura portuária e massa de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. [2]

Na falta de determinação experimental devem ser usados os seguintes pesos específicos, para os materiais pertinentes às estruturas portuárias:

Tabela 6.1 – peso específico de materiais

Material	Peso específico (kN/m ³)
Concreto simples	24
Concreto armado	25
Concreto ciclópico	22
Cantaria	26

FONTE: [2]

6.2 Norma Americana

Dead load ou carga “morta” consiste no peso de toda a estrutura, incluindo todos os acessórios permanentes, tais como equipamento de amarração, de utilidades, postes de luz, armazéns, galpões , linhas de serviço público e etc.

Utilizar informações atuais sobre peso específico dos materiais de construção utilizado na elaboração do projeto. Veja a Tabela 3-1 para pesos específicos que devem ser usados para materiais de construção (a menos que pesos específicos menores possam ser demonstrado pela experiência local). [3]

Tabela 6.2 – Peso específico

Material	Peso específico, (kN/m ³)
Aço ou aço fundido	76,9
Ferro fundido	70,7
Ligas de alumínio	27,5
Madeira (não tratada)	6,3 até 7,9
Madeira (tratada)	7,1 até 9,4
Concreto armado comum	22,8 até 25,1
Concreto armado leve	14,1 até 18,8
Solo, areia, ou cascalho compactado	23,6
Pavimento asfáltico	21,2

FONTE: [3]

6.3 Norma Britânica

Na norma britânica *dead load* é citado como um tipo de carga que a estrutura deve suportar, que atua na estrutura como uma carga estática. A seção 7 da norma é sobre materiais, porém não cita valores de peso específico. [5]

7. Sobrecargas Verticais – Definição

A norma brasileira apresenta valores diferentes de sobrecarga de acordo com o tipo de mercadoria que será operado no terminal (carga geral, contêineres, ro-ro, granéis sólido ou líquido, produtos siderúrgicos, pesqueiro, de passageiros) enquanto a norma americana só diferencia valores para carga geral, contêineres, ou armamentos. Os outros valores de sobrecarga são devido a embarcações militares (atracação de porta aviões ou submarino) ou tipos específicos de obras (acabamento, reparos, abastecimento de combustível) Para carga geral, a norma brasileira prevê classes com carregamentos diferentes variando entre 50 e 20 kN, enquanto a estadunidense apresenta apenas um valor de 35,9 kN para carga geral e 47,9 kN para contêineres. A norma britânica utiliza a sobrecarga de guindastes sobre pneus para calcular a sobrecarga.

7.1 Norma Brasileira

As sobrecargas verticais são ações uniformemente distribuídas de natureza não definida aplicadas às estruturas que podem ocorrer durante sua vida útil. Os valores das sobrecargas a serem considerados nos terraplenos, plataformas ou outros elementos das estruturas dependem do tipo e finalidade da obra. A determinação destes valores deve ser feito de acordo com os tipos de materiais estocados ou manuseados e sua distribuição. [2]

Tabela 7.1 – valores característicos nominais mínimos de sobrecarga para obras de acostagem

Tipo de obra	Valores mínimos para sobrecarga (kN/m ²)
Cais ou píer para carga geral (classe especial)	50
Cais ou píer para carga geral (classe G 32)	40
Cais ou píer para carga geral (classe G 12)	30
Cais ou píer para carga geral (classe G 6)	20
Cais ou píer para contêineres ou Ro-Ro	40
Cais ou píer para granéis sólidos	30
Cais ou píer para granéis líquidos	20
Cais ou píer para produtos siderúrgicos	100
Ponte de acesso	10
Passarela	5
Plataformas fixas ou flutuantes sem sobrecarga definida	10
Áreas de estoque de granéis de uso geral	100
Cais ou píer pesqueiro	10
Cais ou píer para passageiros	10
Cais para rebocadores	10

FONTE: [2]

7.2 Norma Americana

Geral

Em um cais de atracação de carga geral, um projeto tipicamente apresenta diferentes sobrecargas verticais incluindo cargas uniformes, veicular, de empilhadeira, e carga de patola de guindastes. A carga máxima de patola de guindaste móvel geralmente produz

as maiores condições de carregamento de projeto, com as outras cargas sendo apresentadas basicamente para fins informativos.

Veja a Tabela 7.2 para valores recomendados de cargas uniformes para piers e cais. Ao projetar para cargas uniformes, impacto não é considerado [3]

Tabela 7.2 - carga uniformemente distribuída por tipos de pier ou cais

Tipo de pier ou cais	Carga uniformemente distribuída (kN/m ²)
Cais ou píer para munição	28,7
Cais ou píer para atracação de porta-aviões	38,3
Cais ou píer para atracação de navios comuns	28,7
Cais ou píer para atracação de submarinos	28,7
Cais ou píer de acabamento	38,3
Cais ou píer de reparos	28,7
Cais ou píer de abastecimento de combustível	14,4
Cais ou píer de suprimentos (carga geral)	35,9
Cais ou píer de suprimentos (contêineres)	47,9

FONTE: [3]

7.3 Norma Britânica

Cargas Básicas

Além de cargas de peso próprio e empuxo do terreno, outras forças que podem atuar sobre estruturas marítimas são aquelas provenientes de fenômenos naturais como vento, neve, gelo, variação de temperaturas, marés, correntes, ondas e terremotos. Também existem as cargas causadas por atividades operacionais como atracação, amarração, lançamento, dique secos, e a estocagem e manuseio de mercadorias. [5]

8. Área de estoque

As normas são divergentes neste tópico. A norma brasileira é sucinta. A norma americana rechassa a utilização de área de píer ou cais na estrutura para área de estoque, que deve ser mantida em terra. A norma britânica, é mais abrangente neste tópico, chamando atenção para efeitos de vento, aumento de carga devido a umidade, fornece valores para altura típicas de pilha e peso específico de uma grande variedade de mercadorias. Fornece também a sobrecarga para contêineres empilhados, carga de

impacto de descarregamento, considerações sobre cargas quentes ou frias e disposição de áreas específicas para cargas perigosas.

8.1 Norma Brasileira

Para áreas de estoque específicas a sobrecarga é determinada de acordo com o peso específico do material e a geometria da pilha. Áreas de estoque de granéis de uso geral devem prever uma sobrecarga de 100 kN/m^2 [2]

8.2 Norma Americana

Plataformas de pier ou cais são estruturas geralmente muito caras para abrigar galpões de armazenamento, que devem ser localizados em terra para boa rentabilidade. Galpões de armazenamento e edifícios de qualquer tipo devem ser mantidos fora de píeres e cais, a menos que sua localização possa ser justificada por razões de segurança. Galpões de transição podem ser considerados em píeres e cais, caso uma área em terra adequada não esteja disponível. [3]

Um dos fatores principais na escolha do local de um porto é a existência de áreas em terra de tamanho e elevação suficiente para acomodar as necessidades de apoio, protegidas de enchentes ou inundações. E com potencial para futura ampliação ou alteração de uso do porto. [6]

8.3 Norma Britânica

8.3.1 Geral

Para instalações de armazenamento específicas, tais como silos, tanques, galpões ou pilhas de contêineres, a carga aplicada na subestrutura deve ser calculada, levando em conta o peso da estrutura de armazenamento, o peso do material armazenado e os efeitos do vento. O teste de oleodutos é geralmente levada a cabo usando água, que deve ser levado em conta nos cálculos de carregamento. Efeitos dinâmicos que podem aumentar ou alterar a distribuição de cargas, por exemplo no desembarque de mercadorias, abastecimento ou descarregamento também devem ser levados em conta.

8.3.2 Pilhas de granéis sólidos

Para pilhas expostas de materiais a granel, o peso do material depende das alturas máximas, de ângulos de repouso e as densidades dos materiais a serem armazenados. Para os materiais que retêm água, e onde nenhuma proteção contra chuva é fornecida ou onde aspersores são usados, o peso do material saturado deve ser utilizado. Alturas de armazenamento de 3 m a 15 m são comumente utilizadas. O uso de paredes de retenção nas bordas pode levar a aumento das alturas.

8.3.2.1 Outros *Commodities*

Para outras áreas de armazenamento, a carga imposta depende da altura de empilhamento e densidade efetiva das mercadorias embaladas. A altura de empilhamento pode ser limitada por:

- a) a altura atingível com o equipamento de empilhamento;
- b) a solidez da embalagem;
- c) a altura disponível dentro de galpões;
- d) regulamentações ou prática comercial.

Na ausência de informações mais específicas, os valores típicos da altura de empilhamento dadas na Tabela 8.1 devem ser adotadas. Os valores típicos de densidades empilhados efetivos, em alguns *commodities* comuns são dados no anexo A. Se uma melhor informação não estiver disponível, a sobrecarga para carga geral pode ser tomada como 20 kN/m^2 . [5]

Tabela 8.1 – Típica altura de pilha

Tipo de mercadoria	Altura de pilha (m)
Carga geral paletizada	5
Madeira ou produtos de madeira	6 a 7
Produtos de metal	3
Peixes	2,5
Frutas e vegetais	4

FONTE: [5]

8.3.2.2 Contêineres

A Tabela 10 fornece cargas de contêineres expressados como cargas uniformemente distribuídas. Deve-se considerar cargas concentradas devido a:

- a) peças de canto de contêineres;

- b) equipamentos de movimentação de contêineres sobre rodas;
- c) rodas de caminhões reboque estacionados.

Tabela 8.2 - Cargas de contêineres expressados como cargas uniformemente distribuídas

Tipo de carregamento	Carga (kN/m ²)
4 unidades empilhadas vazias	15
1 unidade cheia	20
2 unidades empilhadas cheias	35
4 unidades empilhadas cheias	55

FONTE: [5]

Os valores para dois contêineres empilhados ou mais incluem uma redução de carga considerando que não estão totalmente cheios. Um contêiner de 20 pés, quando cheio, é considerado ter um peso médio de 150 kN. O valor máximo pode chegar a 300 kN. [5]

8.3.2.3 Outras Cargas

Um carga estática adicional, igual a máxima carga unitária manipulada, mas não superior a 100 kN, deve ser considerada para impactos de descarregamento de mercadorias onde guindastes operam. [5]

Onde mercadorias quentes ou frias são armazenados, deve-se considerar o efeito de temperatura no solo ou estrutura. As áreas de armazenamento de cargas perigosas devem permitir terraplanagem, aterros, causeway, ou outras medidas de proteção. [5]

9. Distribuição de sobrecargas

9.1 Norma Brasileira

As sobrecargas verticais devem ser colocadas nas posições capazes de produzir os efeitos mais desfavoráveis para o cálculo de cada elemento estrutural. Não deve ser considerada a aplicação simultânea de sobrecargas verticais numa faixa com uma largura de 1,0 m para cada lado de trilhos ocupados por composições ferroviárias ou equipamentos de manuseio. [2]

Os valores característicos das ações devidas às sobrecargas verticais definidos nesta Norma referem-se apenas à consideração da referida sobrecarga atuando isoladamente

na estrutura portuária na sua posição mais desfavorável, para ser combinada com os efeitos de deformação diferida e variação de temperatura. [2]

Na área compreendida entre o trilho externo do guindaste e o paramento do cais, a sobrecarga uniformemente distribuída pode ser reduzida a 40% do seu valor, não sendo porém considerado um valor inferior a 10 kN/m². Esse coeficiente considera que a área em questão não é usualmente utilizada durante a operação portuária. [2]

9.2 Norma Americana

Em geral, sugere aplicar sobrecargas uniformes e concentrada em uma forma lógica. Sobrecargas uniformemente distribuídas e sobrecargas concentradas de equipamentos sobre pneumáticos não devem ser aplicados simultaneamente na mesma área. No entanto, sobrecarga uniformemente distribuída deve ser assumido entre trilhos de guindaste (em uma área de 80 por cento da bitola). Quando trilhos ferroviários estão presentes entre faixas de trilho de guindaste, ambas as sobrecargas devem ser aplicadas simultaneamente. No entanto, as cargas máximas de cada pista não tem de ser assumida. Operações excepcionais podem justificar uma abordagem mais conservadora. [5]

9.3 Norma Britânica

É abordado na seção de cargas móveis, referente a veículos portuários.

SEÇÃO III – CARGAS MÓVEIS

10. Cargas Móveis - Definição

10.1 Norma Brasileira

As cargas móveis são definidas como as ações variáveis normais provenientes de veículos, composições ferroviárias, equipamentos móveis sobre trilhos, rodas, esteiras ou pneus. As ações são quantificadas por seus valores característicos nominais conforme indicado a seguir. A determinação dos valores característicos nominais deve ser feita em cada caso de acordo com o tipo e função de estrutura em questão sempre levando-se em consideração a possibilidade de futuras modificações e/ou ampliações

das instalações. Independentemente de qualquer avaliação não podem ser adotados nos projetos valores inferiores aos indicados a seguir. [2]

10.2 Norma Americana

10.2.1 Cargas concentradas

Cargas de roda e cargas de patola de equipamentos sobre pneus, como caminhões, caminhões grua, empilhadeiras, e portaineres devem ser orientados em qualquer direção e orientação, causando as ações máximas sobre os elementos estruturais considerados para o projeto. Cargas significativas de recipientes de combustível em píeres de reparação ou acabamento superiores a 300 kips (1334,5 kN) podem ser encontradas. Projetar as tampas de valetas, tampas de dutos de utilidade e tampas de acessos para resistir as cargas concentradas, onde são acessíveis aos equipamentos móveis. [3]

10.2.2 Cargas críticas

Sobrecargas concentradas de caminhões, guindastes móveis, empilhadeiras, e transteineres, incluindo sobrecargas de patolas de caminhão grua, são geralmente críticas para o projeto de lajes de cais e tampas de valetas, que tem vãos pequenos. Sobrecarregamento uniformemente distribuído, sobrecarga de patola de guindaste móvel, grua montada sobre trilhos e veículos e composições ferroviário são geralmente crítico para o projeto de vigas, bloco de coroamento de estacas, e estacas. [3]

10.3 Norma Britânica

A movimentação de carga e sistemas de transporte operacional nos portos podem ser classificados como:

- a) equipamentos fixos e sobre trilhos;
- b) esteiras e condutos;
- c) o tráfego ferroviário;
- d) o tráfego rodoviário;
- e) veículos sobre pneus operando dentro dos limites do porto, com ou sem capacidade de içamento;
- f) guindastes sobre trilhos.

A carga aplicada em estruturas deve ser considerado em ambas as direções vertical e horizontal. Ao projetar a superestrutura para obras, deve-se considerar os efeitos de impacto.[5]

Operações de guindastes são geralmente suspensos em condições de alta velocidade de vento. Durante o manuseio e transporte de cargas e mercadorias, a velocidade considerada atuando no guindaste deve ser limitado de acordo. Para as condições máximas de vento, deve-se considerar medidas especiais de evacuação e travamento do guindaste. [5]

11. Veículos

11.1 Norma Brasileira

Os veículos devem obedecer às classes 45, 24 e 12 da NBR 7188, sendo os da classe 45 para os tipos de obra com sobrecarga acima de 40 kN/m^2 , os da classe 24 para os tipos de obra com sobrecarga de 30 kN/m^2 e os da classe 12 para os demais tipos de obra.

As ações verticais devidas a veículos e composições ferroviárias devem ser multiplicadas por um coeficiente de impacto igual a 1,20. Fica dispensada a consideração do impacto vertical no caso de lajes ou plataforma com espessura de aterro ou pavimentação superior a 0,80 m, estruturas para contenção de terraplenos e fundações profundas. Para alturas intermediárias é considerada a interpolação linear entre os valores citados.

As ações horizontais devido à frenagem e aceleração dos veículos e dos trens devem ser determinadas de acordo com a NBR 7187 [2]

11.2 Norma Americana

As cargas de roda de caminhão devem ser calculadas de acordo com a *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Standard Specifications for Highway Bridges*, com as alterações indicadas a seguir. No projeto de lajes, vigas e estacas, aplicar um fator de impacto de 15 por cento. Elementos estruturais abaixo dos blocos de coroamento de estacas não precisam ser projetados para o impacto. Quando a carga de caminhão é transferida através de 1,5 pés (0,45 m) ou mais de lastro, brita e pavimentação, ou para construções preenchidas (do tipo sólida) as ações de impacto não precisam ser considerados para o projeto. Além disso, é preciso verificar a

atividade local para o uso de outros veículos de sobrecarga, por exemplo, transportadores de armas, veículos de transporte de mísseis, etc., que podem ter cargas significativamente mais altas nas rodas.[3]

11.3 Norma Britânica

A carga nominal de veículos rodoviários permitida em vias públicas no Reino Unido é especificado pela norma BS 5400. Para pátios e pavimentos, devem ser considerados efeitos locais de carregamento tipo HB, detalhes do qual são dados em BS 5400-2, e podem ser utilizados para *straddle carriers*, *side loaders* e guias móveis se deslocando.

Fora do Reino Unido, cargas de tráfego mais pesadas podem ser permitidas ou encontradas e devem ser levados em conta as condições locais. [5]

12. Composição ferroviária

12.1 Norma Brasileira

As composições ferroviárias devem obedecer no mínimo à classe TB-360 para obras com uma sobrecarga igual ou maior que 40 kN/m^2 e à classe TB-270 para as demais obras.

As ações verticais devidas a veículos e composições ferroviárias devem ser multiplicadas por um coeficiente de impacto igual a 1,20. Fica dispensada a consideração do impacto vertical no caso de lajes ou plataforma com espessura de aterro ou pavimentação superior a 0,80 m, estruturas para contenção de terraços e fundações profundas. Para alturas intermediárias é considerada a interpolação linear entre os valores citados.

As ações horizontais devido à frenagem e aceleração dos veículos e dos trens devem ser determinadas de acordo com a NBR 7187.[2]

12.2 Norma Americana

Para cargas de vagões de trem, usar uma sobrecarga de 8000 lbs /pé (117 kN/m) de pista correspondente a designação Cooper E-80 do manual *American Railway Engineering Association (AREA) Manual for Railway Engineering*.

No projeto de lajes, vigas e bloco de coroamento de estacas, aplicar um fator de impacto de 20 por cento. Impacto não é aplicável para o projeto de estacas e estruturas

preenchidas, ou onde as cargas são distribuídas através de pavimentação e de lastro (1,5 pés (0,46 m) ou mais). [3]

12.3 Norma Britânica

O tráfego ferroviário nos portos difere de do tráfego ferroviário normal no sentido de:

- a) As velocidades podem ser restringidas;
- b) travessias podem ser numerosas e os raios de curvatura menores;
- c) locomotivas específicas para à terminais só podem ser usada em algumas áreas;
- d) os vagões ferroviários estão sujeitos a impactos de carregamento e descarregamento.

Na falta de informações mais precisas, um carregamento nominal distribuído uniformemente de 50 kN/m² deve ser assumida por áreas ocupadas por vias férreas correspondentes a tipo RU de carregamento. O tipo RU de carregamento é definido em BS 5400-2. [5]

13. Cargas de guindastes móveis sobre pneus

13.1 Norma Brasileira

O guindaste sobre pneus, indicado na Figura 13.1, é aplicado em obras de acostagem cujas sobrecargas sejam iguais ou inferiores a 10 kN/m² e o de 400 kN, indicado na Figura 13.2, para as demais obras. [2]

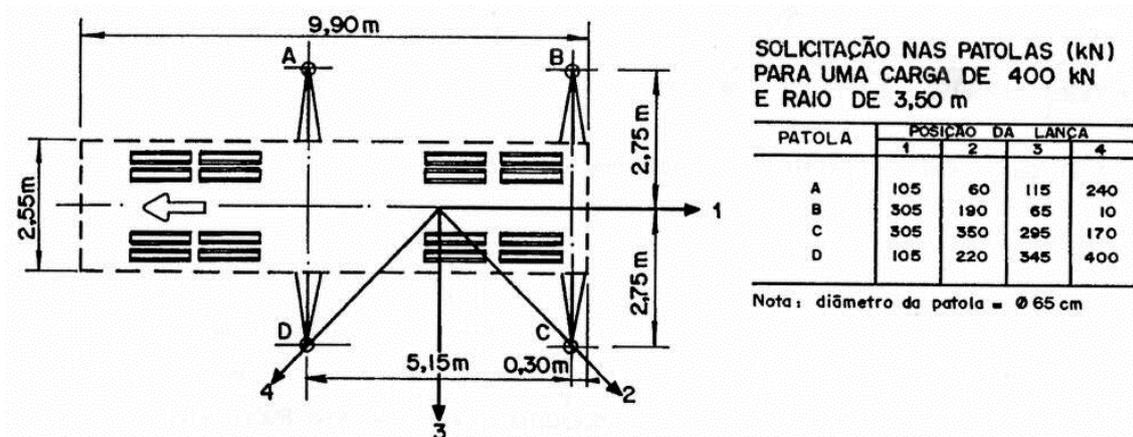


Figura 13.1– Guindaste sobre pneus com capacidade de içamento de 400 kN

FONTE:[2]

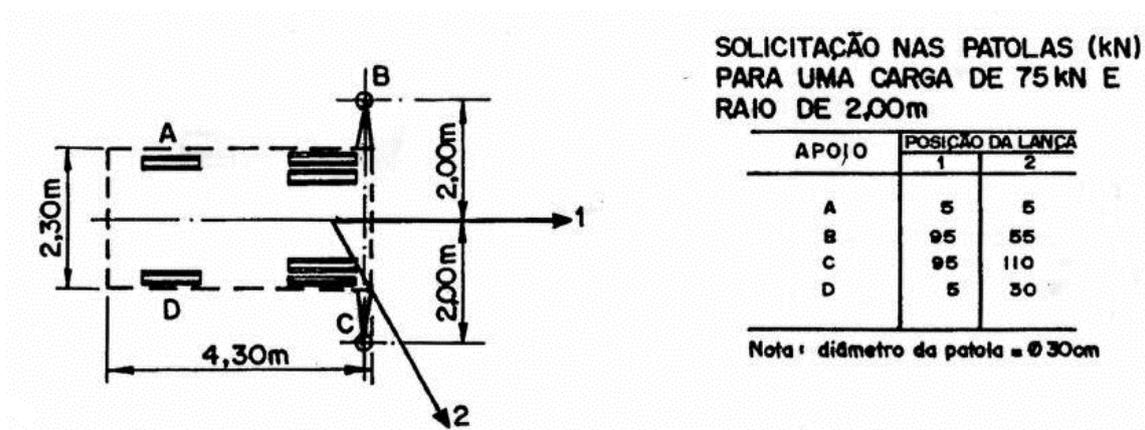


Figura 13.2 – Guindaste sobre pneus com capacidade de içamento de 75 kN
 FONTE: [2]

13.2 Norma Americana

Os projetos de plataforma de cais e píeres do tipo estrutura aberta ou flutuante são geralmente controlados pela sobrecarga de guindaste móvel. As restrições operacionais impostas por sub-dimensionar estas cargas são altas. Portanto, deve-se ter o cuidado de especificar sobrecarga realista. Consulte a Tabela 13.1 para tipos de guindastes móveis aplicáveis a cada tipo funcional do píer e cais. No mínimo projetar o cais ou píer para o guindaste móvel indicado na tabela, no entanto, verificar com a operação local para confirmar se um guindaste maior poderia vir a ser utilizado na instalação. [3]

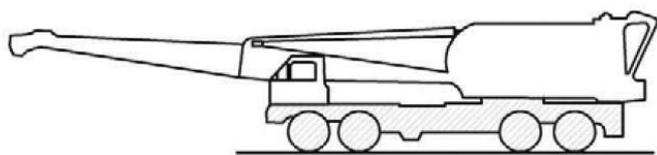
Tabela 13.1 – Capacidade de cargas de guindastes móvel por tipo de pier ou cais.

Tipo de pier ou cais	Capacidade de carga de guindaste móvel (toneladas)
Munição	81
Atracação (porta-aviões)	127
Atracação (todos outros)	81
Atracação (submarinos)	91
Acabamento	127
Reparos	127
Abastecimento de Combustível	45
Abastecimento (carga geral)	127
Abastecimento (contêineres)	127

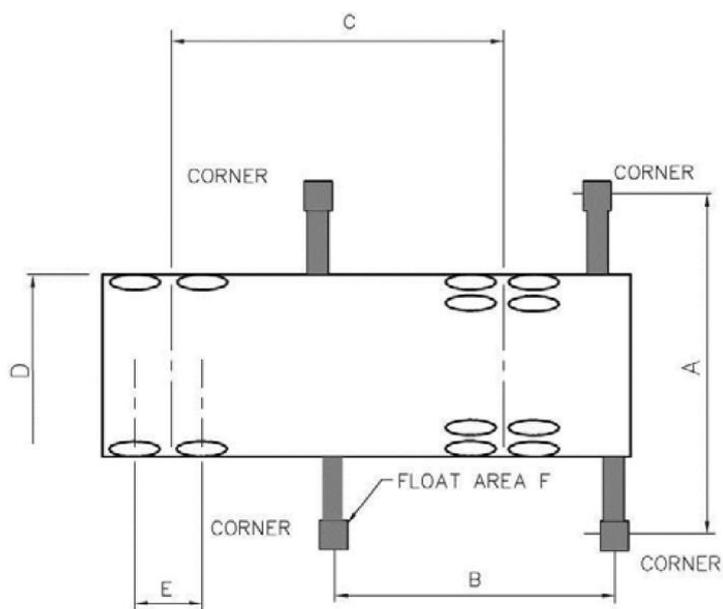
FONTE: [3]

13.2.1 Carga de Rodas

A Figura 13.3 apresenta as cargas de roda para guias móveis com capacidade de 50-, 70-, 90-, 115-, e 140 *ton* (45-,63-, 81-, 104-, 127 toneladas métricas) . As informações são para caminhão-grua comuns, embora os guindastes para terrenos acidentados também serem usados em cais e píeres. A área de contato do pneu deve ser conforme definido pela AASTHO. Como regra geral, as pressões no terreno para içamentos "sobre borracha" ou seja, sem o apoio das patolas, são cerca de 10 por cento maior do que a pressão de ar dos pneus. Fabricantes de guias recomendam que a maioria dos içamentos sejam feitos utilizando o apoio das patolas. Além disso, as capacidades de içamento "sobre borracha" são substancialmente menores do que para içamento apoiado sobre patolas. Por isso, as cargas de içamento "sobre borracha" não estão listados. Deve-se projetar todos os píeres e cais e seus acessos para as cargas de roda do caminhão-grua indicado pela Figura 13.3.[3]



CRANE TRAVELING – BOOM OVER FRONT



Guindaste em locomoção – cargas de roda com lança sobre a dianteira				Dimensões de guindaste					
Capac. de guindaste	Peso total (t)	Carga de eixo dianteiro (kN)	Carga de eixo traseiro (kN)	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	E (m)	F (cm ²)
45 t	37,2	124,5	240,3	6,1 até 7,0	5,5 até 7,0	3,7 até 5,8	2,6 até 2,7	1,2 até 1,7	1600 até 2600
63 t	47,6	151,0	315,8	6,1 até 7,3	5,5 até 7,3	4,0 até 5,8	2,6 até 2,9	1,2 até 1,7	2300 até 2900
81 t	61,2	177,5	422,7	6,7 até 7,9	5,5 até 8,2	4,0 até 5,8	2,6 até 3,0	1,2 até 1,7	2600 até 3400
104 t	81,6	177,5	622,7	6,7 até 8,2	6,1 até 8,2	5,5 até 7,3	2,7 até 3,0	1,2 até 1,7	2900 até 4700
127 t	90,7	196,1	694,3	6,7 até 8,2	6,1 até 8,2	5,8 até 7,3	2,9 até 3,4	1,2 até 1,7	3600 até 5900

Figura 13.3– Guindaste sobre pneus com capacidade de içamento de 400 kN

FONTE: [3]

13.2.2 Cargas nas patolas de guindaste

Tabela 13.2 – Cargas de patola para guindastes móveis

Capacidade (toneladas métricas)	Raio (m)	Lança sobre canto (kN)	Lança sobre parte traseira ou lado (kN)
45	6,1 ou menor	432	396
	9,1	369	307
	12,2	347	267
	15,2 ou maior	321	244
63	6,1 ou menor	579	507
	9,1	49	400
	12,2	463	379
	15,2 ou maior	441	347
81	6,1 ou menor	712	641
	9,1	641	534
	12,2	579	476
	15,2 ou maior	521	437
104	6,1 ou menor	868	814
	9,1	801	672
	12,2	695	583
	15,2 ou maior	641	534
127	6,1 ou menor	1032	921
	9,1	988	783
	12,2	939	730
	15,2 ou maior	881	667

FONTE: [3]

Na tabela 13.2 são listadas a carga em uma patola de guindaste com a lança sobre a posição do canto do guindaste e a máxima carga de duas patolas adjacentes com a posição da lança nas laterais e traseira do guindaste são listados. Tipicamente, as cargas de flutuação são máximas quando o içamento da carga nominal é de pequeno raio (20 pés (6,1 m) e menos) e devem ser utilizados para o projeto. No entanto, para piers e cais existentes, as outras cargas listadas podem ser utilizados para analisar a capacidade da plataforma. Espaçamento típico entre patolas estabilizadoras é indicado na Figura 13.3.

Aplicar as cargas de patola para uma área de 1,5 pés por 1,5 pés (0,46 m por 0,46 m) a menos que o tamanho real da patola é conhecido, caso em que se usa o tamanho real para análise. [3]

13.2.3 Impacto

Aplicar um fator de impacto de 15 por cento para todas as cargas de roda ao projetar blocos de coroamento de estacas, vigas e estacas. O fator de impacto não deve ser aplicada ao projetar estacas e outros elementos de subestrutura, nem ao projetar estruturas preenchida de terrapleno, ou onde cargas de roda são distribuídas através de pavimentação e de lastro (1,5 pés (0,46 m) ou mais). [3]

13.3 Norma Britânica

Carregamento tipo HB (ver item 11.3) abrangem carregamento pontual de rodas de guindastes móveis. Devem ser consideradas as ações das patolas estabilizadores e a capacidade de carga do solo, relativas ao tamanho do guindaste de projeto. Quando tais guindastes são para somente uso esporádico, uma redução de carga pode ser aceitável. Gruas móveis são classificados de acordo com a sua capacidade de carga e momento, e sua capacidade máxima de içamento em raio curto. Detalhes das classes de reação impostas pelas patolas estabilizadoras são dadas na Tabela 13.3. Os valores de massa dos guindastes foram tomadas para máquinas típicas. Em cada caso, as reações devem ser tomadas como agindo em duas patolas estabilizadores simultaneamente, com o espaçamento entre patolas indicados na Tabela 13.3. As cargas nas outras patolas podem ser calculadas dividindo a soma do máximo içamento mais o peso da máquina, menos as cargas de patola já calculado. Como a área de contato pode variar de acordo com o "pé" da patola, e pela técnica de compactação de solo, não foram fornecidos valores de capacidade de solo aplicáveis, mas pressões acima de 1000 kN/m^2 podem ser desenvolvidas a menos que restrições sejam impostas. [5]

Tabela 13.3 – Cargas de patola de guindaste móvel

Capacidade carga× momento (t×m)	Máxima capacidade de içamento (t)	Típica massa de guindaste (t)	Espaçamento de patola (m)	Máxima carga de patola (kN)
50 até 100	6 até 10	50	6,5	250
100 até 200	8 até 20	75	8,0	450
200 até 300	15 até 25	100	8,0	550
300 até 500	30 até 36	130	8,0	800
500 até 900	30 até 40	200	8,0	1.000
900 até 1.300	50 até 80	240	10,0	1.500

FONTE: [5]

14. Cargas de guindaste de pórtico sobre trilhos

14.1 Norma Brasileira

As ações a serem consideradas em projetos executivos para avaliar o efeito dos equipamentos de manuseio, devem ser as máximas provenientes das condições operacionais mais desfavoráveis conforme indicação do fabricante.

Para os guindastes de pórtico sobre trilhos, as características principais são as seguintes:

- a) Cais ou píer de classe especial;
 - Trem-tipo a ser fornecido pelo fabricante dos equipamentos;
- b) Cais ou píer da classe, G 32;
 - Guindaste tipo 1 conforme Figura 14.1;
- c) Cais ou píer da classe, G 12;
 - Guindaste tipo 2 conforme Figura 14.2;
- d) Cais ou píer da classe G 6;
 - Guindaste tipo 3 conforme Figura 14.3. [2]

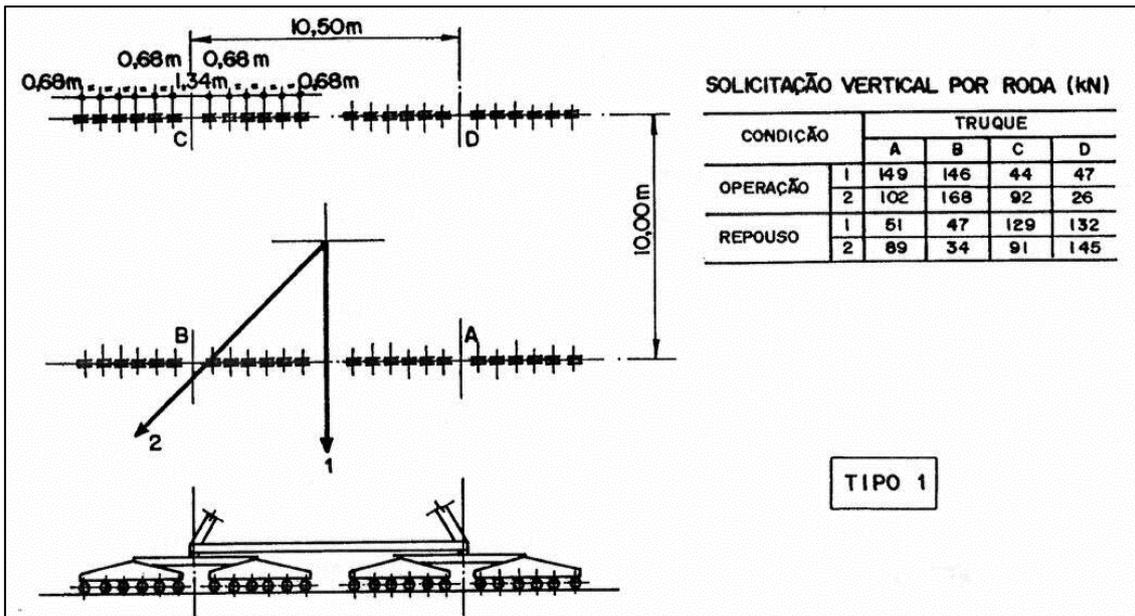


Figura 14.1 – Guindaste de pórtico 320/400 kN × 32/25... 8m

FONTE: [2]

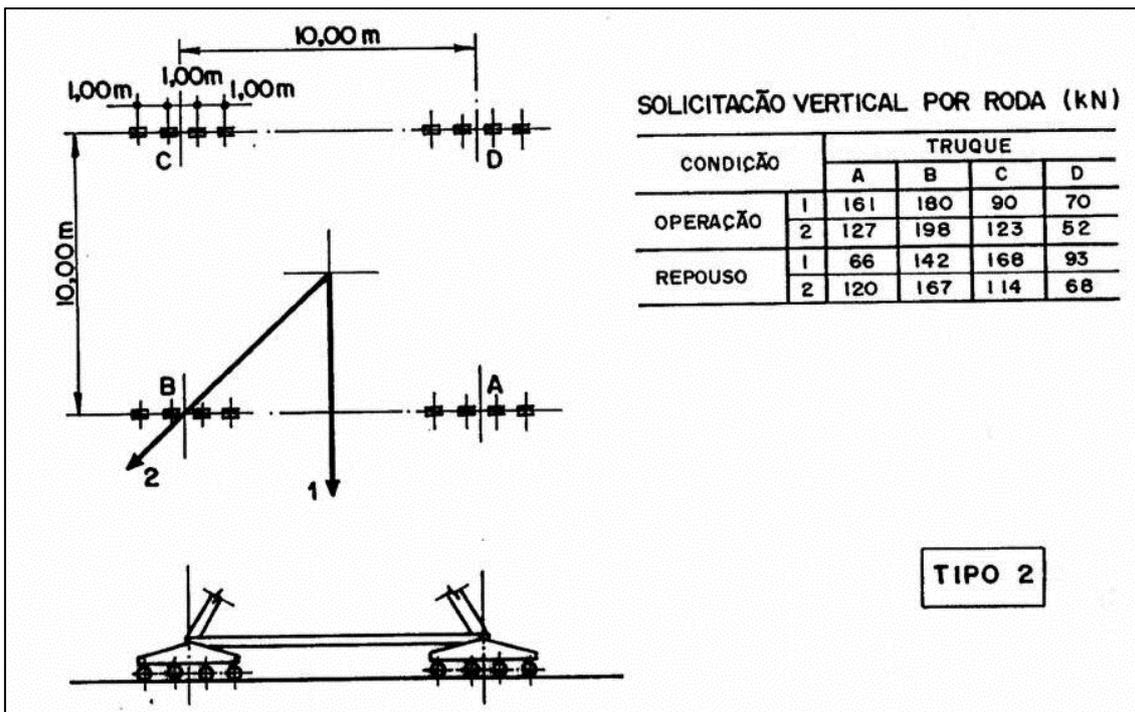


Figura 14.2 – Guindaste de pórtico 125 kN × 25 ...7m

FONTE: [2]

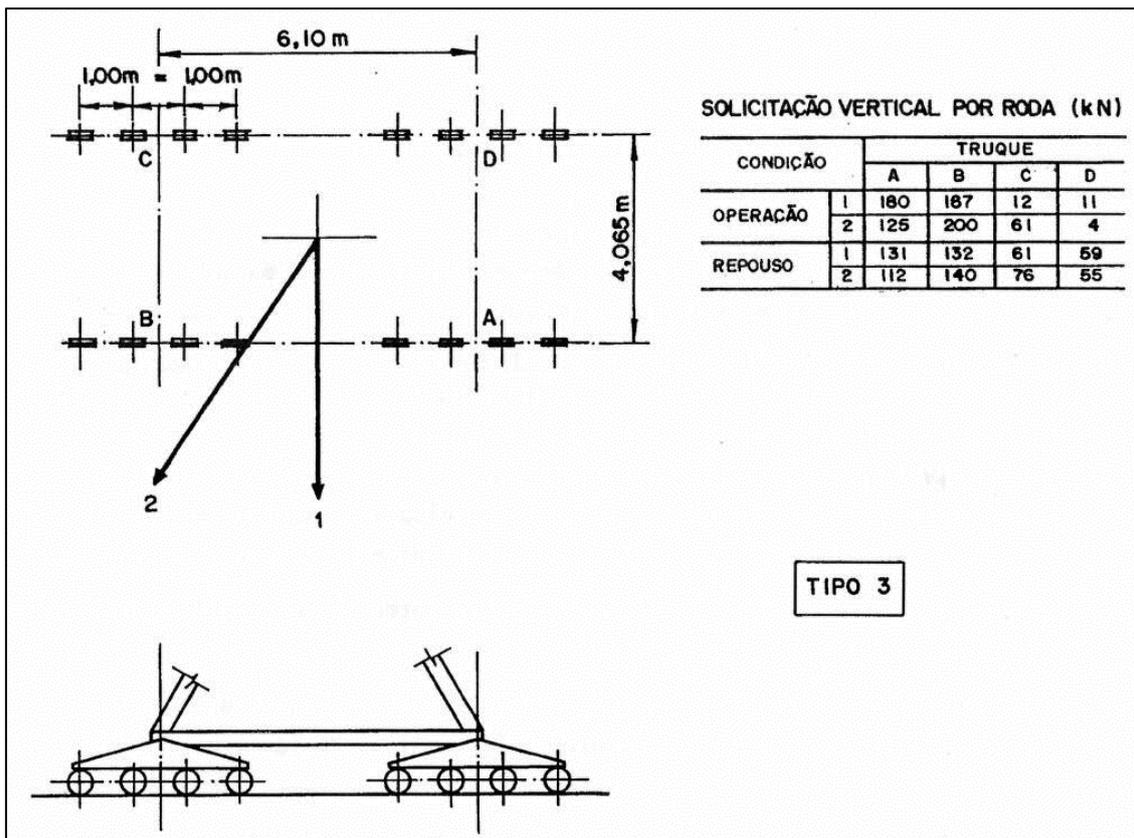


Figura 14.3 – Guindaste de pórtico 63 kN × 25 ...7m

FONTE: [2]

As ações horizontais atuando na direção dos trilhos e no sentido transversal dos mesmos podem ser estipuladas entre 10% e 15% das ações verticais transmitidas pelas rodas.

Devem ser levadas em consideração as ações concentradas provenientes de ancoragem e macaqueamento dos equipamentos. Os projetos devem definir a locação das áreas onde é permitida a atuação destas ações. [2]

14.2 Norma Americana

14.2.1 Guindaste de pórtico

Para projeto de novos píeres e cais, as informações específicas de carga de roda do guindaste a ser utilizado devem ser obtidas. Se as informações do guindaste não forem conhecidas, consultar a *Navy Crane Center* para carregamento de projeto de guindaste. Ao escolher cargas de projeto para rodas, deve-se considerar a flexibilidade de permitir diferentes tipos de guindastes e considerar até a substituição do guindaste, bem como a utilização futura do cais ou pier. Piers e cais têm maior longevidade do que guindastes sobre trilhos. Para este fim, uma roda com carga mínima de 110.000 libras (4990 kg ou

49 kN) em truques espaçados de 4 pés (1,2 m) permitem uma variedade prática de opções.

Ver a Tabela 14.1 para cargas típicas para diferentes utilizações de píeres e cais. A Figura 14.4 apresenta uma amostragem de cargas de roda para guindastes com capacidade de 60 *tons* e 151 *tons* (54,4 e 127 toneladas métricas respectivamente) recentemente adquiridos pela Marinha Estadunidense.

Estes guindastes foram adquiridos considerando a capacidades dos píeres e cais existentes e têm cargas de roda que são um tanto restritivos para novos projetos. Os valores fornecidos são típicos de equipamento existente já utilizado pela Marinha e são úteis para estudos de viabilidade de projeto em estruturas existentes. A bitola dos trilhos deve ser de aproximadamente 30 pés (9,1 metros) no mínimo, para um guindaste de pórtico com capacidade de 60 *tons* (54,4 toneladas métricas) , e até 40 pés (12,2 metros) para um guindaste de pórtico com capacidade de 100 *tons* (90,7 toneladas métricas) ou maior capacidade. Para a movimentação de recipientes de combustível em cais de reparação ou acabamento, são necessários guindastes de pórticos com capacidade de até 151 *tons* (137 toneladas métricas). [3]

14.2.2 Portêineres

Veja a Figura 14.5 para configuração e cargas de rodas de guindastes para contêineres e a Tabela 14.1 para a capacidade nominal dos guindastes para contêineres aplicáveis aos píeres e cais. A configuração e cargas de rodas são derivadas de vários fabricantes e deve ser usado apenas como um guia. Uma tendência recente no transporte de carga por contêineres é usar navios de maior porte, e esta é a força motriz na concepção de portainers. O tamanho do navio de projeto vai ditar a capacidade, a configuração, características operacionais e bitola do guindaste. A evolução no projeto de guindaste de contêineres tem levado a aumentar a bitola dos trilhos para até 100 pés (30,5 m) e o alcance da lança para até 150 pés (45,7 m) ou maior, mantendo a capacidade de içamento entre 40 e 50 long tons (1 long ton = 1,016 tonelada métrica). Por isso, as informações específicas sobre o tamanho do navio que será atendido e detalhes proveninetes do fabricante do guindaste devem ser obtidos para o projeto final. [3]

14.2.3 Incerteza na carga vertical de roda

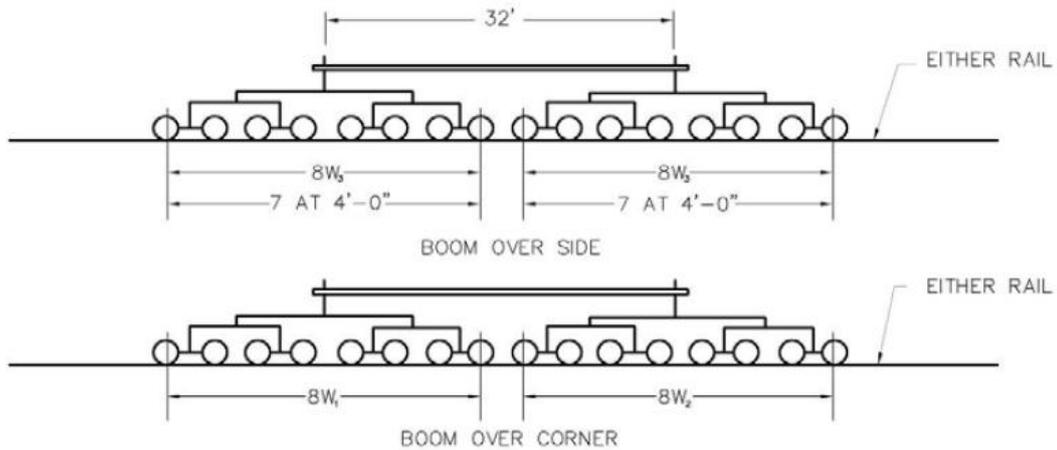
Guindastes de pórtico portaineres são normalmente adquiridos separadamente dos fundos da construção. As cargas máximas admissíveis de rodas são normalmente especificados nos documentos de aquisição guindaste. O número e espaçamento das rodas são fundamentais para a capacidade estrutural de uma instalação existente e para o projeto estrutural de uma nova instalação. Tendo estabelecido a capacidade necessária e configuração de um guindaste, o projetista de um píer ou cais deve consultar a *Navy Crane Center* e obter cargas de roda para qual a estrutura deve ser concebida. Na ausência de informações consistentes, a carga de roda 110.000 lbs (ou 49 kN), apresentado no parágrafo 14.2.1 pode ser utilizado para guindastes de pórtico. No entanto, as cargas de roda para portaineres apresentados na Figura 14.5 são fornecidos apenas como um guia. As características de projeto assinaladas no item 14.2.2 devem ser determinadas, a fim de calcular as cargas de roda reais. [3]

Tabela 14.1 – Capacidade de guindaste sobre trilhos para cada tipo de píer ou cais

Tipo de pier ou cais	Capacidade de carga de guindaste sobre trilhos (t)
Acabamento	de pórtico: 54 / 137
Reparos	de pórtico: 54 / 137
Abastecimento (containeres)	de cõnteiner: 41 / 51

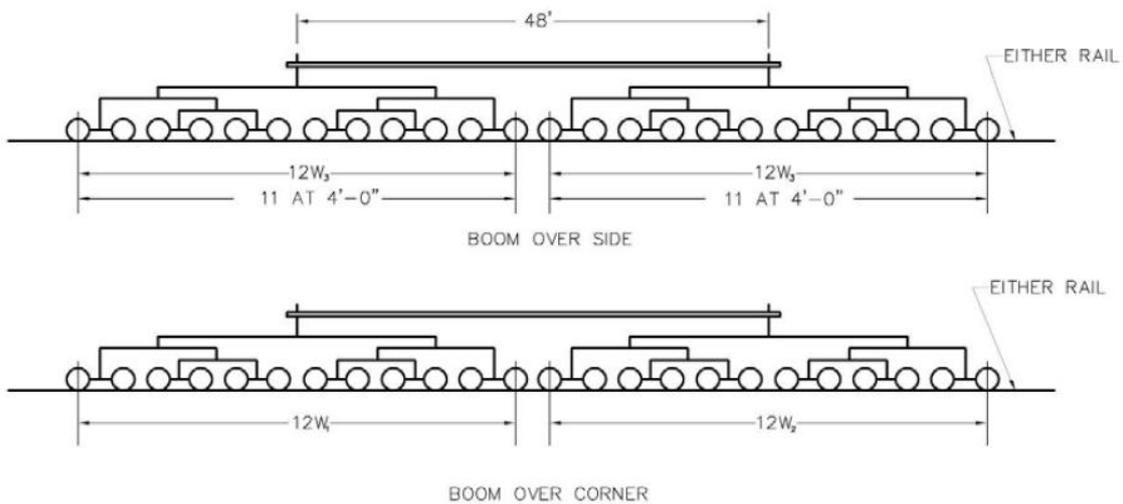
FONTE: [3]

Guindaste de pórtico com capacidade de 54 toneladas



Capacidade de guincho principal	Bitola de trilho (m)	Lança sobre canto		Lança sobre lado
		W ₁ (kN)	W ₂ (kN)	W ₃ (kN)
54 toneladas em 27,4 m	5,5	369	231	320
41 toneladas em 33,5 m	6,1	356	214	311
	9,1	325	182	276
	12,2	316	218	285

Guindaste de pórtico com capacidade de 137 toneladas



Capacidade de guincho principal	Bitola de trilho (m)	Lança sobre canto		Lança sobre lado
		W ₁ (kN)	W ₂ (kN)	W ₃ (kN)
137 toneladas em 19,8 m	5,5	360	289	338
90,7 toneladas em 27,4 m	12,2	311	258	289
66,2 toneladas em 33,5 m				
55,8 toneladas em 36,6 m				

Figura 14.4 – Carga de rodas de guindaste de pórtico

FONTE:[3]

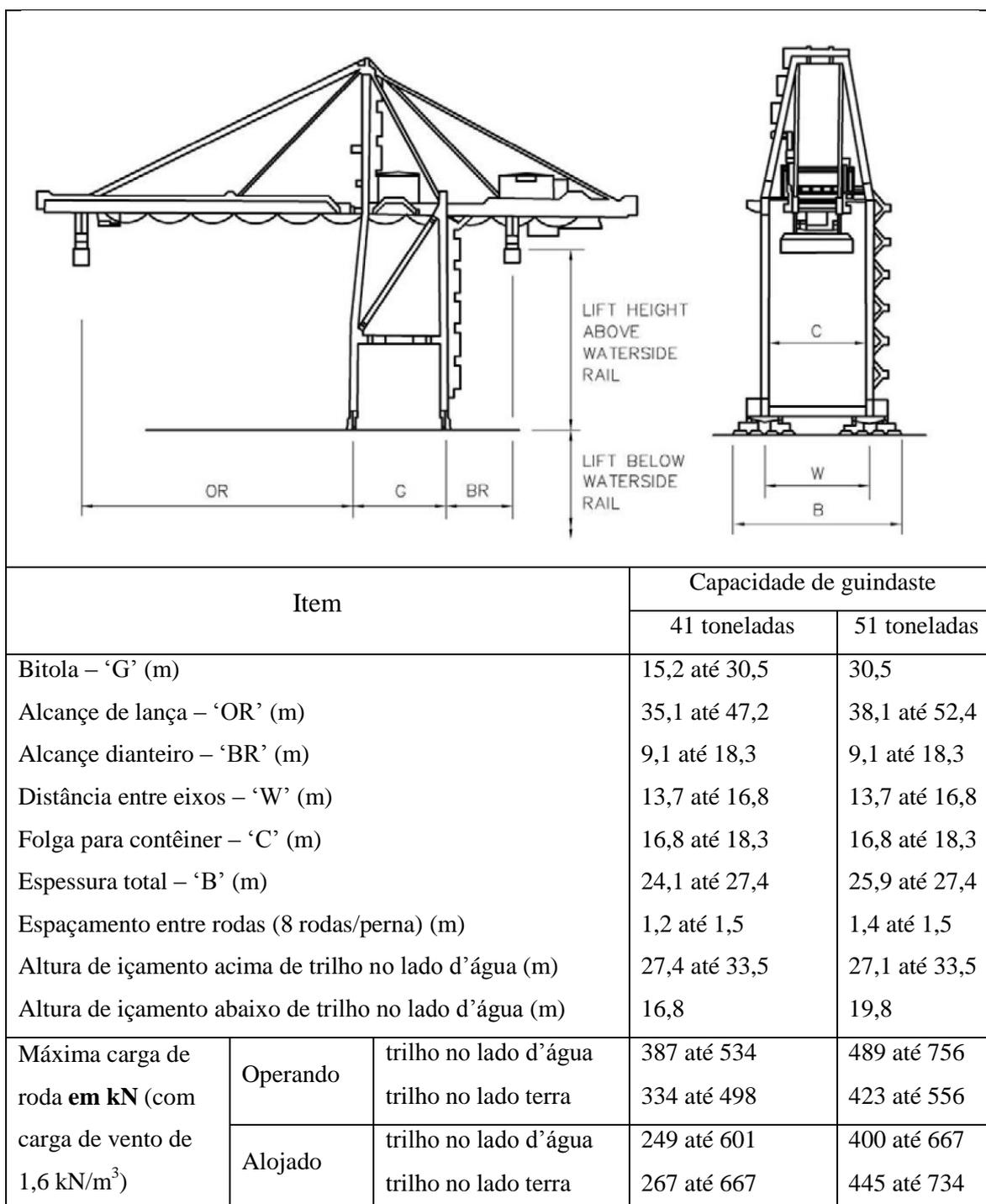


Figura 14.5 – Carga de rodas e configuração de portêiner FONTE: [3]

14.2.4 Impacto

Um fator de impacto de 25 por cento deve ser aplicado para as cargas máximas de rodas para o projeto de laje da plataforma, vigas de guindaste, e blocos de coroamento de estacas. O factor de impacto não é aplicável para projeto de estacas e outros elementos de subestrutura. [3]

14.3 Norma Britânica

Para equipamentos de movimentação de carga, fixa ou sobre trilhos, as cargas devem ser calculadas para o equipamento a ser instalado, levando em conta as cargas permanentes, cargas móveis e efeitos de vento e neve. Ambas as forças verticais e horizontais devem ser consideradas. Carregamento móvel deve incluir efeitos dinâmicos, incluindo deslocamento, giro, frenagem e içamento. Cargas de colisão entre itens de equipamentos sobre trilho ou entre um item de equipamento sobre trilho e com a antepara de outro equipamento deve ser calculada utilizando uma velocidade relativa de impacto de 1,0 m / s. [5]

14.3.1 Ship to shore container cranes (STS) ou portêineres

Como a escolha do tipo de guindaste de cotêiner poder ser feita após o projeto das obras de engenharia civil, a informação de carga dada a seguir pode ser usada para o projeto inicial. A Figura 14.6 dá as dimensões típicas de portêineres. Em serviço, a carga máxima é nas duas pernas ao largo (frontais). Sob condições de tempestade as cargas máximas estão em uma das pernas de canto. As cargas máximas estão na faixa de 4 000 kN a 6 000 kN, dependendo do serviço e dimensões.

Cargas de roda podem ser limitadas aumentando o número de rodas em cada truque, como pode ser visto a partir da A Figura 14.7, sujeito a eventuais restrições na dimensão entre as faces de para-choques.

Cargas de roda também podem ser minimizadas mediante a adoção de uma bitola larga, sendo o valor máximo normalmente 30 m. Cargas de roda máximas para guindastes com capacidade de 53 toneladas tipicamente variam de 500 kN até 750 kN. [5]

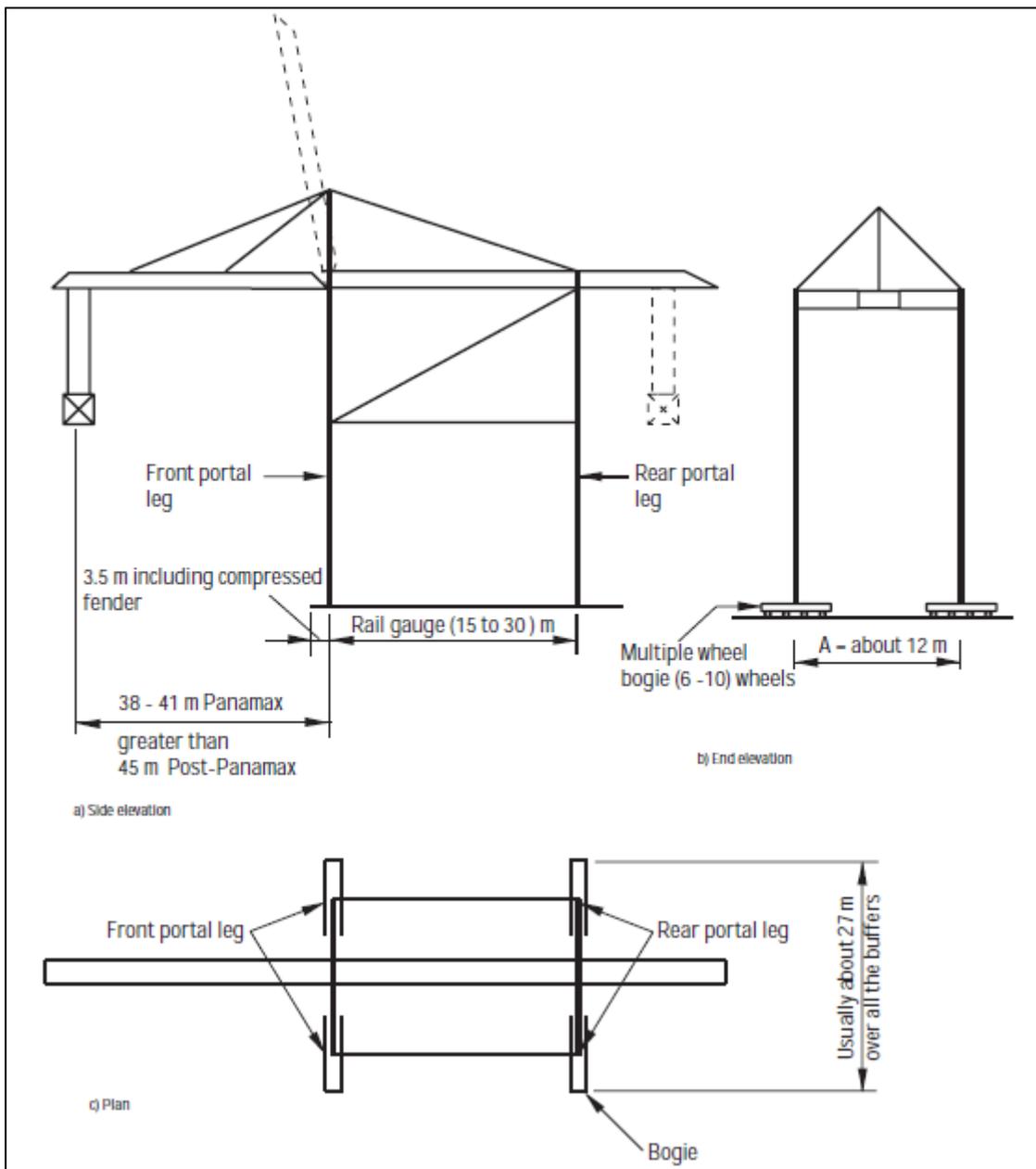


Figura 14.6 – Dimensões típicas de portêineres

FONTE: [5]

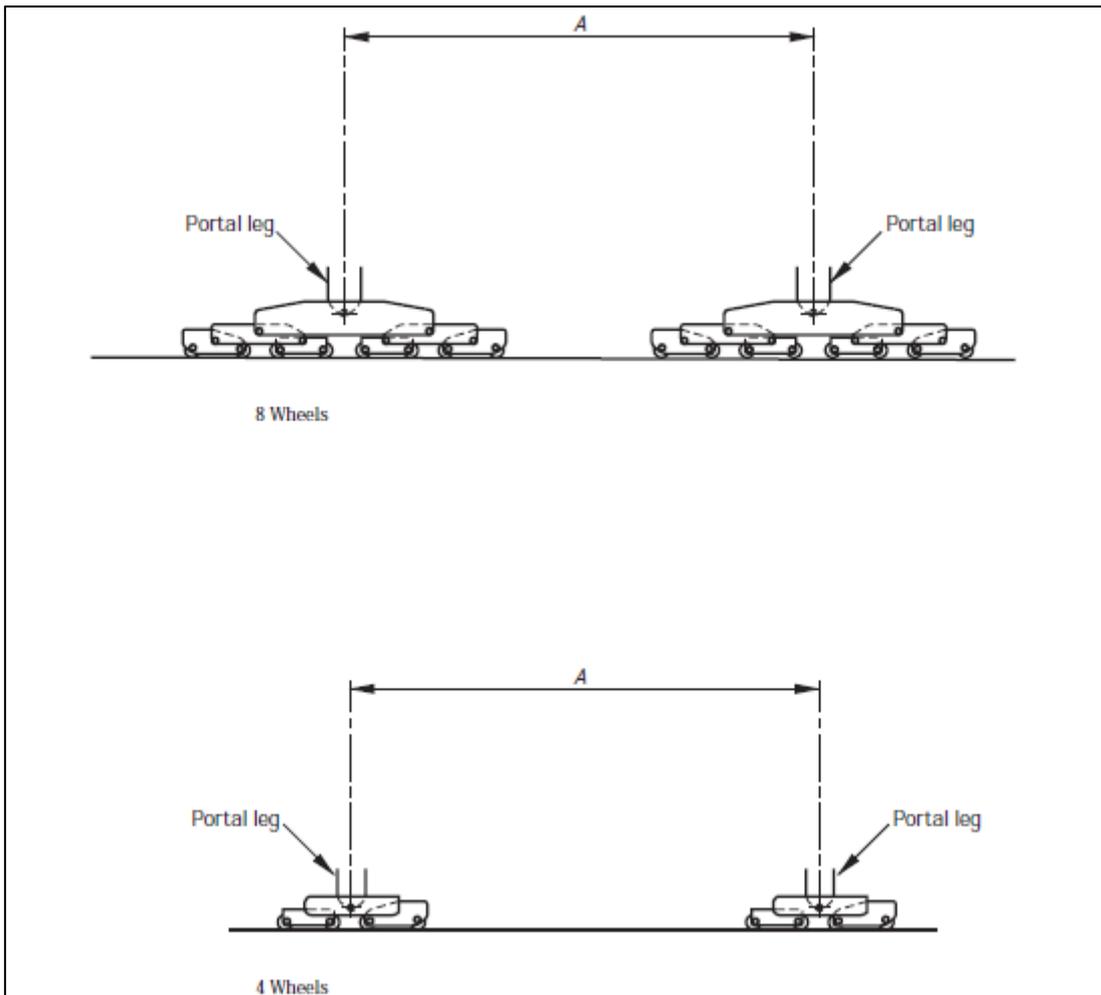


Figura 14.7 – Truque de portêineres com número variável de rodas FONTE: [5]

15. Cargas de outros equipamentos de manuseio

15.1 Norma Brasileira

As ações a serem consideradas em projetos executivos para avaliar o efeito dos equipamentos de manuseio, devem ser as máximas provenientes das condições operacionais mais desfavoráveis conforme indicação do fabricante.

Para os carregadores e descarregadores de navios, porta-contêineres e outros equipamentos especiais, as cargas são obtidas do trem-tipo fornecido pelos fabricantes.

As ações horizontais atuando na direção dos trilhos e no sentido transversal dos mesmos podem ser estipuladas entre 10% e 15% das ações verticais transmitidas pelas rodas.

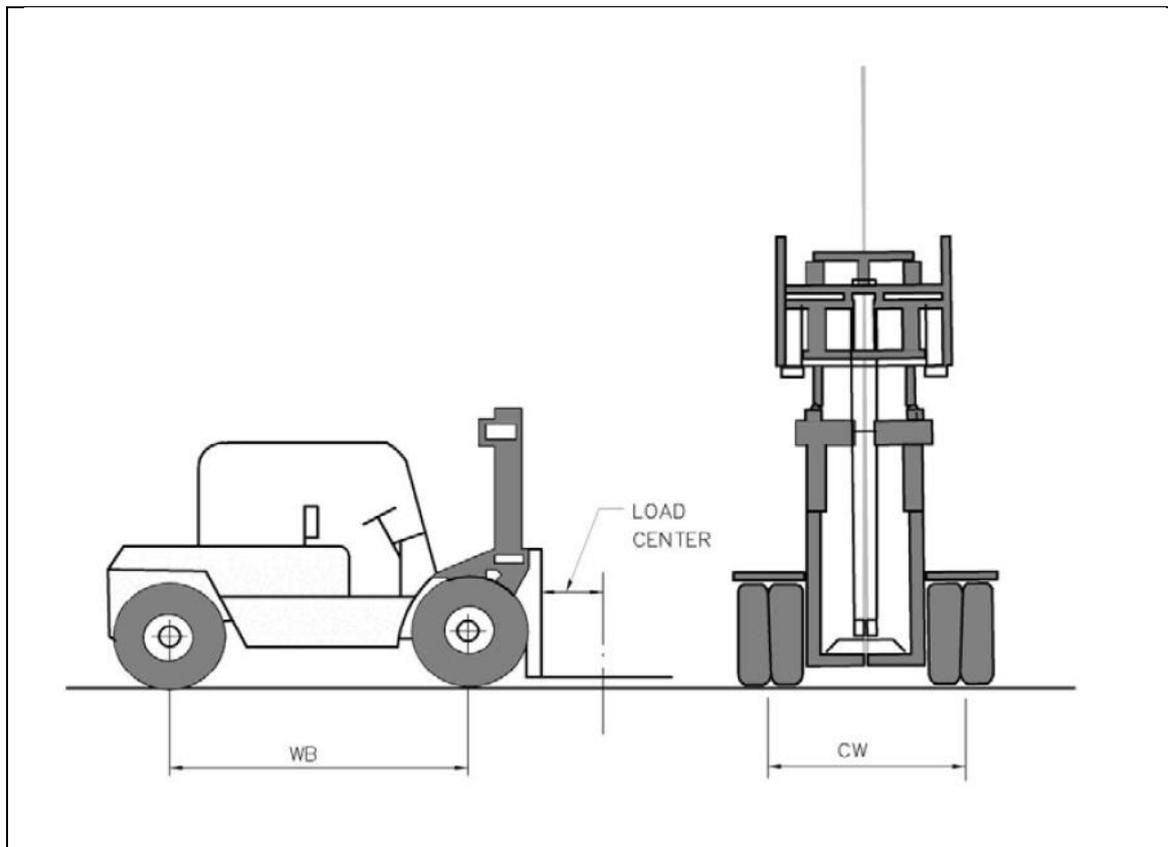
Devem ser levadas em consideração as ações concentradas provenientes de ancoragem e macaqueamento dos equipamentos. Os projetos devem definir a localização das áreas onde é permitida a atuação destas ações. [2]

15.2 Norma Americana

A Figura 15.1 mostra cargas de roda de empilhadeiras. Determinar as áreas de contato para cargas de roda de acordo com AASHTO. Para as rodas de borracha dura ou outras rodas não infladas, assumir a área de contato da roda como sendo uma carga pontual.

Veja a Figura 15.2 para cargas de rodas para um *straddle carrier*. O *straddle carrier* mostrado é capaz de levantar um contêiner carregado de 20 ou de 40 pés.

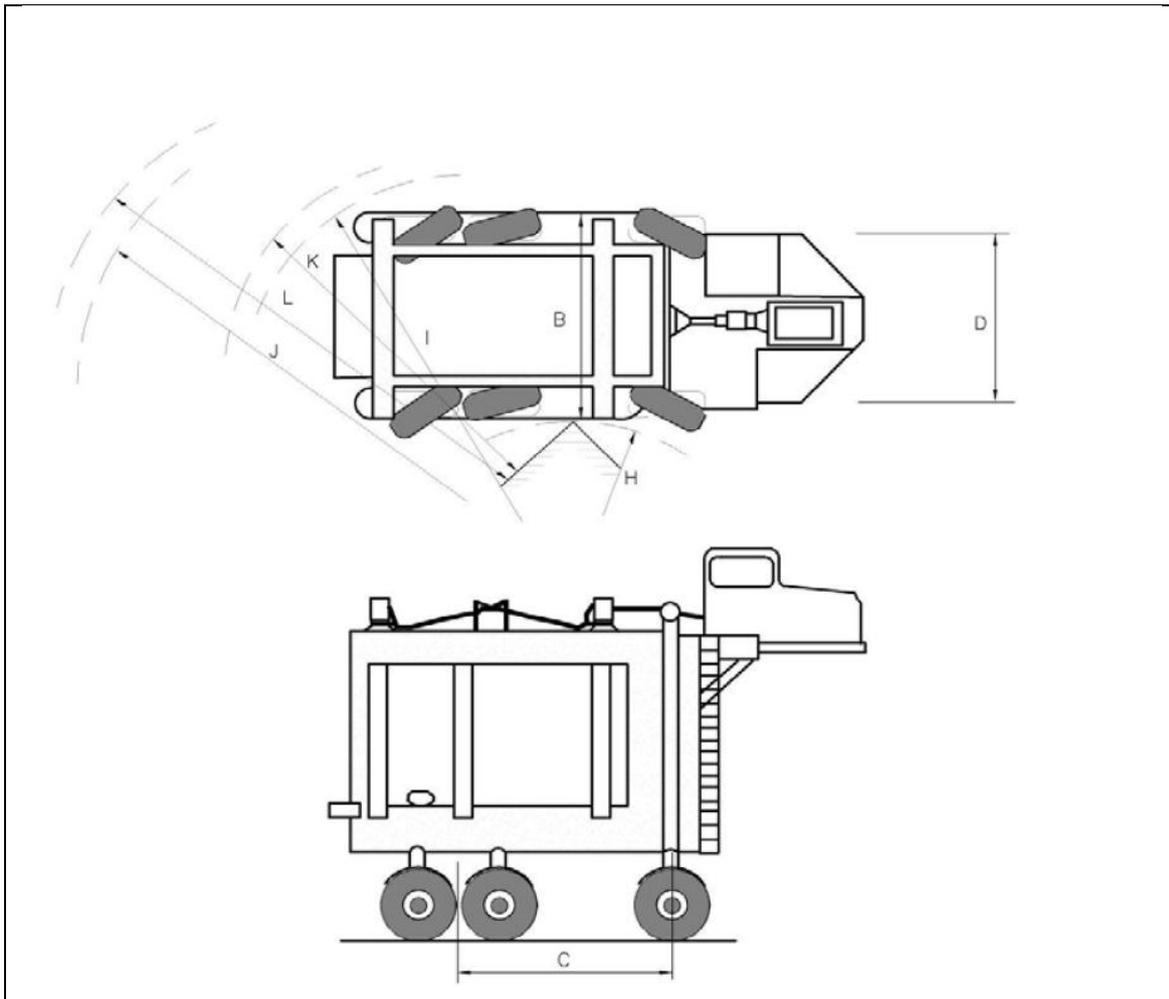
Aplicar um fator de impacto de 15 por cento para as cargas máximas de roda no projeto de lajes, vigas e blocos de coroamento de estacas. O fator de impacto não deve ser aplicada ao projetar estacas e outros elementos de subestrutura, ao projetar estruturas preenchidas de terrapleno ou onde cargas de roda são distribuídas através de pavimentação e de lastro (1,5 pés (0,46 m) ou mais). [3]



Máxima capacidade de carga (t)	Centro de carga (cm)	Peso em serviço (t)	Raio de giração (m)	Distância entre eixos 'WB' (m)	Espaço entre rodas 'CW' (m)	Carga de roda (carregado)	
						Cada roda traseira (kN)	Cada roda dianteira dupla (kN)
4,5	61	6,8	4,0	2,5	1,9	8,9	46,7
5,4	61	7,3	4,0	2,5	1,9	11,1	51,2
6,8	61	8,6	4,0	2,7	1,9	11,1	64,5
7,3	61	8,8	4,0	2,7	1,9	11,1	67,8
9,1	61	9,1	4,3	2,9	1,9	11,1	77,8
10,9	61	11,5	4,5	3	1,9	11,1	98,5
13,6	61	15,4	4,7	3,3	2,0	13,3	129
18,1	91	28,6	4,6	3	2,4	11,1	218

Figura 15.1 – Carga de roda para empilhadeira

FONTE: [3]



Peso Próprio	30,4 t
Peso em serviço	40,4 t
Carga de cada roda	116 kN
Espessura total 'B'	4,1 m
Distância entre eixos 'C'	4,1 m
Distância entre rodas do mesmo eixo 'D'	3,6 m
Raio de giração interno 'H'	3,6 m
Raio de giração externo (contêiner 20 pés) 'I'	8,5 m
Raio de giração externo (contêiner 40 pés) 'J'	10,4 m
Mínima (contêiner 20 pés) 'K'	5,9 m
Mínima (contêiner 40 pés) 'L'	7,7 m

Figura 15.2 – Carga de roda para *straddle carriers*

FONTE: [3]

15.3 Norma Britânica

Veículos portuários sobre pneus podem impor cargas ou intensidades de carga consideravelmente mais elevadas do que tráfego de auto-estrada. Valores de carga equivalente uniformemente distribuída estão apresentados na Tabela 15.1 para vários equipamentos comuns de transporte portuário. Dimensões detalhadas e intensidades de cargas pontuais são dados em 15.3.1 a 15.3.6. [5]

Tabela 15.1 – Carga equivalente uniformemente distribuída para veículos portuários sobre pneus.

Veículo	Capacidade de carga útil (t)	Máxima massa carregado (t)	Carga uniformemente distribuída equivalente (kN/m ²)
Empilhadeira	3	8	12
	5	12	15
	10	25	20
	20	50	25
	25	65	30
<i>Side-loader</i>	20	45	12
	40	90	15
Straddle carrier (para contêineres)	30	50	12
	40	70	15
Straddle carrier (outros)	10	20	10
	20	36	15
	50	92	25
Cavalo mecânico e reboque	20		10
	40		15
	80		20

FONTE: [5]

15.3.1 Carga de empilhadeira

Representa as cargas de empilhadeiras (FLT ou *fork lift truck*, em inglês). A tabela 15.2 dá cargas nominais e dimensões para uma variedade de empilhadeiras, expressas em termos da massa de capacidade de carga útil m_c . Quando mais de uma dimensão estiver indicada, o valor adotado deve ser aquele que provocar o resultado mais grave para o elemento estrutural considerado. A dimensão "espaçamento da roda" é definida aqui como a distância entre os centros das rodas interiores de um eixo.

Pares de rodas devem ser assumidos como sendo espaçados em intervalos de 0,4 m até 0,6 m entre os seus eixos. Deve-se supor que as cargas de roda são uniformemente distribuídas sobre uma área de contato quadrada ou circular e ter pressão de contato efetivo citado na tabela 15.1. A exceção a isso é quando a capacidade é inferior a 5 t, no caso em que pneus sólidos de borracha podem ser utilizados e a área de contato deve ser considerado como um retângulo. O comprimento do retângulo paralelo para ao eixo deve ser de 150 mm. Para empilhadeiras pesadas, pode ser viável para reduzir as intensidades de carga aumentando o número de rodas por eixo de 4 para 6. [3]

15.3.1.1 Carga de empilhadeira frontal

Cargas de roda para pequenas empilhadeiras com carga útil de 5t até 10t normalmente não são maiores do que aqueles para os de tráfego rodoviário. Empilhadeiras maiores, utilizadas para o manuseamento de contêineres podem danificar seriamente uma pavimentação projetada para caminhões, para os quais a carga o máximo de roda individual permitido é de 50 kN.

A Tabela 15.2 dá cargas típicas de rodas para empilhadeiras que são utilizadas para manuseamento de contêineres. [3]

Tabela 15.2 – Carga de pneus de empilhadeiras: operações de manuseio de contêineres

Carga útil	Comprimento de contêiner (pés)	Máxima carga no eixo dianteiro (kN)	No. De rodas no eixo dianteiro	Carga média por roda (kN)
28	20 (parcialmente cheio)	665	4	166
32	20	685	4	171
35	40 (parcialmente cheio)	780	4	195
42	40	900	4	225

FONTE: [5]

15.3.2 Empilhadeiras laterais

Carregamento pontual de roda de empilhadeiras laterais (*side loaders*) utilizados para a movimentação de contêineres e outras mercadorias é coberta por cargas HB (ver item 11.3). No entanto, empilhadeiras laterais também impõe cargas de patolas

estabilizadoras ou cargas de macacos e estas cargas devem ser consideradas. Os valores típicos de reações de macaqueamento de *side loader* são dadas na Tabela 15.3, que podem ser utilizados na ausência de informações mais precisas. Os macacos estão todos localizados/posicionados em uma linha reta no espaçamento citado na Tabela 15.3. [3]

Tabela 15.3 – Carga de macaqueamento de empilhadeira lateral

Capacidade de carga útil (t)	Massa descarregada (t)	Número de macacos	Espaçamento de macacos (m)	Carga de macaco (kN)	Pressão de contato (kN/m ²)
23	30	2	2,5	250	1.300
27	40	4	2,5	160	400
40	50	4	2,5	230	500

FONTE: [5]

15.3.3 *Straddle carriers* (STD)

Carregamento tipo HB veicular (ver tópico 11.3) abrange carregamento pontual de rodas de *straddle carriers* utilizados na manipulação de contêineres e outras cargas.

15.3.4 Carregamento RT

Representa reboques com rodas de aro duro e equipamento de tração (trator) associado. As dimensões em planta são mostrados na Figura 15.3 e as cargas são mostrados na Tabela 15.4 para várias capacidade de reboques com valores de massa até 80 t. Cargas de roda do cavalo mecânico deve ser assumido como sendo uniformemente distribuída por uma área circular ou quadrada com uma pressão efectiva de 700 kN/m². Cargas de roda do reboques deve ser assumido como sendo uniformemente distribuído sobre uma área retangular, sendo o lado mais comprido, paralelo ao eixo, sendo 300 mm para reboques até a 20 t de capacidade e 400 mm para reboques de 40 t e 80 t de capacidade. [3]

Tabela 15.4 – Carga de reboque: cargas de eixo e pressões efetiva de roda

Capacidade de reboque (t)	Cavalo mecânico		Reboque		
	Carga de linha de eixo		Número de linhas de eixo	Máxima carga de linha de eixo (kN)	Pressão efetiva de roda(kN/m ²)
	Frente (kN)	Traseira (kN)			

20	40	140	1	150	2.500
40	40	280	2	150	2.500
80	40	280	2	290	2.500

FONTE: [5]

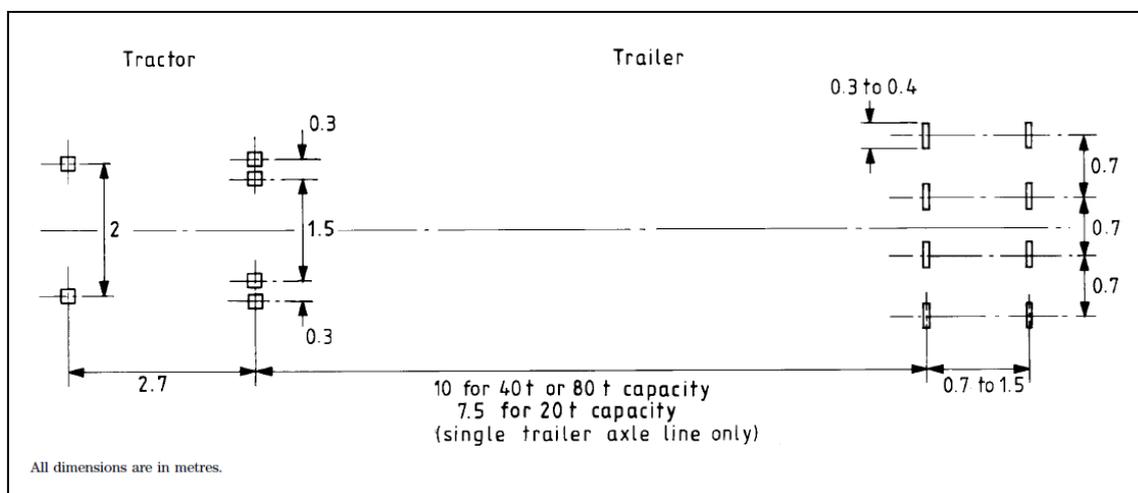


Figura 15.3 – Dimensões de um veículo de reboque

FONTE: [5]

15.3.5 Transtêineres ou RTG (*Rubber-tyred gantry cranes*)

Devido à grande variedade disponível, é recomendável que sejam obtidos detalhes de equipamento específico quando é proposta a utilização de tais guias. Guindastes de pórtico sobre pneus de grande porte para a movimentação de contêineres podem impor cargas de até 450 kN por roda, com pressões de contato de 830 kN/m².

15.3.6 Guindastes sobre esteiras

Quando são utilizados guindastes sobre esteiras, a carga aplicada deve ser tomada, na ausência de uma informação mais precisa, a partir do Tabela 15.5 de acordo com o tamanho máximo de guindaste de projeto. A máxima pressão de contato pode ser considerada como uma pressão uniforme sobre uma esteira ou como o máximo de uma distribuição triangular em ambas as esteiras. A área de contato deve ser igual à necessária para suportar o peso do guindaste e sua carga dentro dos limites indicados. Guindastes sobre esteiras podem causar danos se forem utilizado sobre asfalto e, em menor grau, para superfícies de concreto, a menos que mantas de proteção sejam utilizadas. [3]

Tabela 15.5 – Carga devido a guindastes sobre esteiras

Máxima capacidade de içamento (t)	Carga descarregada (t)	Espaçamento entre eixos de trilhos (m)	Comprimento de contato de trilho (m)	Espessura de trilho (m)	Carga de pressão descarregada (kN/m ²)	Máxima pressão de contato (kN/m ²)
6	12	2,1	2,6	0,50	35	120
20	30	3,0	3,8	0,75	45	160
30	45	3,0	4,0	0,75	52	200
40	50	3,0	4,2	0,75	60	250
50	57	3,0	4,5	0,90	78	300

FONTE: [5]

15.3.7 Esteiras e condutos

Cargas de esteiras e condutos devem ser calculadas para cada instalação, tendo em conta quantidade de fluxo, densidades de materiais, mudanças de direção, efeitos da temperatura e tipo de estrutura onde está apoiada.

15.3.8 Ciclos de carregamento repetitivo em pavimentos

Ao avaliar o efeito de carregamento de veículos (incluindo aqueles de empilhadeiras e guindastes) em pavimentos e pátios, devem ser considerados os efeitos de concentração, onde corredores estreitos, são utilizados para concentração do tráfego próximo ao cais e ao redor do setor de carregamento/descarregamento ou portões de armazéns. Na falta de informações mais diretas, os potenciais valores de movimentação podem ser tomados como mostrado na Tabela 15.6. [3]

Tabela 15.6 – Típicas quantidades para berços novos

Tipo de berço	Turnos trabalhados por dia	Movimentação (t × 10 ³ /ano)
Berço de contêiner	3	600 até 1.000
Berço Ro-ro	3	200 até 600
Madeira	2	200 até 300
Produtos de madeira	2	200 até 300
Produtos siderúrgicos	2	200
Carga geral	2	100

FONTE: [5]

A conversão de cargas de eixo para números equivalente de eixos padrão (8 050 kg), aplicadas no projeto de pavimentos de rodovias no Reino Unido são limitadas para projeto de pavimento portuário porque:

- a) as cargas por eixo envolvidas podem ser consideravelmente maiores do que a variedade de cargas para as quais a conversão foi estabelecido;
- b) O espaçamento entre as rodas e a pressão de contacto impostas podem diferir significativamente daquelas associados com tráfego da estrada;
- c) outros efeitos, tais como cargas de macaqueamento, impactos de içamento/descarregamento e cargas concentradas de rodas de equipamentos ou cantoneiras de contêineres, também podem ser levadas em conta.

Onde transtêineres sobre pneus são operados, as cargas de roda deve ser verificada para o equipamento específico.

Na ausência de informações específicas, para operações de *straddle-carrires* carregados podem ser considerados equivalente a:

- a) 6 rodas, cada impondo 130 kN, dispostos em duas linhas paralelas; ou
- b) 8 rodas, cada impondo 100 kN, dispostos em duas linhas paralelas.

Para *straddle-carrires* especiais, informações sobre cargas de roda devem ser obtidas para o equipamento particular.

Detalhes de cargas características e pressões de contacto para empilhadeiras, *side loader* e cargas de patola ou macacos de guias móveis são dadas em 15.3, a partir de quais as cargas ou tensões a ser consideradas podem ser derivadas. O efeito prejudicial de uma passagem de um veículo transmitindo, por exemplo, uma carga por eixode 10 t é normalmente maior do que a de duas passagens do mesmo veículo transmitindo uma carga de 5t por eixo. Como uma estimativa conservadora, os ciclos podem ser considerados na mesma ordem de grandeza da carga mais pesada.

Alternativamente, um espectro mais preciso pode ser usado se informações suficientes sobre os padrões de tráfego estiver disponível. [5]

SEÇÃO IV – AÇÕES AMBIENTAIS

16. Geral

16.1 Norma Brasileira

Entende-se como ações ambientais sobre as estruturas portuárias, marítimas e fluviais, aquelas decorrentes das ações das correntes, das marés, das ondas e dos ventos.

Os dados de campo devem ser medidos conforme as instruções de DHN (Ministério da Marinha), para estruturas marítimas, e conforme as normas do DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica do Ministério de Minas e Energia, para estruturas fluviais. [2]

16.2 Norma Americana

Este capítulo aborda as considerações de projeto relacionados aos efeitos físicos em estruturas causados por vários tipos de movimento da água, tais como marés, correntes e ação das ondas, ao longo da linha de costa aberta e aqueles que ocorrem nos organismos restritos de água. Este assunto é abordado minuciosamente pelo Coastal Engineering Manual (CEM) e, é descrito abaixo por assuntos de interesse nos projetos de instalações costeiras da Marinha Estadunidense. São feitas referências à seção apropriada do CEM e outras aplicáveis. O desenvolvimento de critérios de projeto locais é essencial em muitos casos devido à variação das condições meteorológicas e geológicas em diferentes locais geográficos. Estes critérios são baseados em informações do ambiente brutos ou *hindcast* e previsão de dados com modelos analíticos. Uma preocupação primordial na concepção de instalações costeiras é o fenômeno muito complexo da ação das ondas na superfície do mar, e como isso afeta estruturas. [6]

16.3 Norma Britânica

A maioria dos carregamentos em ambientes marinhos são dinâmicos. A reação de estruturas flexíveis para tais cargas diferem daquelas em uma análise estática, que assume que os deslocamentos são iguais à carga majorada por um coeficiente de impacto dividido pela rigidez estática da estrutura. Em particular, quando a frequência, f_c , de uma carga cíclica se aproxima a frequência natural f_n , da estrutura, a reação de deslocamento da estrutura é maior que o previsto em uma análise estática.

Frequências típicas de cargas cíclicas em ambientes marinhos são apresentadas na Tabela 16.1 como um guia preliminar.[5]

Tabela 16.1 – Típicas frequências de ações ambientais

Ação ambiental	Frequência típica (Hz)	Período (s)
Turbulência de vento	0,05 até 20	20 até 0,05
Velocidades inconstantes em fluxos de corrente	1,0 até 0,1	1,0 até 0,1
Desprendimento de vórtices em correntes	0,5 até 3,0	2 até 0,3
Ações de onda em grupo de ondas regulares	0,05 até 1,0	20 até 1,0
Seiches e ondas longas	0,001 até 0,05	1.000 até 20

FONTE: [5]

Efeitos dinâmicos não são usualmente significativos quando f_c é menor que $f_n/3$ ou maior que $2f_n$, sendo f_n considerado para a estrutura inteira, ou separadamente para cada elemento estrutural. Em todos os casos, devem ser feito os cálculos preliminares e f_n deve ser comparado com as frequências das cargas esperadas. Estas comparações devem ser feitas para todas as condições e fases, durante a construção da obra, e da estrutura pronta.

Elementos estruturais sujeitos a cargas flutuantes podem sofrer falha em função de fadiga. Para estruturas marítimas, os problemas devido à fadiga são recorrentes em elementos de aço sujeitos a ação de ondas. [5]

17. Correntes

A norma brasileira é sucinta. A norma estadunidense comenta que a velocidade de corrente deve ser mínima, cita um valor para velocidade máxima de corrente (2 m/s), com exceção para circunstâncias especiais. É indagado a influência da largura do canal de entrada, e apresentado um método de estimativa de velocidade de corrente. A norma britânica estipula que o valor de corrente de projeto deve ter um período de retorno mínimo de 50 anos. Explica e apresenta métodos de cálculo para os tipos de cargas impostas por correntes em elementos estruturais prismáticos. A análise de oscilações induzidas pelo fluxo de água relaciona a frequência natural da estrutura com a frequência das forças flutuantes (variáveis). As normas britânica é a que agrega mais a um projeto, com a americana sendo complementar.

17.1 Norma Brasileira

O valor da velocidade da corrente a ser adotado é aquele obtido em medições no local da implantação da estrutura portuária. Em estruturas portuárias fluviais o valor mínimo a adotar para a velocidade do fluxo das águas é de 1 m/s. [2]

17.2 Norma Americana

As cargas de corrente são aplicadas próximas do nível da água e podem ser significativas quando utilizadas estacas grandes em águas com forte corrente. [3]

Um fator desejado para localizar um porto é que a velocidade de corrente seja mínima e, com exceção de áreas pontuais e/ ou com considerações especiais, não deve exceder 4 nós (2 m/s).

A influência da largura do canal de entrada de um corpo d'água sobre a magnitude da corrente influencia a escolha do local do porto. Larguras de canal de entrada devem ser adequadas para reduzir as correntes para valores aceitáveis. A corrente máxima admissível em um canal de entrada é uma função do tipo de navio ou navios a serem acomodados. Apenas em circunstâncias especiais a velocidade de corrente pode ser superior a 4 nós (2 m/s). [6]

17.2.1 Entrada não-constrita

Se a entrada é não-constrita, como é mostrado na Figura 17.1 e as condições a seguir forem satisfeitas:

- a bacia é relativamente curta e profunda; ou seja

$$\frac{l_b}{(\sqrt{g d}) (T)} \leq 0,05$$

Sendo: l_b = comprimento de bacia (pés)

d = profundidade média (pés)

- a lâmina d'água da bacia é relativamente constante

- fluxo de entrada de água doce é mínimo

- maré oceânica é aproximadamente senoidal, então uma boa aproximação para a velocidade de corrente é:

$$\bar{V}_m = \frac{2 \pi a_s A_b}{A_c T}$$

Sendo: V_m = velocidade média na seção em fluxo máximo de maré (pés/segundo)

T = período de maré (segundos)

A_b = Área de superfície de baía (pés²)

A_c = área de seção transversal de canal de entrada em nível de maré média (pés²)

a_s = 1/2 variação de maré oceânica (pés)

A circunstância de que a entrada não é constrita, em conjunto com a condição na Equação 17.1, implica que a superfície da água na baía flutua de maneira uniforme e igual a maré oceânica. [6]

17.2.2 Entrada constrita

Se a entrada é constrita, como mostrado na Figura 17.2, há redução da variação de maré na baía, de modo que a expressão acima superestima as correntes de maré. Se as condições descritas no tópico 17.2.1 estiverem satisfeitos, a corrente máxima na entrada pode ser determinada a partir desta equação:

$$\bar{V}_m = \frac{2 \pi a_s A_b e}{A_c T}$$

Sendo: V_m = velocidade média na seção em fluxo máximo de maré (pés/segundo)

T = período de maré (segundos)

A_b = Área de superfície de baía (pés²)

A_c = área de seção transversal de canal de entrada em nível de maré média (pés²)

$a_s = 1/2$ variação de maré oceânica (pés)

e = fator adimensional em função dos coeficientes K_1 e K_2 . Ver Figura 17.3. Os coeficientes K_1 e K_2 são definidos como segue:

$$K_1 = \frac{a_s A_b F_c}{2 l_b A_c} \qquad K_2 = \frac{2 \pi}{T} \sqrt{\frac{l_c A_b}{g A_c}}$$

Sendo: l_c = comprimento de canal (pés)

$$F_c = k_{en} + k_{ex} + \left(\frac{f l_c}{4 R}\right)$$

k_{en} = coeficiente de perda na entrada ($\approx 0,1$)

k_{ex} = coeficiente de perda na saída ($\approx 1,0$)

f = fator de atrito Darcy-Weisbach ($\approx 0,03$)

R = raio hidráulico do canal de entrada (pés)

K_1 representa a relação entre a magnitude das forças de atrito e das forças de inércia. K_2 é uma medida da magnitude das forças de inércia em relação ao gradiente da pressão (nível de água). Uma vez que a entrada é constrita, a amplitude de maré na baía diferirá da amplitude de maré no oceano. A amplitude de maré na baía pode ser determinado a partir da seguinte relação:

$$\frac{a_b}{a_s} = \varepsilon$$

Sendo: ε = fator adimensional em função dos coeficientes K_1 e K_2 . Ver Figura 17.4

$a_b = 1/2$ variação de maré da baía [pés]

Note-se que para pequenos valores de K_1 , que indica a grandes forças de inércia, o valor de ε é maior do que um.

Para os canais de entrada irregulares, um comprimento eficaz de canal, l'_c , pode ser usado em lugar de l_c .

$$l'_c = \sum_i^n \left(\frac{\bar{R}}{R_n}\right) \left(\frac{\bar{A}_c}{A_n}\right)^2 \Delta X_n$$

Sendo: R = raio hidráulico médio de canal (pés)

A_c = seção transversal média de canal em nível de maré média (pés²)

R_n = raio hidráulico em cada uma de n seções de mesmo comprimento, ΔX_n (pés)

A_n = seção transversal de canal em cada uma das n seções de comprimento, ΔX_n (pés²)

Esta análise fornece uma estimativa de fluxo hidráulico na entrada de canais aplicáveis para situações de projeto. No entanto, se as condições do parágrafo intitulado "entrada não-constrita" não forem satisfeitas, ou se as velocidades de corrente são críticas para o projeto do canal, uma análise mais detalhada para incluir simulação matemática ou modelagem física será necessário. [6]

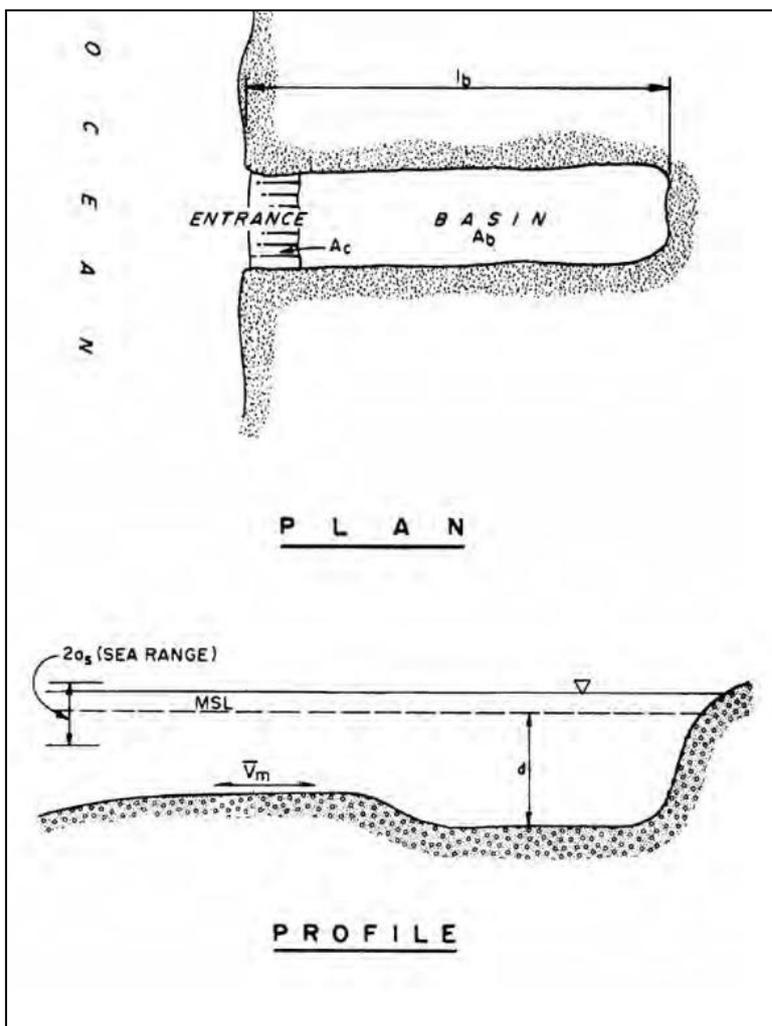


Figura 17.1 – Bacia com entrada não-constrita

FONTE: [7]

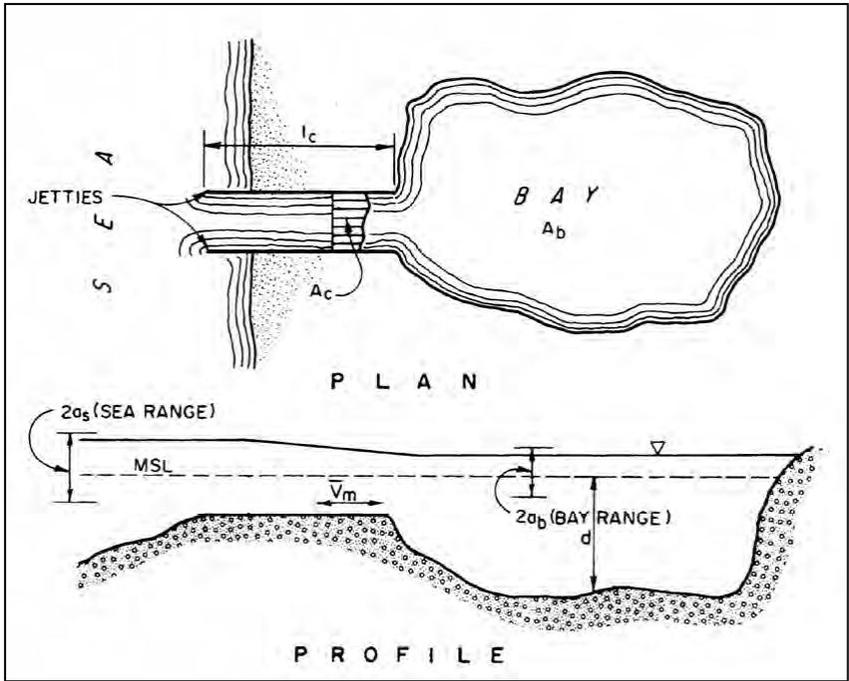


Figura 17.2 – Bacia com entrada constricta

FONTE: [7]

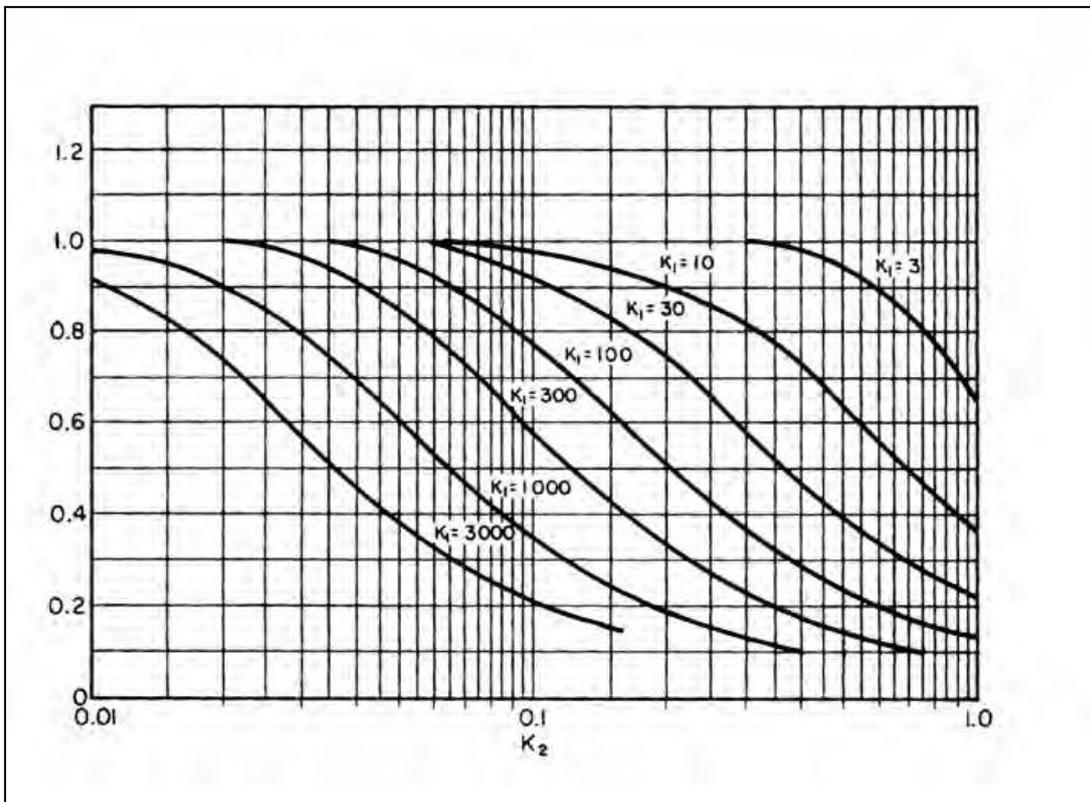


Figura 17.3 – Máxima velocidade adimensional versus K_1 e K_2 FONTE: [7]

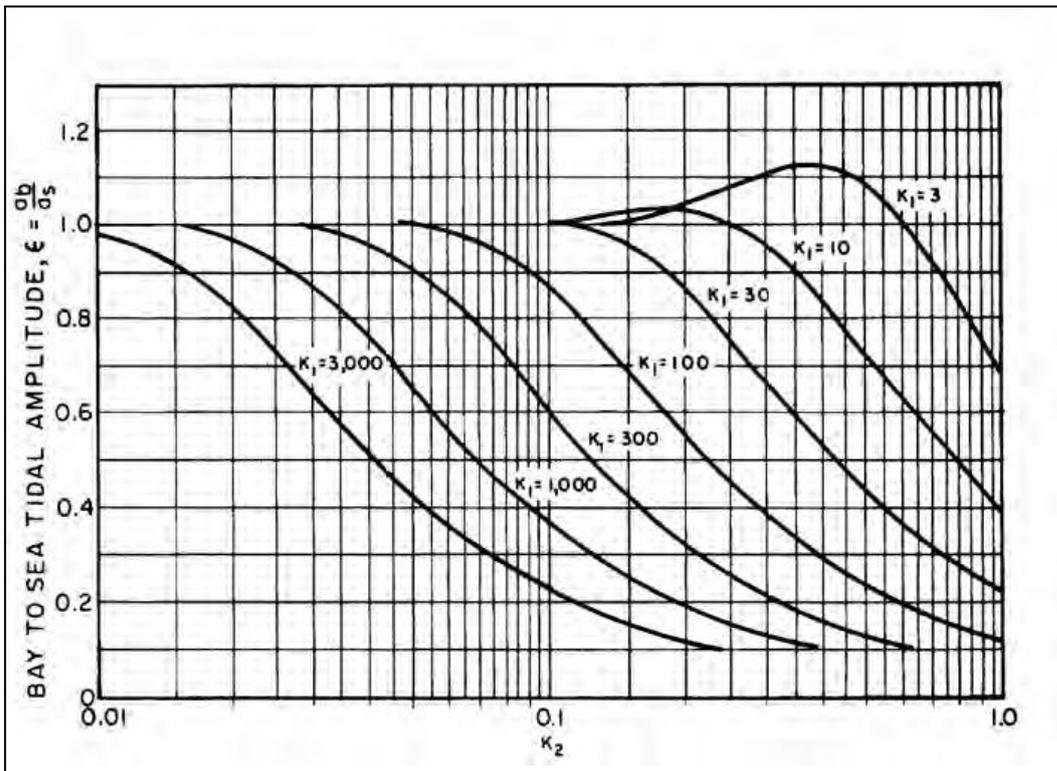


Figura 17.4 – Razão entre amplitude de maré de baía e oceânica versus K_1 e K_2

FONTE: [7]

17.3 Norma Britânica

Em um projeto, a velocidade de corrente deve ser o valor máximo esperado no local durante a vida útil de projeto da estrutura. Deve ser determinado considerando principalmente a função da estrutura e o risco aceitável de ocorrência, e com um período de retorno de no mínimo 50 anos, para obras permanentes.

Cargas impostas diretamente por correntes de maré ou fluviais em estruturas marítimas podem ser classificados como:

- a) de corrente alinhada com a estrutura; ou
- b) as forças de corrente inclinada ao eixo longitudinal da estrutura;

Forças de corrente alinhada com a estrutura são essencialmente estáticas e a componente oscilatória só é significativa quando a sua frequência se aproxima da frequência natural da estrutura. Forças de corrente inclinada ao eixo longitudinal da estrutura são inteiramente oscilatórias para corpos dispostos simetricamente em relação ao fluxo. Para fluxo assimétrico, a força de corrente inclinada ao eixo longitudinal da estrutura deve ser determinada a partir de ensaios de modelo ou através de estudo de situações semelhante. [5]

17.3.1 Carga de arraste estática

Para os elementos estruturais prismáticos uniformes, imersos numa corrente uniforme, a força de arraste estática, que atua no centro de gravidade da seção normal ao fluxo, pode ser calculada a partir da expressão:

$$F_D = \frac{1}{2} (C_D \rho V^2 A_n) \quad (17.9)$$

Sendo: F_D = força de arraste estática em kilonewtons (kN)

C_D = coeficiente de força de arraste médio no tempo, adimensional

ρ = densidade da água em toneladas por metro cúbico (t/m^3)

V = velocidade da corrente incidente em metros por segundo (m/s)

A_n = área normal ao fluxo em metros quadrados (m^2)

Os valores utilizados para o C_D e A_n na expressão apresentada devem considerar o efeito de crescimento de organismos marinhos na estrutura, o que provoca aumento das dimensões da seção transversal. Os valores de C_D são discutidos para várias formas de secção transversal.

Quando a velocidade da corrente incidente é não uniforme ou o elemento estrutural é suavemente cônico, a linha de ação da força total pode ser determinada por integração. Caso seja uma estrutura flutuante ou com formato não-uniforme, pode ser necessário a utilização de modelos.

Onde ondas atuam em combinação com a corrente para aumentar a força de arraste sobre a estrutura, a velocidade da partícula de água deve ser adicionado vetorialmente e o resultado utilizado para calcular a força de arraste da através da fórmula dada anteriormente. Forças de inércia também podem precisar ser consideradas em tais situações.

Valores dos coeficientes de força de arraste de corrente para estacas de seção circular, tubos e cilindros são dependentes do número de Reynolds e rugosidade da superfície. Os valores sugeridos para utilização na expressão dada anteriormente são apresentados na Figura 17.5 para cilindros com diferentes graus de rugosidade de superfície, devido ao acabamento de superfície ou crescimento de organismos marinhos. [5]

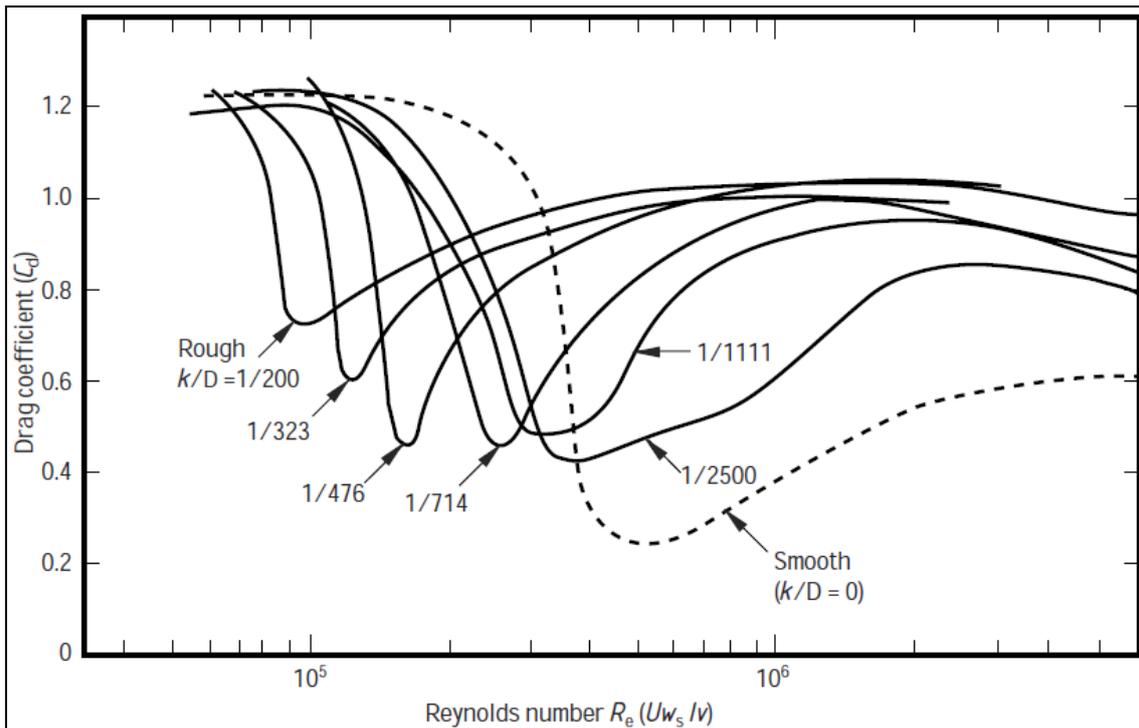


Figura 17.5 – Valores de coeficiente de arraste para cilindros circulares FONTE: [5]

Valores dos coeficientes de força de arraste de corrente para secções não circulares são geralmente independentes do número de Reynolds, mas dependem do ângulo de incidência. Os valores são apresentados na Tabela 17.1 para várias estacas com seção não circulares. Para outras geometrias, os valores de C_D devem ser obtidos a partir de testes hidráulicos. [5]

Tabela 17.1 – Valores de coeficientes de força de arraste de corrente

Movimento	Apoiado e fixado ao fundo	Cantilever	Apoiado no topo e no fundo	Fixado no topo e no fundo
Início de movimento em linha	1	0,23	0,64	1,46
Máximo movimento em linha	1,67	0,38	1,07	2,43
Início de movimento angulado	2,92	0,67	1,87	4,25
Máximo movimento angulado	4,58	1,05	2,94	6,68

FONTE: [5]

17.3.2 Oscilações induzidas por fluxo de água

17.3.2.1 Seções Circulares

Um cilindro em uma costa íngreme, tal como uma estaca situada numa correnteza, está sujeita a forças flutuantes, tanto em linha com a estrutura, e em ângulo com o eixo longitudinal da estrutura, devido ao desprendimento de vórtices a jusante do cilindro. As frequências das forças flutuantes estão diretamente relacionados com a frequência do desprendimento de vórtices. Quando o cilindro tem liberdade para oscilar, a amplitude da força flutuante aumenta à medida que a sua frequência se aproxima da frequência natural do cilindro ou da estrutura inteira. Isto é feito por um sistema de feedback conhecido como “*locking on*” (encaixar). Se, no entanto, o amortecimento inerente do cilindro é suficiente para suprimir o desenvolvimento de movimento, então o “*locking on*” não ocorrerá.

Estruturas estaqueadas são particularmente vulneráveis a este tipo de oscilação durante a construção e pode ser necessário fornecer contenção ao topo de estacas imediatamente depois da cravação para evitar a possibilidade de oscilação. A velocidade de fluxo crítica V_{crit} é dada pela expressão:

$$V_{crit} = K f_N W_s$$

Onde: f_N = frequência natural do cilindro

W_s = diâmetro do cilindro

K = constante igual à:

1,2 para início de movimento em linha

2,0 para a máxima amplitude de movimento in-line

3,5 para início de movimento em ângulo com eixo longitudinal da estrutura

5,5 para a máxima amplitude de movimento em ângulo com eixo longitudinal da estrutura

Na expressão anterior, os valores para f_N e W_s deve ser tomado levando-se em conta o efeito de crescimento marinho. Uma vez que o estado crítico para oscilação induzido por fluxo geralmente ocorre durante a construção, é provável que seja negligenciável.

O tipo mais comum de estrutura tem paramentos verticais de estacas-prancha de aço com paredes fixas na parte inferior e fixadas na parte superior, inundada e totalmente imersas em água com crescimento marinho insignificante. Velocidades críticas de fluxo para o início de movimento em linha que ocorre em uma estrutura são apresentados na Figura 17.6. As curvas são conservadoras no sentido em que eles assumem que a superfície da água está no topo da estaca. Para estacas semelhantes, mas que têm diferentes fixações e/ou diferente condições de movimento, as velocidades críticas podem ser obtidas aplicando os fatores de modificação dadas na Tabela 17.2 aos valores obtidos a partir da Figura 17.6. [5]

Tabela 17.2 – Fatores de modificação para velocidade de fluxo crítica

Cross-section type	Attitude to flow or wave direction	Drag coefficient C_D	Inertia coefficient C_I
Circle	Any	See Figure 19	2.0
Square		2.0	2.5
		1.6	2.2
Square with rounded corners		0.6	2.5
		0.5	2.5
Hexagon		a	a
		a	a
Octagon	Any	1.4	*
Dodecagon	Any	1.1	*
Rendhex pile		1.3	a
		0.8	a

^a The value for the appropriate square shape should be used unless more reliable values can be obtained.

FONTE: [5]

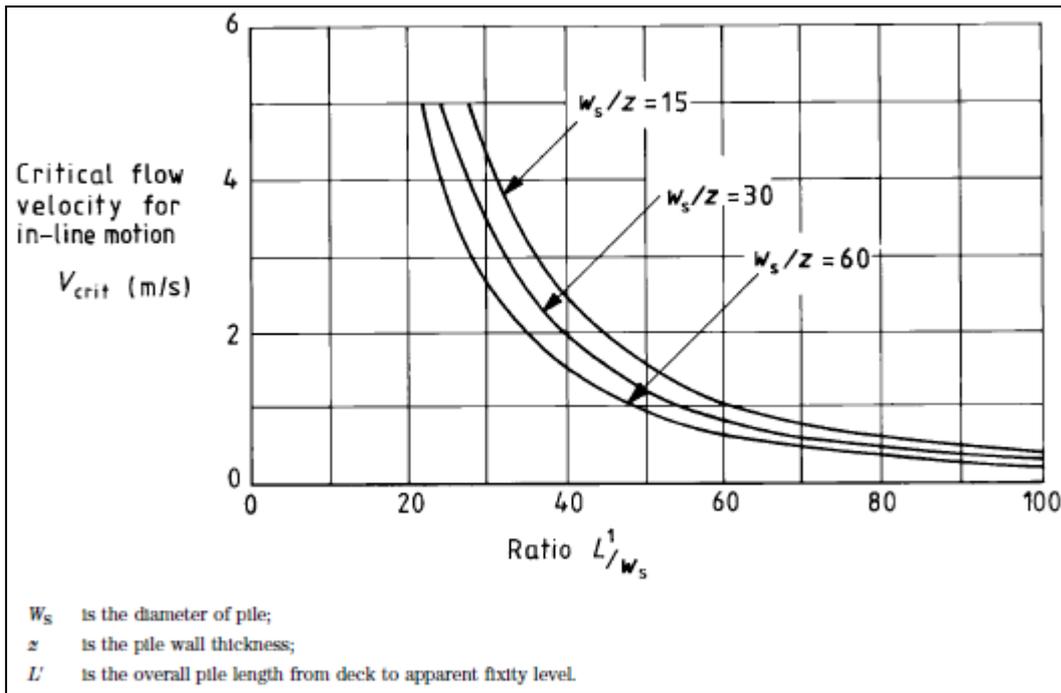


Figura 17.6 – Fatores de modificação para velocidade de fluxo crítica FONTE: [5]

O Cálculo de forças e deslocamentos não é crítico. Isto é porque o desprendimento de vórtices é um fenômeno de ressonância, em que o deslocamento aumenta gradualmente, sem aumento da carga. Ela só pode ser tratada por prevenção. Spoilers hidrodinâmicos podem evitar excitação, mas tais dispositivos geralmente aumentam a força de arraste sobre estacas. Em obras permanentes, portantos, as propriedades da estrutura e seus elementos devem ser preferencialmente selecionados levando em conta:

- uma velocidade de escoamento crítico maior do que a velocidade da corrente de projeto; ou
- massa e amortecimento suficientes para prevenir movimento significativo.

O primeiro critério é satisfeito se a velocidade de corrente for menor que $1,2 f_N W_s$. O segundo critério é satisfeito se o coeficiente de amortecimento de massa for superior a 2,0 no caso de movimento em linha maior do que 25, no caso de movimento em ângulo com o eixo longitudinal da estrutura, onde o coeficiente de amortecimento de massa é calculado a partir da expressão:

$$\frac{2\bar{m} \Delta}{\rho W_s^2}$$

Sendo: Δ = perda logarítima de amortecimento estrutural, que pode ter valor 0,07 para a maioria de estruturas marítimas

ρ = densidade da água

W_s = diâmetro do cilindro;

\bar{m} = massa efetiva equivalente excitada por unidade de comprimento, dado por:

$$\bar{m} = \frac{\int_0^{L'} m_L (y(x))^2 dx}{\int_0^{l'} (y(x))^2 dx}$$

Sendo: m_L = massa por unidade de comprimento do cilindro incluindo água contida e massa adicional hidrodinâmica;

$y(x)$ = forma de modo de curvatura, como função de ordenada, x , medida a partir da cota de aparente fixidade;

L' = comprimento total do cilindro medido da cota de aparente fixidade até o nível da plataforma do cais;

l' = comprimento da cota de aparente fixidade até o nível d'água. [5]

17.3.2.2 Seções não-circulares

Secções transversais não circulares são sujeitas a oscilação induzida por escoamento, mas a uma velocidade de escoamento crítica mais elevada e, uma vez iniciada, oscilações com maior amplitude. Tais secções devem ser verificados em relação aos limites citados para seção circular, utilizando a máxima dimensão normal na direção do movimento no lugar do diâmetro nas fórmulas. Se a velocidade do escoamento real estiver próximo do escoamento crítico calculado, o projetista deve se referir a textos especializados para obter informações mais detalhadas. Pode ser necessário testes de modelagem para determinar o comportamento de formas particulares. [5]

18. Marés e níveis d'água

18.1 Norma Brasileira

Para estruturas portuárias marítimas o valor da altura da maré a ser adotado é aquele obtido em medições no local de implantação da estrutura portuária.

Em estruturas portuárias fluviais o nível adotado corresponde à altura que não seja ultrapassada em 95% do tempo de recorrência, considerado igual a expectativa da vida útil da obra. Para estruturas de proteção esta porcentagem pode ser reduzida a 80%. [2]

18.2 Norma Americana

Considera pressões devido a diferentes nível d'água, resultante de variações de maré e/ou acúmulo de água subterrânea, no projeto de paramento externo, estruturas celulares e cortinas de estaca-prancha, e nas investigações de estabilidade para os aterros e preenchimentos. [3]

Ao escolher um local para um porto, a variação de maré entre os níveis extremos de água devido aos efeitos cumulativos das marés astronômicas e meteorológica, bem como os fluxos de inundação em portos afetados por rios devem ser mínimos na medida do possível. [6]

18.3 Norma Britânica

Estruturas marítimas devem ser projetadas para suportar com segurança os efeitos da amplitude de maré. A variação entre extremos de preamar e baixa-mar devem ser previstos durante à vida útil da obra e estrutura. Esses extremos devem ser estabelecidos em relação ao objetivo da estrutura e uma probabilidade de ocorrência aceitável, mas para obras permanentes, deve ter um período de retorno de no mínimo de 50 anos.

Os níveis de água extremos podem ser causados por combinação de marés astronômicas, marés meteorológicas (popularmente conhecida como *ressaca*), seiches, e fluxo de água doce. É necessário o seu conhecimento para a avaliação de:

- a) galgamento;
- b) pressões hidrostáticas, incluindo efeitos de empuxo;
- c) empuxo do solo sobre paramento vertical do cais;
- d) linhas de ação de forças de amarração e atracação, forças de ondas e forças provenientes de outros objetos flutuantes.

Ao considerar os efeitos da flutuação em uma estrutura, é preferível representar o empuxo hidrostático e cargas gravitacionais como sistemas separados. [5]

19. Ondas

19.1 Norma Brasileira

Devem ser obtidas dados de campo, em medições realizadas no local de implantação da estrutura portuária. Com os dados de campo, são fixados direção, período, altura significativa e altura máxima da onda que exerce as maiores ações sobre as estruturas em estudo, denominada onda de projeto.

O período de recorrência da onda de projeto não pode ser menor que o da expectativa da vida útil da obra, sendo no mínimo de 50 anos.

O período de recorrência da onda de projeto pode ser reduzido para até três anos, em função do tempo de atuação das ondas, nos seguintes casos:

- a) Estruturas permanentes, abrigadas, sujeitas à exposição de ondas durante a fase de construção em caráter provisório, sendo este valor limitado a um mínimo de 1/15 da expectativa da vida útil da obra;
- b) Estruturas provisórias.

A altura da onda de projeto a ser adotada no cálculo de estruturas portuárias, de abrigo ou de acostagem, situadas fora da zona de arrebentação, não afetadas quanto à sua segurança por eventual galgamento deve ser:

- a) H_1 , que é a média aritmética das alturas do centésimo superior das maiores ondas, para estruturas rígidas (muros e paredes);
- b) Entre H_1 e H_{10} , em que H_{10} é a média aritmética das alturas do décimo superior das maiores ondas, para estruturas semi-rígidas (estruturas sobre estacas);
- c) H_s , que é a média aritmética das alturas do terço superior das ondas, chamada de altura significativa, para estruturas flexíveis de blocos naturais ou artificiais.

Estruturas portuárias que sejam prejudicadas pelo citado galgamento e requeiram riscos mínimos devem ser projetadas, por segurança, com altura de onda superior à H_1 .

Devem ser analisadas as ações decorrentes dos fenômenos de empinamento, refração, difração reflexão e arrebentação da onda de projeto.

O projeto definitivo de obras expostas à ação de ondas, deve ser sempre que possível confirmado por testes em modelo reduzido, com ondas irregulares e/ou regulares, realizados em laboratório idôneo. [2]

19.2 Norma Americana

Para píeres e cais expostos a ondas que podem produzir significativos ou forças laterais ou hidrostáticas.

19.2.1 Seleção de onda de projeto

A seleção de ondas projeto deve estar relacionado com a economia na construção, manutenção e reparos. A seleção das condições de projeto de estruturas maiores requer uma análise mais detalhada da economia do projeto. A análise das ondas produz o intervalo de recorrência de uma determinada altura da onda. A economia do aumento do custo inicial contra a necessidade de fazer reparos ocasionais deve ser avaliado. Além disso, o custo e extensão dos danos potenciais em áreas onde a estrutura é projetada, também deve ser considerada. Fatores físicos e econômicos, como a altura da onda do projeto versus custos anuais, devem ser otimizados. Para pequenos projetos, é apropriado uma onda de projeto de 20 a 25 anos, juntamente com um nível anual de água extremo. Além dos parâmetros gerais do projeto para determinar as relações de custo-benefício, critérios de projeto específicos locais devem ser determinados e aplicados. Por exemplo, Norfolk, VA não utiliza um furacão de 50 anos como dado de projeto, embora possa ser um critério adequado para outros locais. [6]

19.2.2 Meteorologia e clima de ondas

Uma compreensão básica de meteorologia marinha e costeira e da relação entre processos meteorológicos e geração de ondas é importante para concepção e planejamento costeiro.

19.2.3 Estimativa de ondas costeiras

O tamanho e as direções das ondas costeiras que impactam o projeto costeiro são fortemente influenciadas pela geometria subjacente do fundo do mar e correntes. Altura de onda superestimada pode inflar o preço de um projeto, enquanto que a altura subestimada pode resultar em perda catastrófica. [6]

19.2.4 Hidrodinâmica da zona de surfe

Ondas em arrebatamento e a dissipação da energia resultante, induzem correntes próximas a costa e outros processos hidrodinâmicos, que fazem da zona de arrebatamento a região mais dinâmica da costa. A arrebatamento de ondas em águas rasas e processos hidrodinâmicos associados afetam o perfil de litoral e praia, que impactam o projeto de estruturas costeiras e o alargamento de praias. [6]

19.2.4.1 Camadas limite de fundo de Costa

A interação acentuada entre a variação lenta da camada limite de corrente e a turbulenta camada-limite de fundo de onda durante tempestades severas tem um papel significativo no transporte de sedimentos. Essa interação, que ocorre principalmente na área fora da zona de arrebatamento, em lâmina d'água que variam entre 6,6-9,8 pés (2 ou 3 m) até 65,6-98,4 pés (20 a 30 m), afeta sedimentos que não costumam estar suspensos sob condições normais de onda. O destino dos sedimentos nesta zona em causa é uma questão complexa para engenheiros costeiros. [6]

19.2.5 Nível d'água e ondas longas

Uma componente importante de projetos de estrutura costeiras é a proteção contra a sobrelevação da superfície d'água. As seções a seguir, classificam os diversos tipos de sobrelevação da superfície geradas por ondas longas e orientação para o desenvolvimento de estudo preliminar e procedimento de projeto aplicável. [6]

19.2.5.1 Marés Astronômicas

Marés astronômicas representam um importante exemplo de ondas longas.

19.2.5.2 Marés Meteorológicas

Sistemas de ventos fortes e baixas pressões barométricas em mares com baixa declividade de fundo, criarão uma elevação do nível do mar ao longo das costas denominada sobrelevação temporária. Áreas especialmente suscetíveis são aquelas onde

grandes tempestades ciclônicas (tais como furacões e tufões) atravessam faixas de mar relativamente raso. A relativa curta duração da sobrelevação do mar irá ocorrer entre a linha de arrebenção de ondas altas e a linha de costa. A sobrelevação é causada pela arrebenção de ondas que prendem uma massa de água ao longo da costa. Este fenômeno pode aumentar os níveis d'água em locais abrigados, com ligação hidráulica à costa, e pode ser significativo em zonas portuárias localizadas atrás de recifes ou grande barras de areia. Seção II- 5-5 do CEM discute o efeito de tempestades tropicais e extra-tropicais na elevação da superfície da água. [6]

19.2.5.3 Seiche

Definida como uma oscilação de onda estacionária de um corpo fechado de água que oscila de forma contínua, como um pêndulo, mesmo após a cessação da força originária. O seiche pode ter origem sísmica ou atmosférica. O Seiche é um fenômeno associado às ondas do mar, tendo períodos superiores aos da ondulação de maré meteorológica normal. Tais ondas, vulgarmente conhecido como "ondas longas", tem períodos que variam de 20 segundos a várias horas. As ondas longas exibem alturas relativamente baixas, da ordem de 0,1 a 0,4 pés (0,03-0,12 metros). Eles são altamente reflexivos, mesmo em praias de declive plano, e passam praticamente desimpedidas através de quebra-mares porosos. Seiche ocorre dentro de uma bacia, porto, ou baía durante certos períodos críticos de onda quando o período de energia incidente de onda longa coincide com o período de ressonância da bacia. O resultado é um sistema de onda estacionária que compreende alturas reforçadas de onda, maiores do que a onda incidente. A superfície da água apresenta uma série de nós e antinós em relação à coluna de água. Antinós são regiões onde o movimento vertical é um máximo e as velocidades horizontais são mínimas. Sempre que o comprimento de onda é suficientemente maior que o comprimento do navio, um navio atracado no antinó irá experimentar suave elevação e queda com o período de onda estacionária. No nó, o navio será sujeito a uma ação periódica de movimento horizontal devido às correntes. Um navio em combinação com as suas amarras se comporta como um sistema mola-massa, que, quando excitado, pode ressoar em determinadas faixas de frequência críticas. Durante ação do seiche, o movimento horizontal de um navio localizado perto de um nó pode interferir com as operações de carga/descarga e, em casos graves, pode fazer com que as amarras se partam. [6]

19.2.5.4 Modelagem numérica de hidrodinâmica de ondas longas

Devido à complexidade da maioria dos sistemas de escoamento natural, análises de engenharia para projetos de engenharia costeira muitas vezes requer uma modelagem numérica dos processos hidrodinâmicos. [6]

19.2.6 Portos

Pelo fato de portos serem por natureza e projeto protegidos dos efeitos de ondas curtas, o ambiente hidrodinâmico é conduzido principalmente por processos de onda longa. Devem ser levados em conta efeitos de ação das ondas, lavagem/circulação e interação navio. [6]

19.3 Norma Britânica

19.3.1 Geral

Historicamente se baseava as técnicas de atracagem em experiência prévia. Por anos se provou sucesso parcialmente pelo fato da maioria das embarcações serem atracadas em portos protegidos ou em regiões calmas em relação à ondas e correntes. Porém, embarcações grandes requerem águas mais profundas para atracar e frequentemente estarão sujeitas a maiores ações de onda. Relativamente poucos portos tem profundidade necessária para embarcações de 60 000 toneladas, e um método para atracar tais embarcações é construir portos *offshore* sem a proteção de quebra-mares. Isto pode significar um sistema para atracação composto de defensas em conjunto com cabos de amarração.

Para tanto, é necessário uma descrição dos movimentos de uma embarcação atracada em ambientes com ondas. Isto pode ser obtido com vários graus de acurácia e confiança através da utilização de modelos físicos, analíticos ou matemáticos. No presente momento, o método mais confiável para saber a reação sob efeitos de ondas é construindo e testando modelos físicos. [5]

A figura 19.1 Ilustra os seis graus de liberdade de movimento de uma embarcação.

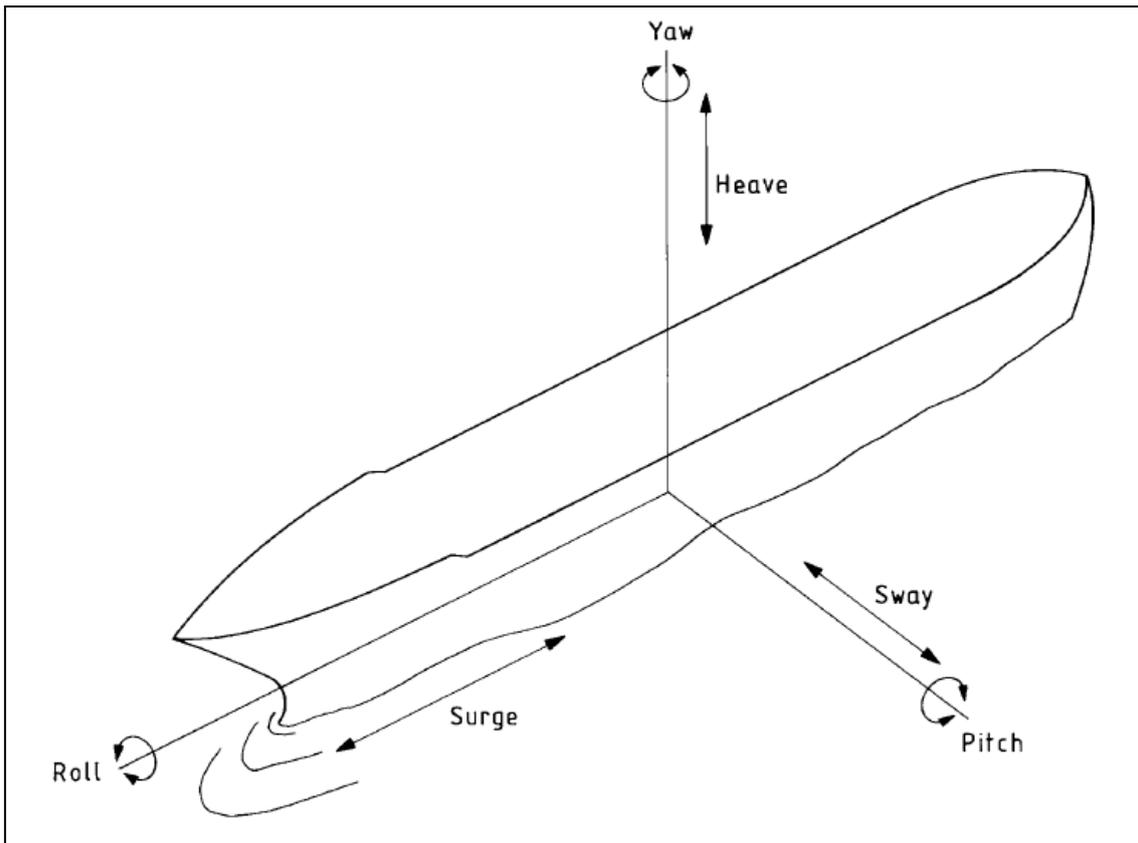


Figura 19.1 – Graus de liberdade de uma embarcação FONTE: [5]

19.3.2 Carregamento de espectral de onda

Em muitas situações no ambiente marítimo, a mais importante fonte de carga dinâmica provêm de ondas, ora diretamente, ora através de cargas de atracação de navios. Enquanto a resposta dinâmica pode ser útil, a real reação da estrutura ou embarcação atracada pode variar significativamente daquela determinada por testes de modelos aplicando apenas cargas de ondas monocromáticas. Na realidade, deve ser considerado a natureza de cargas de ondas aleatórias utilizando o espectro de onda .

Métodos matemáticos foram desenvolvidos como resposta para a análise de reação de estruturas complexas sob efeito de cargas de espectro de onda, sendo aplicáveis para o cálculo de fadiga ou cargas últimas em molhes, quebra-mares flutuantes, particularmente em locais mais expostos. Em locais menos expostos, métodos menos complexos são aplicáveis. [5]

19.3.3 Critérios de projeto

As principais ações de onda em estruturas marítimas são provenientes de ondas com períodos de até 20 s. Parâmetros de onda de projeto são discutidos a seguir no tópico 19.3.3.1 e métodos de cálculo das forças de onda são descritos em 19.3.3.3. Sempre que as tensões máximas devido à ação de ondas constituir mais de 40% do máximo de tensões totais combinados, a resistência à fadiga deve ser verificada como descrito em 19.3.3.2

19.3.3.1 Análise de Fadiga

Para a análise de fadiga, deve-se avaliar o número de ondas prováveis que atingirão a estrutura durante sua vida útil, classificadas dentro de faixas de altura e período de onda. Tipicamente, são oito faixas de altura de onda para cada uma das quatro faixas de período. A máxima flutuação de tensão produzida por ação de onda, para cada combinação de altura/período, deve ser determinado, incluindo-se efeitos de ressonância, quando aplicáveis. A partir desses cálculos, podem ser feitas avaliações usando curvas de *tensão x número de ciclos para falha*, ou seja, o número de ondas necessária para causar falha. O fator de segurança contra falhas de fadiga durante a vida útil pode ser então determinada usando a equação Palmgren-Miner. [5]

Fator de Segurança =

$$\sum_{i=1}^{n_T} \left(\frac{n_i}{N_i} \right)$$

Sendo:

n_i = número de ondas ocorrendo durante a vida útil de projeto no intervalo de tensões i ;

N_i = número de ondas que dentro do intervalo i de tensões necessária para provocar ruptura.

n_T = número de intervalos de tensões considerado

19.3.3.2 Parâmetro de onda de projeto

Para a análise de estado limite último de estruturas tendo características de reação quase estáticas para ação de ondas, os parâmetros de onda projeto necessários para os efeitos desta cláusula são a altura e período da onda incidente máxima média tendo período de retorno de 50 anos.

Quando a reação dinâmica da estrutura para a ação de onda é significativa, considerações adicionais deve ser dada para a gama possível de período de onda e alturas máxima de onda associados que resultariam na maior ampliação dinâmica. [5]

19.3.3.3 Ações de Onda

Ações da onda do projeto deve ser definidas a partir dos parâmetros de ondas de projeto definido no tópico 19.3.3.2, seja por cálculo, tal como descrito na cláusula, ou por testes de modelos físicos. No entanto, é necessária cautela no caso de estruturas com paramentos verticais, por causa das dificuldades de modelar com precisão ou cálculo as pressões de choque, que podem ocorrer no protótipo.

A magnitude das ações de onda não depende apenas de a altura e período de ondas, e das dimensões da estrutura, mas também, do regime hidrodinâmico resultante. Isto é controlado pela relação entre a largura ou diâmetro submerso da estrutura ou elemento estrutural W_s , e o comprimento de onda, L , como se segue:

- a) para $W_s/L > 1$, a reflexão se aplica, ver tópico 19.3.3.4;
- b) para $0,2 < W_s/L < 1$, a teoria de difração se aplica, e não será abordado neste trabalho;
- c) para $W_s / L < 0,2$, a equação de Morison se aplica, e não será abordado neste trabalho.

A Teoria de Onda Linear pode normalmente ser assumida como sendo válido, mas em águas rasas, onde a razão entre profundidade e o comprimento de onda, d/L_0 , é inferior a 0,1, e como a forma da onda começa a se afastar significativamente de uma senoidal, pode ser necessário usar ou a Teoria das Ondas Solitárias ou a Teoria Ondulatória Cnoidal para maior precisão. [5]

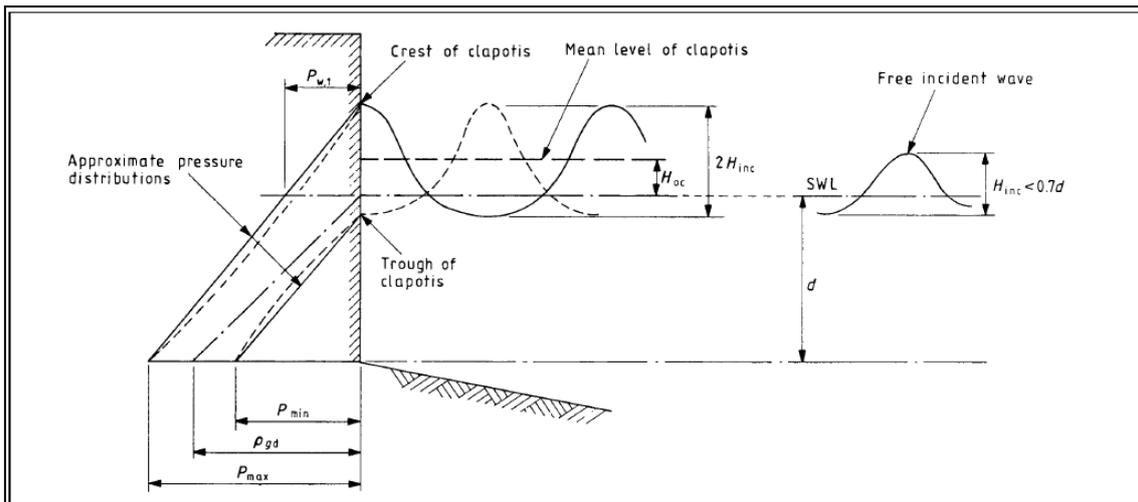


Figura 19.2 – Distribuição de pressão de onda em parede refletiva para ondas sem arrebentação FONTE: [5]

Altura dos clapotis = $2 \times$ altura de onda livre incidente

espaçamento dos clapotis:

$$H_{0c} = \frac{\pi H_{inc}^2}{L} \coth \frac{2\pi d}{L}$$

Máxima pressão na face exposta:

$$P_{max} = \frac{pdg + pg \cdot H_{inc}}{\cosh(2\pi d/L)}$$

Mínima pressão na face exposta:

$$P_{min} = \frac{pdg - pg \cdot H_{inc}}{\cosh(2\pi d/L)}$$

Máxima pressão na face exposta à nível d'água estático é dado aproximadamente por:

$$P_{w1} = P_{max} \left\{ \frac{(H_{inc} + H_{0c})}{(H_{inc} + H_{0c} + d)} \right\}$$

19.3.3.4 Condições reflexivas

Ondas incidentes sobre uma superfície vertical infinitamente comprida podem ser refletidas sem quebrar. Nestes casos, uma onda estacionária será formada na frente da parede com uma altura, no caso de ondas regulares, de duas vezes a da onda incidente. Isto é conhecido como clapotis, como mostrado na Figura 19.2. Nos casos reais, o

resultado final pode ser uma onda estacionária variando em altura ao longo da parede com um valor médio de cerca que duas vezes a altura da onda incidente. A variação pode ser de 20% para as ondas regulares e ser evidentes para pelo menos dois comprimentos de onda ao longo da parede a partir de seu fim. Uma variação semelhante ocorreria com ondas aleatórias de crista longa, mas a variação de pico pode ser de 15% e a variação seria amortecido no prazo de um comprimento de onda da descontinuidade na parede.

Sempre que tais variações podem ser críticas é recomendado que seja feita uma investigação específica do local.

Em determinadas profundidades, dependendo da relação comprimento de onda e altura das ondas, as ondas podem quebrar contra a parede produzindo carregamento impulsivo (impulsive loading), que pode ser muito grande sobre uma área de superfície reduzida. A pressão média de onda quebrando sobre uma estrutura comprida e de ondas reflectidas pode ser estimado como se segue. [5]

A distribuição vertical de pressão da onda pode assumir a forma mostrada na Figura 19.3.

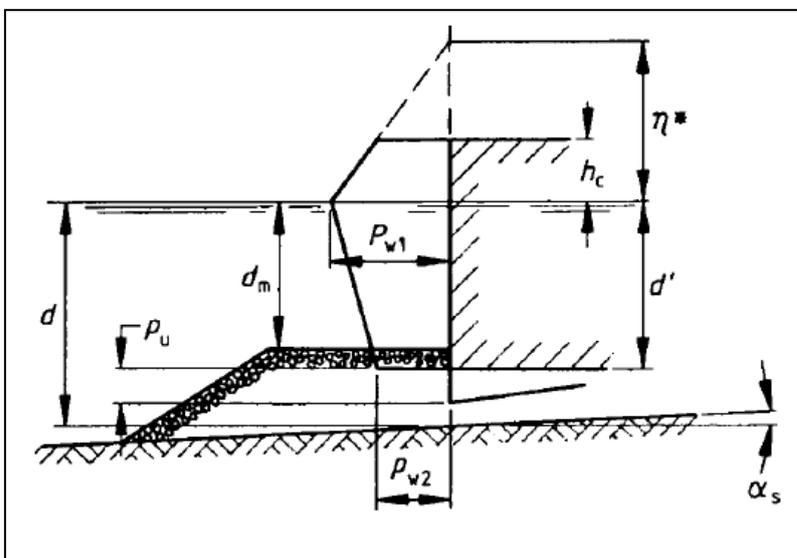


Figura 19.3 – Estimativa de valores de alfa para cálculo de pressão de onda - distribuição vertical de pressão de onda FONTE: [5]

A altura de onda de projeto (H_D) é dada como a média de 0,4% das ondas mais altas ($H_{1/250}$) esperadas. No lado mar da zona de surfe $H_D = 1,8 H_S$. Dentro da zona de surfe H_D é calculada para uma profundidade d_b situada a uma distância à frente do paramento

vertical igual a $5 \times H_S$ onde H_S é calculado para a profundidade d igual a profundidade do mar no paramento vertical. H_D e H_S são obtidos das Figuras B.1 até B.6 no anexo B ou de equações correspondentes.

A altura em que a pressão de onda atua é dada por:

$$\eta^* = 0,75 (1 + \cos \beta) H_{1/250}$$

sendo: β = ângulo nominal entre a direção de aproximação de onda e uma linha normal ao paramento.

Quando o ângulo real entre a direção de aproximação e a normal for 15° ou menos, β é zero. Quando o ângulo for maior que 15° , β é o próprio ângulo.

A pressão de onda na superfície de águas estáticas é dada por:

$$P_{w1} = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) (\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta) \gamma_w H_D$$

Pressão de onda na base do paramento vertical é dado por:

$$P_{w2} = \alpha_3 P_{w1}$$

A pressão vertical para cima no pé do paramento vertical é dado por:

$$P_u = \frac{\alpha_1 \alpha_3}{2} (1 + \cos \beta) \gamma_w H_D$$

sendo:

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi \frac{d}{L}}{\sinh 4\pi \frac{d}{L}} \right]^2$$

α_2 é o menor entre os dois valores:

$$\alpha_2 = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{d_m}{d_b} \right) \left(\frac{H_D}{d_m} \right)^2$$

$$\alpha_2 = \frac{d_m}{H_D}$$

$$\alpha_2 = 1 - \frac{d_1}{d} \left(1 - \frac{1}{\cosh 2\pi \frac{d}{L}} \right)$$

sendo: d , d' e d_m são mostrados na Figura 19.3 e d_b é a profundidade no local de H_D .

Alternativamente, α_1 , α_2 e α_3 pode ser estimado pelas Figuras 19.3, 19.4 e 19.5.

Note que se γ_w está em toneladas/m³ e H_D em metro, a pressão resultante é em tonelada/m².

A pressão total no paramento, F_w , é dada pelo seguinte:

Se :

$$hc \geq \eta^* F_w = \left(\frac{P_{w1} + P_{w2}}{2} \right) d' + \eta^* \frac{P_{w1}}{2}$$

Se :

$$hc \geq \eta^* F_w = \left(\frac{P_{w1} + P_{w2}}{2} \right) d' + \frac{P_{w1} h_c}{2} \left(2 - \frac{h_c}{\eta^*} \right)$$

sendo: h_c é a altura da crista mostrado na Figura 19.3.

Para o caso em que as ondas são refletidas sem quebrar, isso é quando a altura da onda incidente é inferior a 0,7 vezes a profundidade do nível d'água estático na parede, a distribuição da pressão sob o vale da onda pode então ser determinada de acordo com a Teoria da Sainflou, tal como consta da Figura 19.3. O valor de 0,7 pode não estar correto para condições das ondas íngremes, margens fortemente inclinadas e estruturas compostas.

As pressões locais de uma onda quebrando contra uma superfície plana podem ser muito maiores do que os valores médios calculados anteriormente. Análises e observações em protótipos levou à expressão:

$$P = \lambda \rho T v_c^2$$

Sendo proposto que para pressões locais, os valores de λ dependerá da quantidade de ar nas ondas e, com base em tal 0,3 seria apropriado para uma onda em uma praia rochosa; 0,5 é aplicado às ondas em uma praia mais regular. Se a densidade é medida, em

quilogramas por metro cúbico (kg / m^3), o período em segundos (s) e a velocidade de fase em metros por segundo (m / s), a pressão é calculada em newtons por metro quadrado (N / m^2) (λ tendo a unidade T^{-1}). [5]

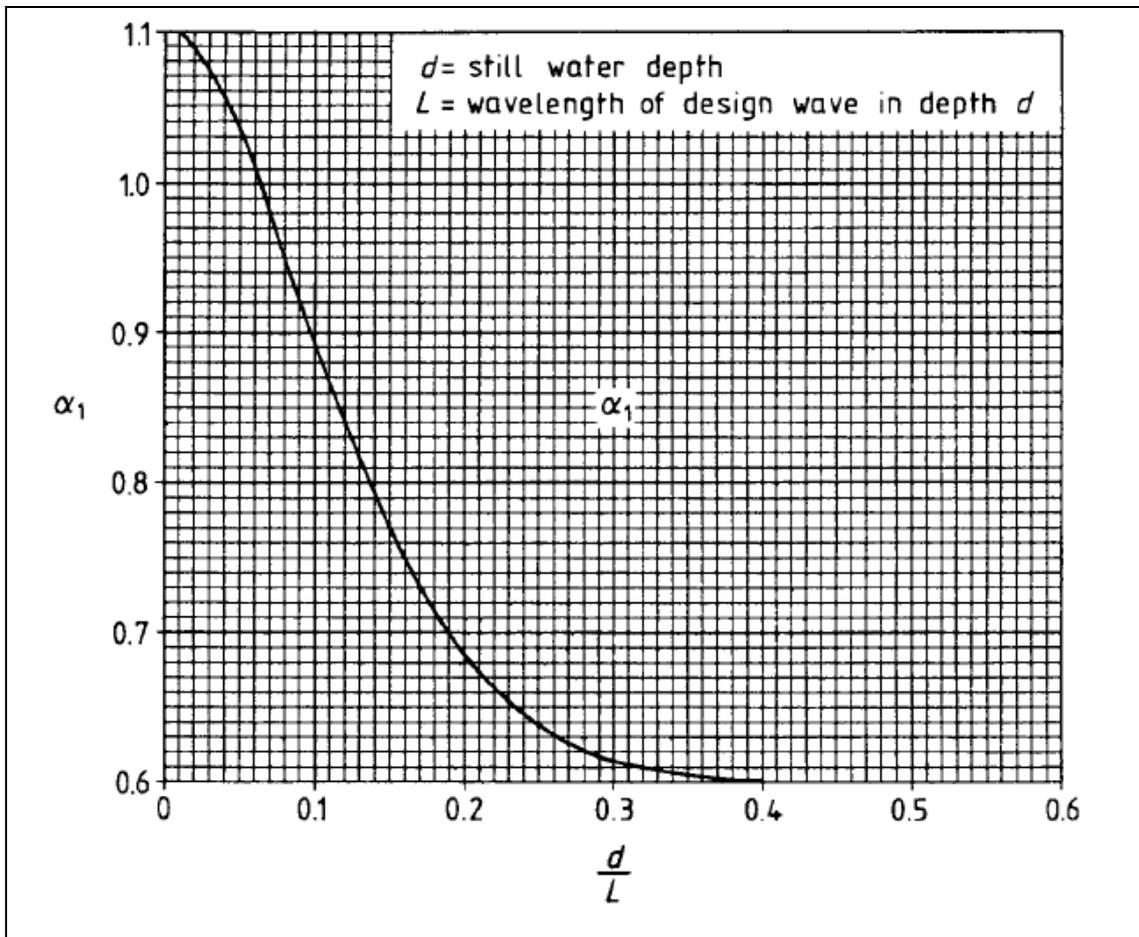


Figura 19.4 – Estimativa de valores de alfa para cálculo de pressão de onda - coeficiente de pressão de onda na superfície em função de período de onda FONTE: [5]

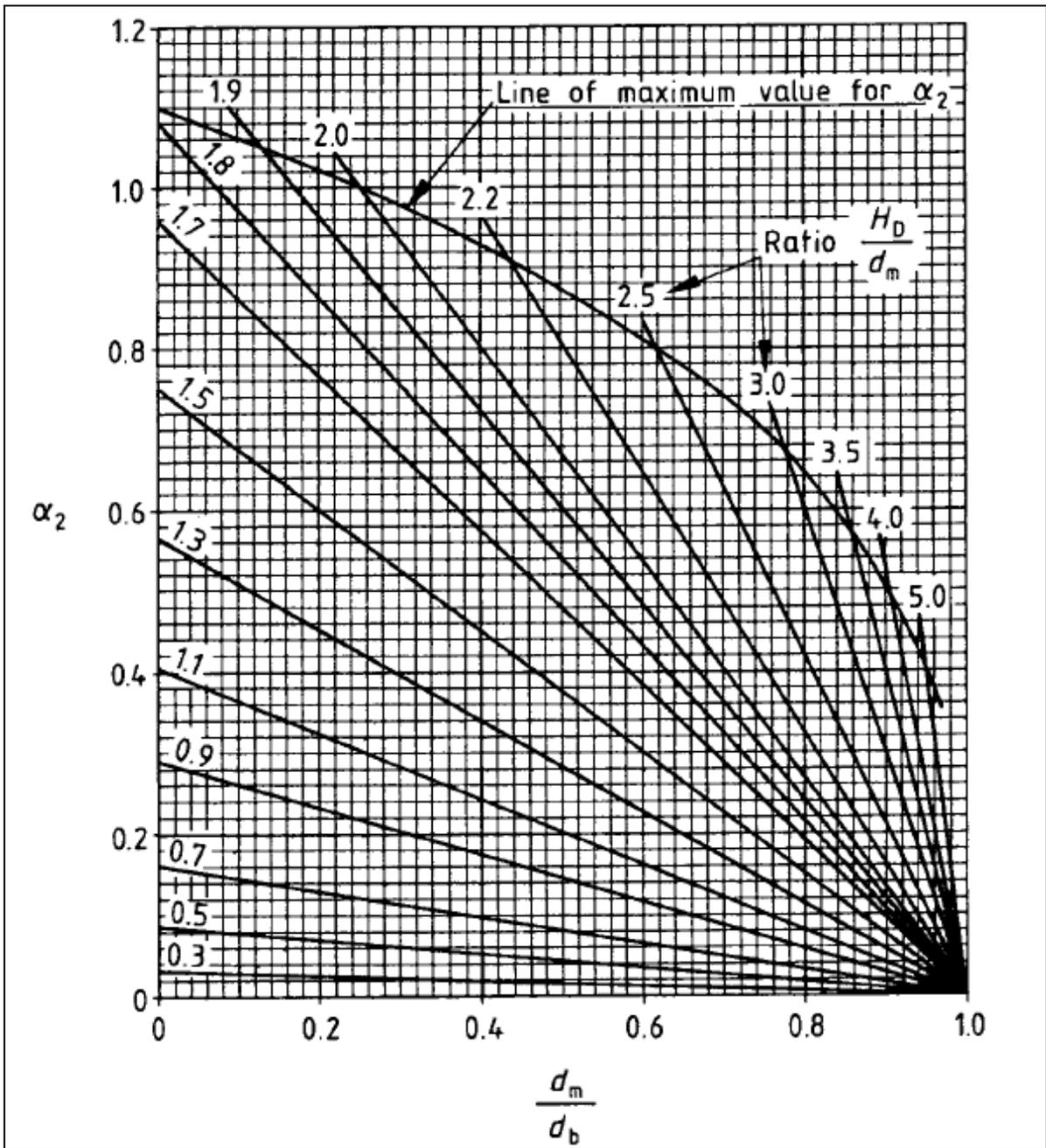


Figura 19.5 – Estimativa de valores de alfa para cálculo de pressão de onda - coeficiente de pressão de onda na superfície em função de empolamento de onda FONTE: [5]

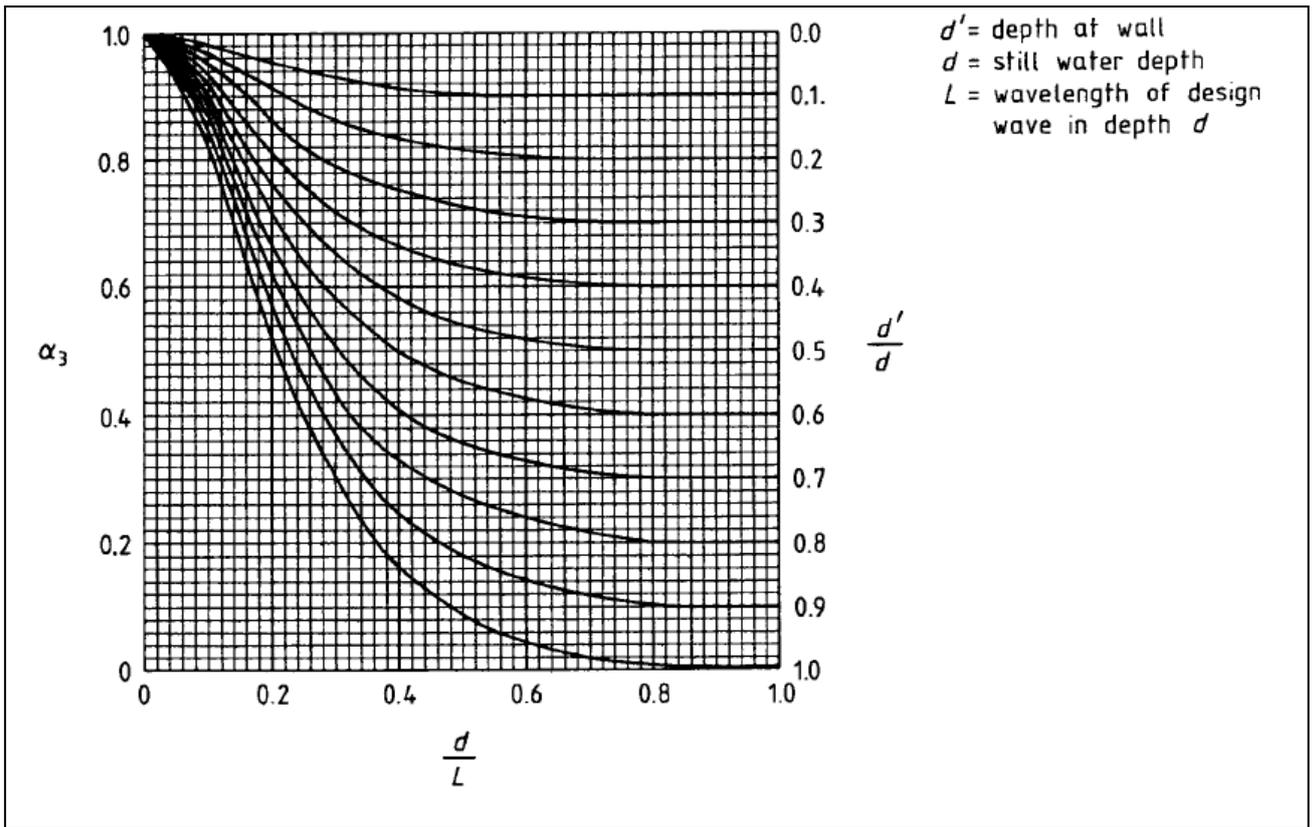


Figura 19.6 – Estimativa de valores de alfa para cálculo de pressão de onda - razão entre de pressão de onda na superfície em na profundidade d' FONTE: [5]

19.3.3.5 Ataque de Onda

Para os elementos estruturais horizontais próximos ao nível d'água médio, deve ser levado em conta as cargas de pancada de onda causadas pela súbita imersão do elemento. Devido à natureza impulsiva do carregamento, a resposta dinâmica do elemento pode ser particularmente significativa. A força de pancada vertical, para um elemento cilíndrico pode ser determinada a partir de:

$$F_s = \frac{1}{2} C_s \rho V_\eta^2 / W_s$$

sendo: F_s = força de ataque vertical em kilonewtons (kN);

C_s = coeficiente de ataque;

ρ = densidade em toneladas/m³;

V_η = velocidade vertical da superfície da água dada pela taxa de variação da elevação de superfície η com tempo em metros por segundo (m/s)

l = comprimento do cilindro em metros (m)

W_s = diâmetro do cilindro em metros (m)

Valores de C_S tem sido determinados empiricamente como $3,6 \pm 1,0$ onde cargas de ataque são dominantes, por exemplo com o número de Froude maior que aproximadamente 0,6, onde o número de Froude é dado por $Fr = V_{\eta} / \sqrt{gW_s}$. A variação do nível da água na superfície com o tempo de acordo com a teoria linear pode ser obtido através da equação de morrisson. [5]

19.3.4 Movimentação aceitável de embarcação

Para embarcações que excedem aproximadamente 3 000 toneladas de deslocamento, as quantidades de movimento aceitáveis são baseados nos critérios de:

- Limites de Segurança – caso seja ultrapassado, pode resultar em dano para o navio, outras embarcações ou o porto.
- Limites impostos pelo manuseio de cargas – caso seja ultrapassado, pode resultar em carregamento/descarregamento ineficiente ou até paralisação.
- Limites baseados na experiência de autoridade portuária e operadores de navio.

19.3.4.1 Limites imposto pela segurança

Esse limite normalmente especificado por um limite superior à carga de amarração, por exemplo o esforço necessário para quebrar os cabos de amarração, ou se os cabos estiverem presos ao molinete do navio, o esforço limite para quebrar o molinete. O grau de movimentação permitida neste caso depende da flexibilidade ou rigidez do sistema de atracação. Um sistema flexível permite maior movimentação do navio até os esforços de amarração alcançarem o limite de segurança, enquanto um sistema rígido não. É importante que uma embarcação tenha tempo de sair do berço caso o limite de segurança esteja próximo de ser superado. Se rebocadores forem necessários para auxiliar esta operação, as condições não devem impedir eles de fazerem seu serviço. Em algumas situações isso significa que o limite de segurança é em função da operação de rebocadores ao invés das cargas nas amarras.

Outro limite pode ser dado pela energia cinética do navio. Os valores de velocidade máxima de atracação recomendada está na tabela a seguir, válida para embarcações de até 8 000 grt (22640 m³ de volume interno total), como navios costeiros, barcas, navios

ro-ro, navios de pesca. *Gross register tonnage* (grt) representa o volume interno total de uma embarcação, e equivale a 100 pés cúbicos ou 2,83 m³. *Deadweight Tonnage* (DWT) em inglês, ou porte em português, é a soma de todos os pesos variáveis que um navio é capaz de embarcar com segurança, normalmente expresso em toneladas. [5]

20. Ventos

20.1 Norma Brasileira

A velocidade do vento a ser considerada é a velocidade média em 10 minutos, medida no local de implantação da estrutura portuária a uma altura de 10 m. Os valores máximos de rajada podem ser reduzidos em 10%. Em nenhum caso são admitidas velocidades para o vento menores que 20 m/s. Deve ser levada em consideração a NBR 6123 na fixação da velocidade dos ventos, não se aceitando velocidade de vento menores que as fixadas por esta norma. [2]

20.2 Norma Americana

Deve-se usar a seção 1609 do *International Building Code* para fornecer carga mínima do vento sobre estruturas. O vento é um valor crucial no dimensionamento das amarras em um berço, e será abordado mais adiante. [3]

Ao escolher um local para o porto, deve-se:

- Abrigar de ventos e ondas do mar.
- Limitada pista de vento. A área protegida de água não deve conter segmentos suficiente de pista de vento para agir como uma área de geração de ondas que poderiam causar dificuldades dentro do porto.
- Evitar locais sujeitos aos efeitos diretos de tempestades pronunciados, graves e frequentes.
- Considerar a variação local de intensidade de neblina e evitar os locais mais graves, na medida do possível. [6]

20.3 Norma Britânica

Para estruturas marítimas, a velocidade de rajada de vento de 3 segundos é utilizado apenas para o dimensionamento de elementos estruturais individualmente.

No caso de embarcações, é recomendado que seja usada para o dimensionamento do sistema de amarras a velocidade média do vento em 1 minuto, porque é o tempo necessário para a carga total se desenvolver, levando em conta a inércia da embarcação.

Velocidade de vento de projeto também pode ser limitada por práticas operacionais. O valor de velocidade de vento médio de 1 minuto pode ser estimado a partir da equação:

Velocidade média de vento de 1 minuto = $0,85 \times$ rajada de 3 seg

Em casos onde a carga de vento é crítica, valores de coeficientes aerodinâmicos podem ser obtidos através de testes com túnel de vento. [5]

21. Sobrepressão hidrostática

21.1 Norma Brasileira

Devem ser analisados os efeitos da sobrepressão hidrostática, causada pela retenção de água, sobre os elementos da estrutura portuária. Deve ser considerado um desnível mínimo de 50 centímetros entre o nível interno e o externo para o cálculo das pressões hidrostáticas sobre o paramento das obras portuárias.

No caso de grandes e rápidas variações do nível de água (N.A.) ou grandes variações da maré, também devem ser consideradas as diferenças de pressão dinâmica juntamente com os efeitos de percolação.

Em estruturas portuárias marítimas o desnível deve ser considerado sobre a baixa-mar de sizígia. [2]

21.2 Norma Americana

Tipicamente, plataformas de cais e píeres não são projetados com cotas suficientemente baixas para ser sujeito a forças de flutuação. No entanto, partes da estrutura, tais como valetas de utilidade, podem ter cotas suficientemente baixas para ser objeto de força de empuxo, que são essencialmente forças verticais para cima aplicados à taxa de 64 psf ($3,06 \text{ kN/m}^2$) de área de plano para cada pé de submersão abaixo nível da água. [3]

21.3 Norma Britânica

Não foi identificado tópico específico sobre este assunto, mas é abordado no tópico de ondas 19.3.

22. Variação de temperatura

22.1 Norma Brasileira

Não é abordado na norma

22.2 Norma Americana

22.2.1 Diferença de temperatura

O efeito das forças térmicas que se acumulam na estrutura devido a flutuações de temperatura irá variar daqueles medidos no momento da construção. Para píeres e cais, a grande massa de água adjacente tem um efeito moderador na estrutura. Por conseguinte, a estrutura pode não alcançar uma temperatura global de 10° F (-12,2 ° C) até 20° F (-6,7 ° C) superior ou inferior à temperatura da água. O efeito será ainda menor para a construção de plataformas balastrados. No entanto, as plataformas sem balastro podem ter uma grande diferença de temperatura conforme a profundidade aumenta. Piers e cais do tipo sólido e estruturas flutuantes são menos propensos a serem afetados por variações de temperatura. [3]

22.2.2 Estrutura Apoiada Sobre Estacas

Tipicamente, plataformas de lajes estaqueada serão submetidos a variação de temperatura. No entanto, uma vez que a rigidez axial dos elementos da plataforma é muito maior do que a rigidez à flexão de estacas, o deck vai expandir ou contrair, sem qualquer restrição por ação das estacas (para cais marginais estreitos, estacas curtas na parte interior do cais podem oferecer alguma resistência, e, portanto, deve ser analisado), o que sujeitará as estacas a momentos de flexão e forças de cisalhamento. Deve-se localizar estacas inclinadas de modo a não restringir o movimento térmico (normalmente na porção média de uma longa estrutura). [3]

22.2.3 Encolhimento

Plataformas de cais e pier descobertos, que geralmente são construídos a partir de componentes de concreto, estão sujeitos a forças resultantes da retração do concreto a

partir do processo de cura. Cargas de encolhimento são semelhantes a cargas de temperatura no sentido de que ambos são cargas internas. Para cais e píeres contínuos, longos, e abertos e suas aproximações, carga de encolhimento é significativa e deve ser considerada. No entanto, para cais e píeres suportados por estacas, o efeito não é tão crítico como pode parecer à primeira vista, pois, ao longo do período de tempo em que o encolhimento ocorrer, o solo em torno das estacas lentamente "cede" e alivia as forças sobre as estacas. O *PCI Design Handbook* é recomendado para o projeto. [3]

22.3 Norma Britânica

As cargas ou efeitos de carga, provenientes da expansão ou contração térmica da estrutura devem ser consideradas no projeto, levando-se em conta o clima do local. [5]

SEÇÃO V – AÇÕES DE ATRACAÇÃO

23. Considerações Gerais

23.1 Norma Brasileira

As ações de atracação são as decorrentes dos impactos das embarcações sobre estruturas de acostagem. [2]

23.2 Norma Americana

23.2.1 Descrição

O sistema de defesa é a interface entre o navio e o equipamento costeiro. Durante a atracação de um navio, o sistema de defensas é destinado a funcionar como um amortecedor para absorver ou dissipar a energia do impacto do navio, sem causar danos permanentes para o navio ou o equipamento costeiro. Se os navios forem atracado contra piers e cais sólidos, relativamente inflexíveis, a proteção do navio é uma função crítica. Quando os navios devem ser atracados contra piers, cais ou dolphins apoiados em estacas, (que são relativamente flexíveis), a proteção da estrutura pode ser a preocupação mais séria. Uma vez que o navio está atracado e ancorado ao porto com sucesso, o sistema continua a fornecer a interface entre o navio e terra e transmite as cargas ambientais (vento, ondas e correntes) do navio para a estrutura. Para submarino e

outras embarcações do tipo, o sistema de defensas também fornece uma barreira física para impedir a embarcação a entrar debaixo do pier. [3]

23.2.2 Prática de atracação

A escolha e concepção de um sistema de defensas é altamente dependente da prática de atracação empregado no porto em particular. Tipicamente, dois ou mais rebocadores auxiliam a atracação de grandes navios ao berço. Em alguns locais, navios menores podem ser autorizados a atracar sem o auxílio de rebocadores. Quando assistido por rebocadores, o navio chega fora do berço e paralelo a ele. O navio então pára “morto” na água e os rebocadores empurram e puxam o navio transversalmente em direção ao berço, em uma tentativa de fazer o máximo contato possível com do sistema de defesa. Quando não assistida por rebocadores, um navio menor vai entrar em seu berço em algum ângulo, referido como o ângulo de aproximação. Em ambos os casos, o contacto inicial é limitado a uma parte relativamente pequena do sistema de defensas. Pressupostos terão de ser feitos em relação ao um ângulo de ataque e duração de contato. [3]

23.3 Norma Britânica

23.3.1 Geral

Durante a acostagem de navio, cargas são geradas entre o navio e a estrutura de atracação a partir do primeiro contato até o navio estar finalmente parado. A magnitude das cargas depende não apenas do tamanho e velocidade do navio, mas também na natureza da estrutura, incluindo qualquer defensas, e o grau de resiliência que apresentam sob impacto.

No caso de grandes paramentos verticais de cais lastreados com solo, cargas de atracação são geralmente resistidas por empuxo de solo passivo situado atrás da parede do cais, com pouco efeito sobre a estrutura em si e, portanto, requerem pouca consideração, exceto para minimizar danos aos navios.

O deslocamento de água com a aproximação do navio ao paramento vertical tem um efeito de amortecimento e ajuda a reduzir a velocidade de aproximação.

Para outras estruturas as cargas de atracação são predominantemente uma consideração de projeto. [5]

23.3.2 Fatores operacionais

A velocidade transversal da aproximação de um navio é um fator importante na determinação da energia cinética de atracação.

É sempre possível que impactos catastróficos possam ocorrer a partir de navios à deriva fora de controle. Há necessidade de se preparar contra esses impactos, particularmente para oleodutos ou gasodutos vulneráveis, e devem ser considerados as consequências de tais impactos, tanto no que diz respeito ao risco de perda de vida ou dano ambiental, bem como o custo de reparos.

As probabilidades e consequências de cargas de atracação anormais que ocorram por conta de avarias, falhas e escassez de recursos também devem ser considerados. [5]

23.3.3 Defensas

Defensas são dispositivos de absorção de energia, cuja função principal é transformar carga de impacto de movimento de uma embarcação em reações que tanto a embarcação quanto a estrutura possam sustentar de forma segura. O sistema de defensas deverá ser capaz de suportar tanto a carga resultante perpendicular à face da defesa quanto também qualquer componente paralelo à face de atracação, tanto horizontalmente quanto verticalmente, que resultam dos movimentos de navios.

A carga de projeto de atrito paralela à face de atracação deve ser limitado até μ vezes a máxima carga de impacto de projeto e deve ser considerado atuando em ambas as direções horizontal e vertical, onde μ é o coeficiente de atrito entre as duas faces em contato. [5]

24. Determinação de energia de atracação

24.1 Norma Brasileira

A energia cinética característica transmitida pelo navio durante a atracação, que deve ser considerada no dimensionamento das estruturas e defensas é determinada pela seguinte expressão [2]:

$$E_c = \frac{1}{2} (M_1 + M_2) \cdot V^2 \cdot C_e \cdot C_r$$

Onde:

E_c = energia característica nominal

M_1 = massa deslocada pelo navio

M_2 = massa de água adicional

V = velocidade de aproximação do navio perpendicular à linha de atracação

C_e = coeficiente de excentricidade

C_r = coeficiente de rigidez

24.2 Norma Americana

O método de energia cinética tem sido o método amplamente aceito para piers e cais. Quando o deslocamento *tonnage* (diferente de tonelada métrica) do navio é conhecida, a equação de energia pode ser escrito como [3]:

$$E_{\text{navio}} = \frac{1}{2}Wv^2/g$$

sendo: E_{navio} = energia de atracação do navio (pés.libra);

W = peso da embarcação em libra (deslocamento *tonnage* x 2,240);

g = aceleração da gravidade (32,2 pés/segundo²);

v = velocidade de atracação próxima ao berço (pés/segundo).

Porém, são vários os fatores que modificam a energia real a ser absorvida pelo sistema de defensas. A expressão pode ser descrita como [3]:

$$E_{\text{defensa}} = C_b \times C_m \times E_{\text{navio}}$$

sendo: E_{fender} = energia a ser absorvida pelo sistema de defensas;

C_b = coeficiente de atracação = $C_e \times C_g \times C_d \times C_c$.

Às vezes os coeficientes de excentricidade (C_e), geométrico (C_g), de deformação (C_d), e configuração (C_c) são combinados em um único valor chamado coeficiente de atracação.

C_m = massa efetiva ou coeficiente de massa virtual.

24.3 Norma Britânica

A avaliação da energia total da embarcação em movimento e a sua massa hidrodinâmica associada são modificados para avaliar a quantidade de energia E (em kN/m) a ser absorvida pelo sistema de defensas por adição de factores de C_E , C_S e C_C , dando a seguinte equação [8]:

$$E = 0,5 C_M M_D (V_B)^2 C_E C_S C_C$$

Sendo: C_M = coeficiente de massa hidrodinâmica;

M_D = deslocamento da embarcação (toneladas);

V_B = velocidade da embarcação normal ao berço (m/s);

C_E = coeficiente de excentricidade;

C_S = coeficiente de rigidez;

C_C = coeficiente de configuração de berço;

Cada defesa deve ser projetada para absorver a energia atracação acima. Para este efeito, uma "defensa" pode compreender qualquer um dos seguintes:

- a) um único elastômero ou unidade pneumática, estaca dolfim, ou outra unidade de absorção de energia;
- b) um número de unidades de absorção de energia acopladas em conjunto para formar uma unidade composta de absorção de energia;
- c) uma série de unidades de absorção de energia numa proximidade suficiente para agir em conjunto se for localizado no primeiro ponto de impacto do navio. [8]

25. Massa deslocada pelo navio (M_1) ou Coeficiente de configuração de berço

25.1 Norma Brasileira: Massa deslocada pelo navio (M_1)

A massa M_1 depende do tipo de instalação portuária. Nas instalações do descarregamento de navios a massa a ser considerada é a máxima que o navio pode deslocar. Nas instalações de carregamento, a massa a ser considerada corresponde a

situação do navio em lastro ou parcialmente carregado. Admite-se nesta situação considerar como massa deslocada pelo navio o valor $0,9 M'$ onde M' é a massa correspondente a capacidade de carga total do navio (TPB). [2]

25.2 Norma Americana: Coeficiente de configuração (C_c)

O Coeficiente de configuração (C_c) é um fator que foi introduzido para levar em conta a diferença entre um cais ou píer aberto ou um cais ou píer sólido. No primeiro caso, os movimentos da água em torno do navio atracando praticamente não são afetados pela estrutura do berço. No segundo caso, a água entre o navio atracando e a estrutura é apertada, o que introduz um efeito de amortecimento que representa uma força adicional sobre o navio para fora do berço e reduz a energia a ser absorvida pelo sistema de defensas. A experiência tem indicado que, para um sólido paramento vertical, cerca de um quarto da energia de atracação do navio é absorvido pela almofada de água; portanto, os seguintes valores para C_c se justificam:

- Para berços abertos e cantos de píeres sólidos, $C_c = 1,0$.
- Para píeres sólidos com aproximação paralela, $C_c = 0,8$.
- Para berços com diferentes condições, C_c pode ser escolhido no interval entre estes dois valores. [3]

25.3 Norma Britânica: Coeficiente de configuração de berço (C_c)

O coeficiente de configuração de berço leva em conta que parte da energia do navio seja absorvida pelo efeito de amortecimento de água presa entre o casco do navio e o paramento vertical do cais. O valor de C_c é influenciada pelo tipo de construção do cais, e a sua distância até a lateral da embarcação, o ângulo de acostagem, a forma do casco do navio, e a sua profundidade abaixo da quilha. Um valor de 1,0 para C_c deve ser usado para estruturas abertas estaqueadas, e um valor de C_c de entre 0,8 e 1,0 é recomendado para uso com um paramento de cais contínuo. [8]

26. Massa de água adicional (M_2)

26.1 Norma Brasileira

Corresponde à massa de água que se movimenta em conjunto com o navio durante a atracação.

$$M_2 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot \gamma_a$$

Onde:

D = calado do navio nas condições da atracação

L = comprimento do navio

γ_a = massa específica da água

Nota: Podem ser adotados para a massa hidrodinâmica valores diferentes do acima proposto desde que tenham sido comprovados por testes e/ou estudos científicos realizados por laboratório idôneo. [2]

26.2 Norma Americana: Massa efetiva ou coeficiente de massa virtual (C_m)

Quando um navio se aproxima de uma doca, o impacto é induzido atracação não somente pela massa do navio em movimento, mas também pela massa de água que se move junto com o navio. Este último é geralmente chamado de massa "hidrodinâmica" ou "acrescentada". Na determinação da energia cinética de um navio em atracação, a massa efetiva ou virtual (a soma de massas de navio e massa hidrodinâmica) deve ser usado. A massa hidrodinâmica não necessariamente varia com a massa do navio, mas está intimamente relacionado com a área projectada do navio em ângulos retos com a direção de movimento. Outros fatores, tais como a forma de navio, a profundidade da água, a velocidade de atracação, aceleração e desaceleração do navio, terão algum efeito sobre a massa hidrodinâmica. [3]

26.3 Norma Britânica: Coeficiente de massa hidrodinâmica

O coeficiente de massa hidrodinâmica permite a circulação de água em torno do navio a ser tidas em conta quando se calcula a energia total do navio, aumentando a massa do sistema. A hidrodinâmica massa coeficiente C_M pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$C_M = 1 + \frac{2D}{B}$$

sendo: D = calado do navio (m)

B = boca do navio (m)

O resultado desta fórmula são valores para C_M geralmente entre 1,3 e 1,8

Em geral, uma folga reduzida sob a quilha irá aumentar este coeficiente, mas o valor correto para ser utilizado numa situação particular é incerto. Recomenda-se que a energia calculada a ser absorvido pelo sistema de defesa seja comparado com registros de um berço vizinho, se disponível, ou com dados como os fornecidos pelo PIANC. [8]

27. Velocidade de aproximação do navio (V)

27.1 Norma Brasileira

A velocidade (V) de aproximação dos navios perpendicular à linha de atracação é afetada por uma série de fatores: tamanho dos navios, condições de abrigo, uso de rebocadores, habilidades do piloto, condições meteorológicas. Os valores mínimos a serem adotados para o cálculo da energia de atracação característica são os indicados na Tabela 27.1. [2]

Tabela 27.1 – Valores mínimos para cálculo da energia de atracação

Condição	Aproximação	Velocidade perpendicular à linha de atracação (m/s)			
		até 1.000 TPB	até 5.000 TPB	até 10.000 TPB	navios maiores
Vento e ondas fortes	Difícil	0,75	0,55	0,40	0,30
Vento e ondas fortes	Favorável	0,60	0,45	0,30	0,20
Vento e ondas moderados	Aceitável	0,45	0,35	0,20	0,15
Protegido	Difícil	0,25	0,20	0,15	0,10
Protegido	Favorável	0,20	0,15	0,12	0,10

FONTE: [2]

27.2 Norma Americana

Deve-se notar que a energia cinética do navio em atracação é uma função quadrada da componente normal da sua velocidade de aproximação. Assim, a energia cinética, assim como a força resultante sobre a estrutura de atracação, é sensível a alterações na velocidade de aproximação. Ao dobrar o valor de cálculo da velocidade de aproximação, a energia cinética do navio quadruplica. Os valores de projeto utilizados

para a velocidade de aproximação normal ao cais pode variar de 0,25 até 1,50 fps (0,076 até 0,46 m/seg), dependendo do tamanho do navio docado e o auxílio de rebocadores empregado.

Navios maiores, com auxílio adequado de rebocadores geralmente podem atracar suavemente e a velocidade de projeto mais baixa pode ser usada. As embarcações menores, que atracam sozinhas, podem se aproximar do cais em velocidades consideravelmente mais elevadas e, conseqüentemente, uma maior velocidade de projeto deve ser usada. A velocidade de atracação também é afetada pela dificuldade da aproximação, espaço de manobra para rebocadores (largura de slip) e localização do porto. Deve-se antecipar maiores velocidades de aproximação quando o berço está localizado em águas expostas onde as cargas ambientais causam dificuldade em controlar o navio. Além disso, as correntes em estuários de águas protegidas podem ser de grande preocupação.

Velocidade de aproximação normal ao berço pode ser tomada a partir das Figuras 27-1 e 27-2. Determinar se um berço está "exposto", "moderado" ou "protegido" depende das condições ambientais no local e é uma questão de julgamento profissional pelo projetista. A maioria das instalações navais dos Estados Unidos estão situadas em águas protegidas e podem ser tomadas como "protegido". Onde correntes elevadas (0,3 fps (0,091 m/s) ou mais) ou ventos fortes (40 nós (20,4 m/s) ou mais) ocorrem com freqüência, uma condição "moderado" deve ser assumida. A condição de "expostos" pode ser utilizado quando correntes e ventos incomuns severos estiverem presentes. No entanto, a experiência local na atracação de navios deve controlar a seleção. [3]

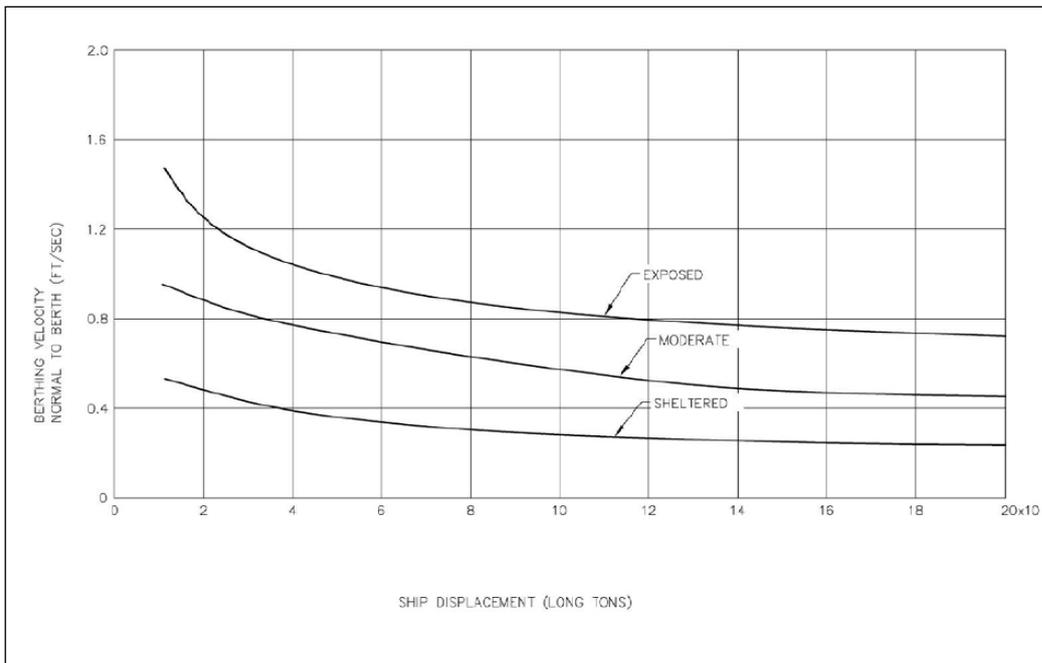


Figura 27.1 – Valores de atracação para pequenos navios

FONTE: [3]

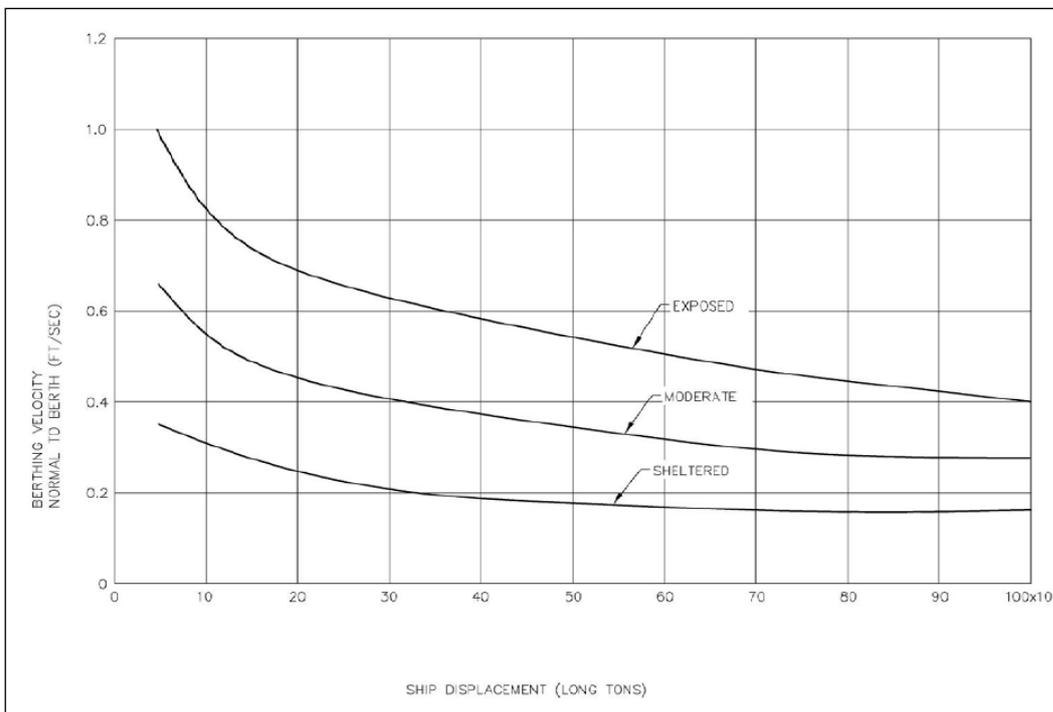


Figura 27.2 – Valores de atracação para grandes navios

FONTE: [3]

27.3 Norma Britânica:

A velocidade com que um navio se aproxima de um berço é a mais importante de todos os elementos de cálculo da energia a ser absorvido pelo sistema de defensas. Deverá ser dada atenção especial à obtenção do valor mais adequado.

Os valores sugeridos de velocidades de atracação transversais são apresentados na Tabela 27.2, mas esses valores se aplicam somente às condições abrigadas. [5]

Tabela 27.2 – Valores sugeridos de máxima movimentação para operação segura

Tipo de Navio	Equipamento de manuseio de cargas	Tipo de Movimento					
		Avanço ^a m	Deriva ^a m	Afundamt. ^a m	Guinada ^a graus	Arfagem ^a graus	Jogo ^a graus
Pesca	Guindaste elevador	0,15	0,15				
	Lift-on-lift-off	1,0	1,0	0,4	3	3	3
	Bomba de sucção	2,0	1,0				
Navios costeiros	Equipamento do navio	1,0	1,2	0,6	1	1	2
	Gruas de cais	1,0	1,2	0,8	2	1	3
Balsas, Navios ro-ro	Rampa lateral ^b	0,6	0,6	0,6	1	1	2
	Rampa de proa/popa	0,8	0,6	0,8	1	1	4
	<i>Linkspan</i>	0,4	0,6	0,8	3	2	4
	Rampa de trilho	0,1	0,1	0,4	-	1	1
Carga geral	-	2,0	1,5	1,0	3	2	5
Navios porta-contêineres	100% de eficiência	1,0	0,6	0,8	1	1	3
	50% de eficiência	2,0	1,2	1,2	1,5	2	6
Navio Graneleiro	Gruas	2,0	1,0	1,0	2	2	6
	Elevador/bucket-wheel	1,0	0,5	1,0	2	2	2
	Correia transportadora	5,0	2,5		3		
Navio-petroleiro	Lança carregadora	0,5 – 2,0	0,5 – 2,0				
Navio Gaseiro	Lança carregadora	0,5	0,5				

^a Movimentos se referem a valores de pico (menos deriva: sem-pico).

^b Rampas equipadas com rolamentos

FONTE: [5]

Em condições mais difíceis, velocidades podem ser estimada a partir da Figura 27.3 na qual são dadas cinco curvas que correspondem às seguintes condições de navegação.

- a) Atracação boa, abrigado.
- b) Atracação difícil, abrigado.
- c) Atracação fácil, exposto.
- d) Atracação boa, exposto.
- e) Condições de navegação difíceis, exposto.

Embora com base nas observações, a Figura 27.3 apresenta baixas velocidades de aproximação para grandes navios, que podem ser facilmente ultrapassadas em

condições adversas. Em casos de correntes cruzadas desfavoráveis, velocidades de atracação de até 0,25 m/s podem ocorrer.

Quando o dados estatísticos adequados sobre as velocidades de atracação para navios e condições semelhantes às do cais sendo projetados estão disponíveis, então a velocidade deve ser obtida a partir desses dados, em detrimento aos valores tabelados. Para velocidades de navio no Ro-Ro e berços de ferry. [8]

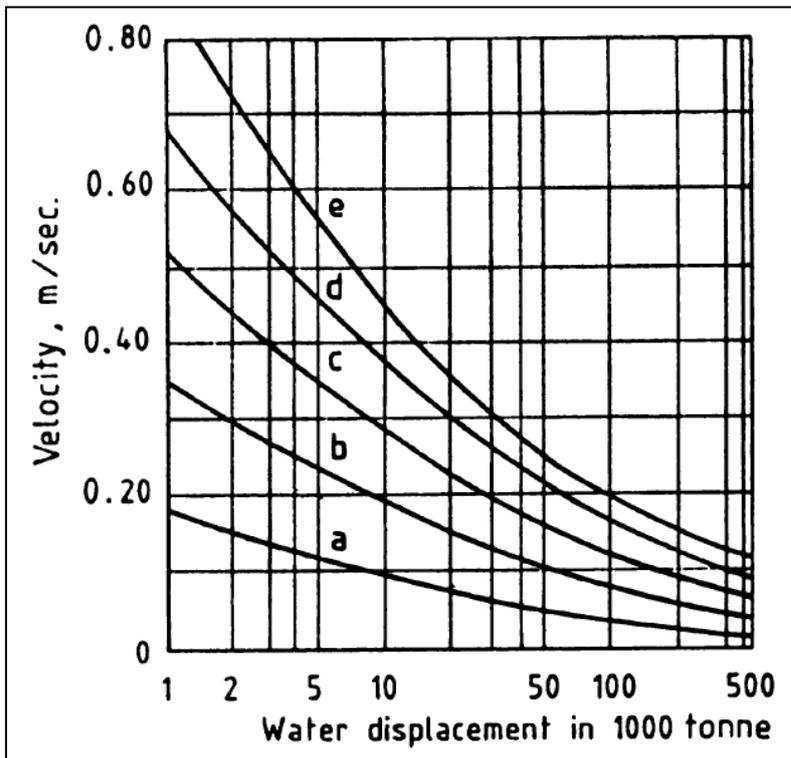


Figura 27.3 – Velocidade de atracação de projeto em função de condições de navegação e tamanho de embarcação FONTE: [8]

28. Coeficiente de excentricidade (C_e)

28.1 Norma Brasileira

O coeficiente (C_e) leva em consideração a energia dispendida no movimento de rotação do navio, e é determinado pela fórmula: [2]

$$C_e = \frac{r^2}{l^2 + r^2}$$

Onde:

l = distância entre o ponto de contato e o centro de gravidade do navio, medida paralelamente à linha de atracação

r = raio de giro do navio (pode ser considerado aproximadamente igual a 25% do comprimento do navio).

28.2 Norma Americana

Durante a manobra de atracação, quando o navio não está exatamente paralelo à linha de atracação, nem toda a energia cinética do navio será transmitida para as defensas. Devido à reação das defensas, o navio vai começar a girar em torno do ponto de contacto, dissipando-se, assim, parte de sua energia. Tratar o navio como uma haste rígida de largura negligenciável na análise da energia de impacto sobre a defesa leva à fórmula simples:

$$C_e = k^2 / (a^2 + k^2)$$

sendo: k = raio de giração longitudinal do navio (feet);

a = distância entre o centro do navio de gravidade e o ponto de contato na lateral do navio, projetado sobre o eixo longitudinal do navio (feet).

Valores de C_e tipicamente são entre 0,4 e 0,7. Os valores para C_e podem ser computados a partir da Figura 28-1. [3]

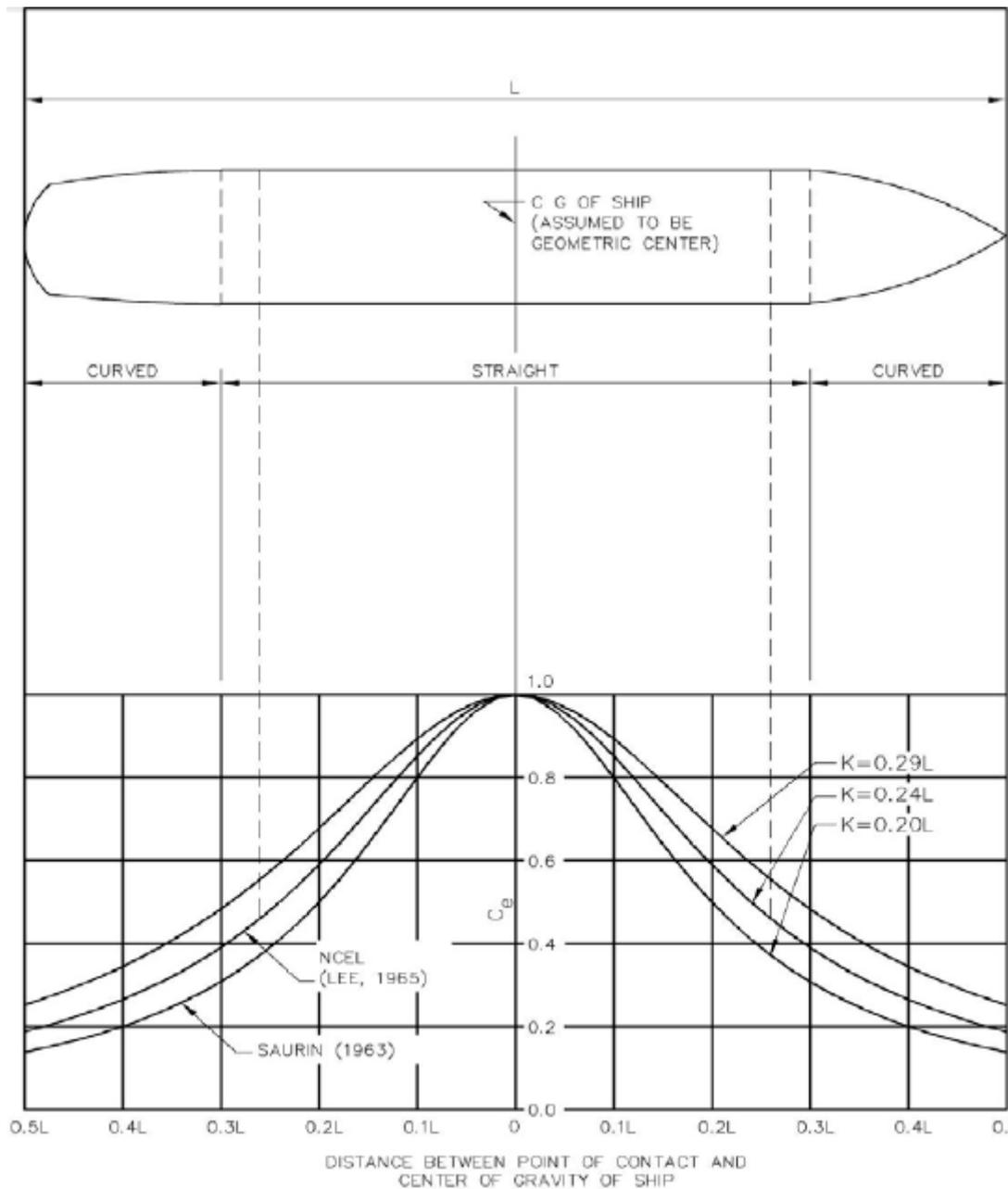


Figura 28.1 – Coeficiente de excentricidade, C_e FONTE: [3]

28.3 Norma Britânica

O coeficiente de excentricidade C_E permite a redução na energia transmitida para o sistema de defensas, quando o ponto de impacto não coincide com o centro de massa da embarcação e pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$C_E = \frac{K^2 + R^2 + \cos \gamma^2}{K^2 + R^2}$$

sendo: K = raio de giração da embarcação, pode ser calculado pela fórmula:

$$K = (0,19 C_b + 0,11) L$$

sendo: L = comprimento do casco entre perpendiculares (m)

C_b = coeficiente de bloco (vera Tabela 28.1)

C_b = deslocamento / (comprimento do casco entre perpendiculares \times boca de navio \times calado \times densidade da água)

R = distância do ponto de contato até o centro de massa (m)

γ = ângulo entre a linha que une o ponto de contato ao centro de massa e vetor de velocidade (ver figura 2)

A expressão acima é frequentemente simplificado assumindo $\gamma = 90^\circ$ resultando em:

$$C_E = \frac{K^2}{K^2 + R^2}$$

A Tabela 28.1 lista intervalos para valores típicos de coeficientes de bloco para vários tipos de navios modernos. [8]

Tabela 28.1 – Valores mínimos para cálculo da energia de atracação

Tipo de embarcação	Valores de C_b
Navio-tanque, graneleiro	0,72 até 0,85
Porta-contêiner	0,65 até 0,70
Ro-Ro	0,65 até 0,70
Passageiros	0,65 até 0,70
Carga seca	0,60 até 0,75
Barca	0,50 até 0,65

FONTE: [8]

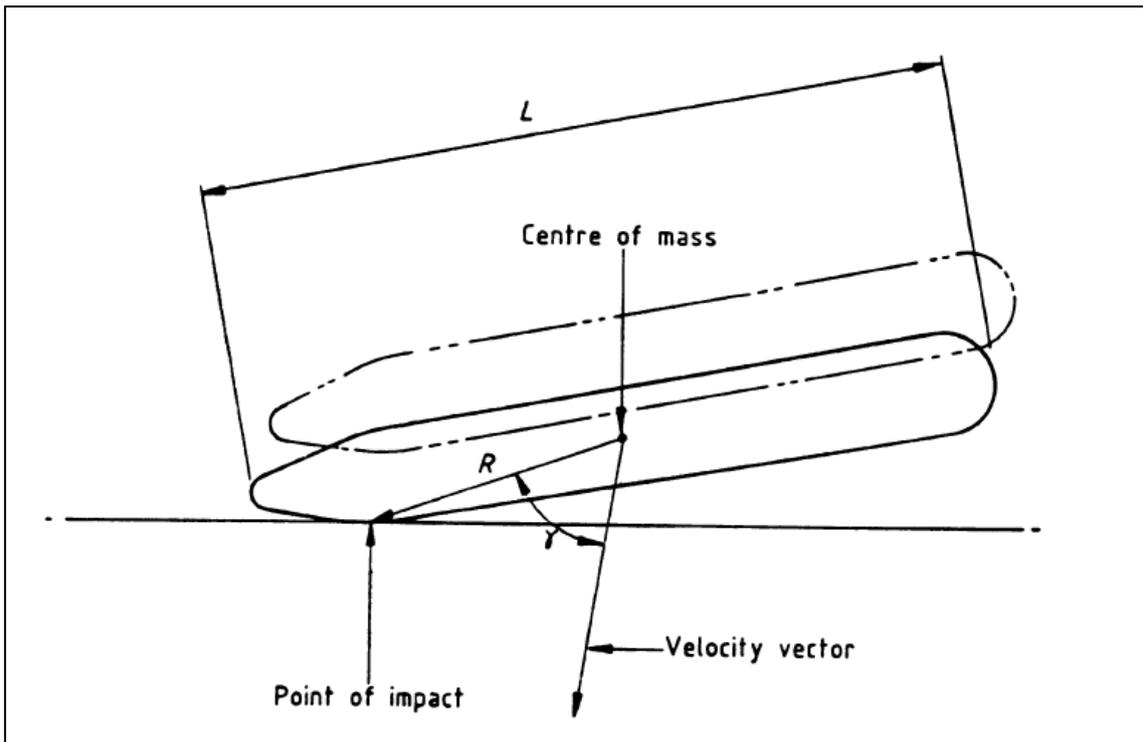


Figura 28.2 – Geometria de aproximação de embarcação ao berço FONTE: [8]

29. Coeficiente de rigidez (C_r) ou de deformação (C_d) ou de maciez (C_s)

29.1 Norma Brasileira: coeficiente de rigidez

O coeficiente de rigidez (C_r) leva em consideração a parcela da energia de atração absorvida pela deformação do costado do navio. Dependendo da rigidez do sistema de defensas o valor adotado pode variar entre 0,90 e 0,95. [2]

29.2 Norma Americana: coeficiente de de deformação (C_d)

O coeficiente de deformação leva em conta os efeitos de redução de energia devido à deformação local do casco e ao deslocamento de todo o navio ao longo do seu eixo longitudinal. A energia absorvida pelo navio depende da rigidez relativa do navio e da obstrução. O coeficiente de deformação varia de 0,9 para uma defesa não-elástica para quase 1,0 para uma defesa flexível. Para navios maiores em sistemas de defesa com absorção de energia, pouca ou nenhuma deformação do navio ocorre; por conseguinte, recomenda-se um coeficiente de 1,0. [3]

29.3 Norma Britânica: coeficiente de maciez

O coeficiente de maciez permite a porção da energia de impacto que é absorvida pelo casco do navio.

O valor geralmente aceito de C_S situa-se entre 0,9 e 1,0. Para navios equipados com defensas de borracha contínua, C_S pode ser tomado 0,9. Para todos os outros navios $C_S = 1,0$. [8]

30. Coeficiente de geometria (C_g)

30.1 Norma Brasileira

Não é citado

30.2 Norma Americana

O coeficiente geométrico, C_g , depende da configuração geométrica do navio, no ponto de impacto. Ela varia de 0,85 para uma curvatura crescente convexa até 1,25 para curvatura côncava. Geralmente, 0,95 é usado para o ponto de impacto no limite ou além dos pontos de um quarto do navio, e 1,0 para atracação perpendicular em que o contato é feito ao longo do lado reto. [5]

30.3 Norma Britânica

Não é citado

31. Esforços de atracação

31.1 Norma Brasileira

Durante a atracação, os navios exercem esforços nas estruturas que devem ser avaliados com o auxílio de gráficos do sistema de defensas empregado, que correlacionem a energia absorvida com a deformação imposta e a força transmitida.

As forças características do impacto dos navios são as que correspondem às energias características determinadas conforme o tópico 24.3, energia de atracação e de acordo com os tipos de defensas utilizadas. Os valores de cálculo das forças de impacto no estado limite último devem ser consideradas como o maior dos valores obtidos nas seguintes situações:

- a) Valor da força característica majorada do coeficiente de ponderação.
- b) Valor da força correspondente à energia característica majorada do coeficiente de ponderação.

Deve-se levar em consideração a possibilidade de compressão desuniforme das defensas devido à acostagem dos navios não paralela à linha de atracação. [2]

31.2 Norma Americana

31.2.1 Aproximação de sistemas de defesa

A energia de impacto do navio atracando é absorvida em um sistema complexo de elementos interconectados. Para o sistema mostrado na Figura 31.1, a carga passa do casco do navio para o camelo, que é suportado por uma série de estacas de defesa. As estacas de defesa, por sua vez, são apoiadas por unidades de defesa de borracha no nível de coroamento plataforma. Neste caso, a energia do navio é absorvida pelo casco do navio, tiras esfregadas, separador, estacas de defesa, e defensas de borracha ao nível da plataforma. O sistema pode ser modelado como mostrado na Figura 31.1. A energia absorvida e a força desenvolvida, por cada elemento só pode ser resolvido por um processo iterativo. [3]

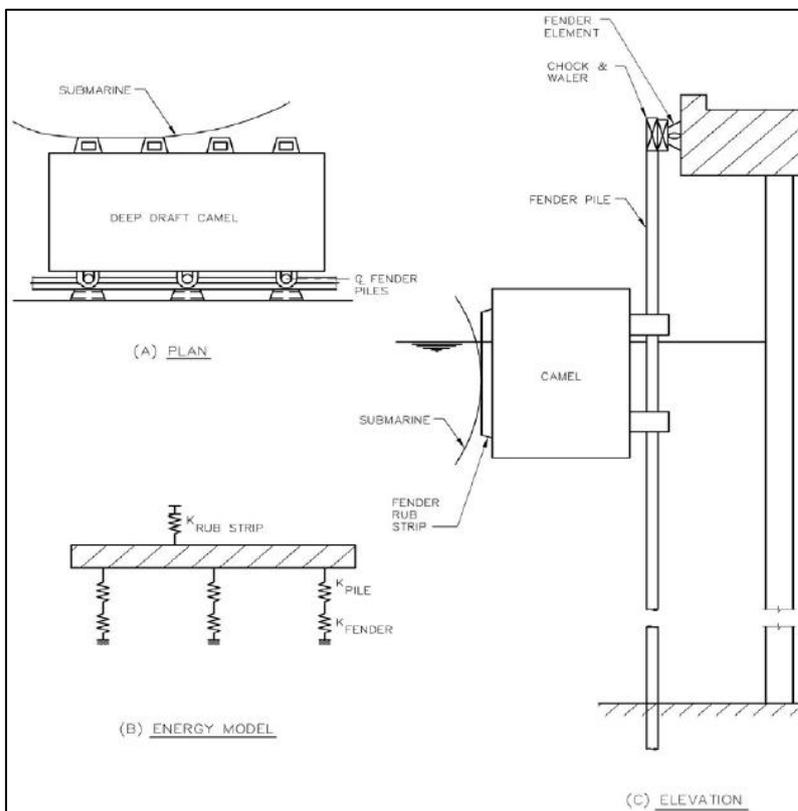


Figura 31.1 – Modelagem de um sistema de defesa

FONTE: [3]

31.2.2 Requerimentos funcionais

31.2.2.1 Absorção de energia.

Projetar todos os sistemas de defesa para absorção de energia de atracação do navio em todos os tipos estruturais de píeres e cais.

31.2.2.2 Atracação normal.

O sistema de defesa deve ser capaz de absorver a energia das operações normais de atracação dentro da tensão de serviço ou intervalo de deformação aceitável definido nesta seção. Alguns fabricantes indicam uma tolerância de mais ou menos 10% na curva de deflexão de carga. Se isso for o caso, a reação de projeto sobre a estrutura deve ser aumentada em 10% e a absorção de energia para o projeto deve ser reduzida em 10%. As variações na velocidade de testes de defensas podem afetar as curvas de carga-deslocamento resultantes.

Quando as cargas de ensaio são aplicadas rapidamente, isto é, a uma velocidade comparável à da atracação navio real, a carga-deslocamento indicará reação e energia superiores do que se a carga de ensaio fosse aplicada lentamente. Portanto, tome cuidado ao comparar os resultados dos testes de diferentes fabricantes, e faça os ajustes apropriados nos fatores de segurança utilizados no projeto. Diferenças da ordem de 30% podem ser esperado. [3]

31.2.2.3 Atracação acidental

O sistema de defesa é menos caro do que o navio ou a estrutura de atracação, portanto algum dano a ele pode ser permitido e aceitável. Assim, no caso de uma situação acidental, é o sistema de defesa que deve ser "sacrificado". Perda do berço tem uma consequência muito mais grave do que a perda de parte ou de todo o sistema de defesa em termos de custo e tempo necessário para restauro. O custo e tempo para reparar um navio danificado é muito maior do que o cais e do sistema de defesa.

A condição acidental pode ser causada pelo aumento do ângulo de aproximação ou de velocidade de aproximação ou uma situação única que não pôde ser prevista. Na ausência de qualquer outro cenário de acidente, aumente a energia de atracação como calculado neste capítulo, por pelo menos 50 por cento, para que o sistema de defesa seja capaz de proporcionar esta capacidade "reserva" em caso de falha dos materiais do sistema. [3]

31.2.2.4 Condições de atracação

Todos os sistemas de defesa seleccionados devem ser capazes de transferir com segurança as cargas ambientais sobre o navio para a estrutura de acostagem.

31.2.2.5 Dano no casco.

Projetar todos o sistema de defesa para impedir a deformação permanente do casco do navio. A composição típica de um casco marinho são chapas de aço soldado de reforços longitudinais (horizontais) em 2 a 4 pés (0,6 a 1,2 m) sobre o centro. Os reforços abrangem 5-20 pés (1,5-7,6 m), dependendo da embarcação. Geralmente, os reforços são de força suficiente para impedir falha devido carregamento de defesa. No entanto, o revestimento do casco pode ceder quando sujeito a um sobrecarga uniformemente distribuída sobre o painel. Sistemas de defesa com elementos de face rígidos ou em combinação com *camels separadores* rígidos tendem a concentrar as forças de reação nos quadros dos navios ao invés do revestimento do casco devido à rigidez relativa dos quadros. [3]

31.3 Norma Britânica

31.3.1 Considerações Gerais

Reações de atracação são função da energia atracação e as características de deformação do sistema de defensas. Cargas de acostagem devem ser distribuídos de uma tal maneira que:

- a) as pressões de contato no casco do navio são mantidos dentro de limites aceitáveis;
- b) o contato direto entre o casco e estrutura de cais é impedida;
- c) a capacidade da defesa não é excedida.

31.3.2 Pressões no casco

A pressão de contacto máxima aceitável entre o casco e defesa é influenciado por muitos factores, incluindo o tipo e tamanho do navio, a natureza de apoio da defesa (seja rígida ou flexível) e a posição da área de contacto relativamente às estruturas de casco. Para navios-tanque LNG/ LPG e navios de grande porte como *Very Large Crude*

Carrier (VLCC), as pressões de contacto aceitáveis será geralmente entre 15 t/m² e 20 t/m². [8]

31.3.3 Reações na defesa devido a atracação inclinada

A menos que o ponto de impacto seja sobre a porção em linha reta do casco e o navio estiver paralelo ao cais no momento do impacto, a unidade de defesa receberá um carregamento angular. A geometria do casco sobre a área de impacto deve ser considerado em ambos os planos horizontal e vertical (veja a Figura 31.2 e Figura 31.3) para estabelecer:

- a) O ângulo de aplicação da carga de defensas individuais;
- b) deslocamentos de unidades de absorção de energia individuais componentes da defesa e, portanto, o valor total da energia absorvida pela defesa;
- c) de folga entre o casco e estrutura de cais.

A maioria dos fabricantes de defensas pneumáticas fornecem fatores de correção para os dados de desempenho de suas unidades para uso em condições de atracação angulares.

Sempre que as circunstâncias exigirem que as aproximações em ângulo serão a prática geral em um determinado berço, poderá considerar-se angular os elementos individuais de defesa relativos ao berço, a fim de criar uma maior aproximação com condições paralelas de atracação e portanto, desempenho mais eficiente da defesa (ver Figura 31.3). [8]

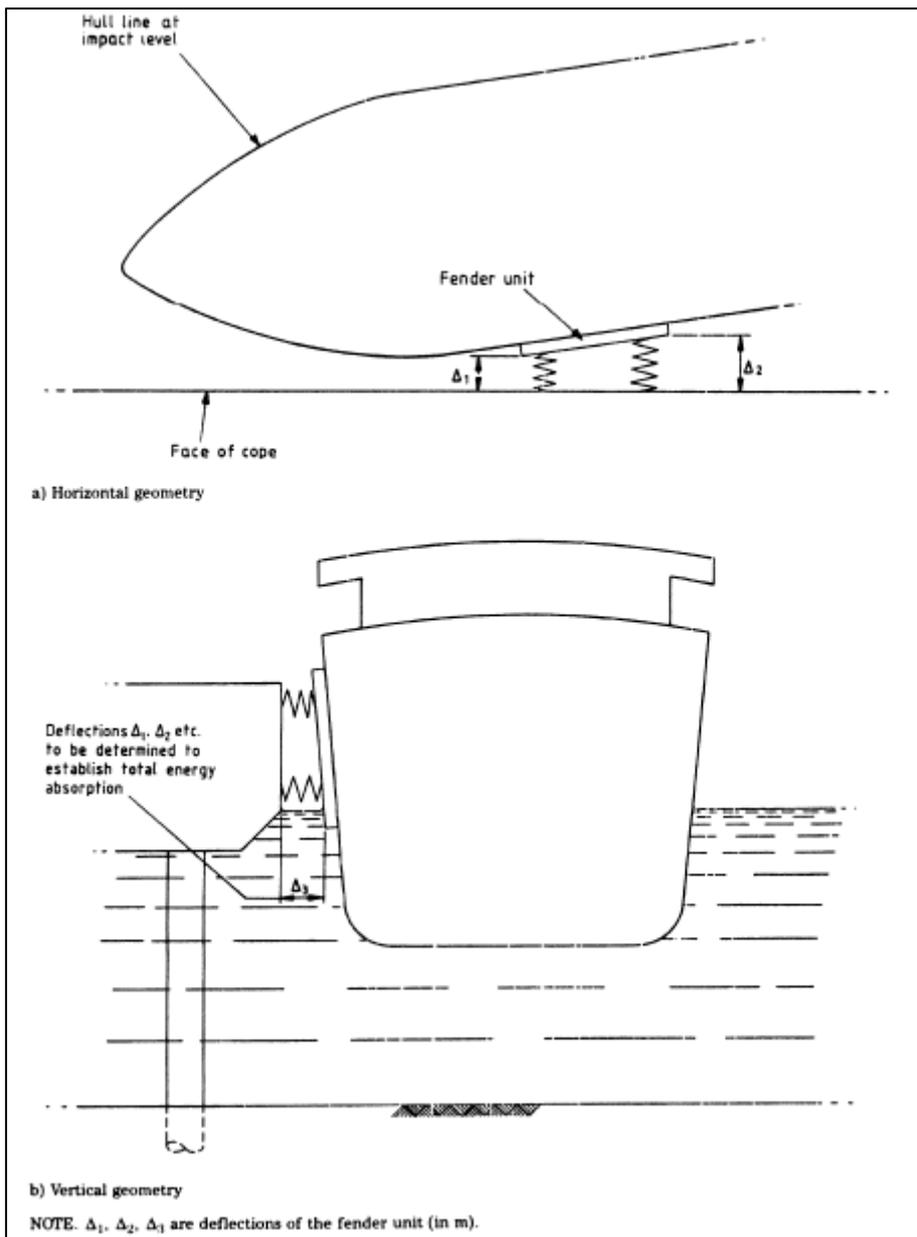


Figura 31.2 – Geometria de impacto de casco e defesa

FONTES: [8]

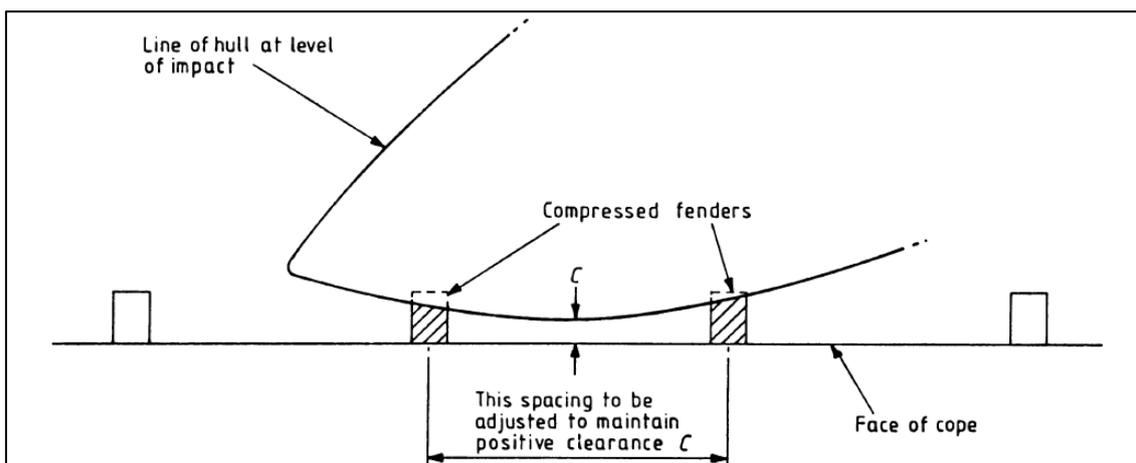


Figura 31.3 – Planta mostrando geometria de casco e defensas no impacto

FONTE: [8]

32. Forças paralelas à linha de atracação

32.1 Norma Brasileira

Além das forças já citadas, aparecem durante a operação de atracação dos navios, forças paralelas às estruturas, devido ao atrito entre o costado do navio e o sistema de defensas. Os valores característicos destas forças dependem do tipo de painel frontal utilizado no sistema da defesa. A tabela 32.1 apresenta o coeficiente de atrito do aço com os materiais usualmente empregado nos painéis. [2]

Tabela 32.1 – Material empregado e coeficiente de atrito com aço

Material	Coeficiente de atrito com aço
Aço	0,35 - 0,4
Madeira seca	0,6
Madeira molhada	0,2
Borracha	0,3 - 0,4
Resina sintética	0,1 - 0,2

FONTE: [2]

32.2 Norma Americana

32.2.1 Coeficiente de atrito entre face de defesa e casco de navio

Isso determina a força de cisalhamento resultante quando o navio atracar com movimento longitudinal e/ou *roll* e pode ter um efeito negativo significativo sobre o desempenho de absorção de energia da defesa. A magnitude da força de cisalhamento pode também ter um efeito significativo no custo da estrutura de atracação. [3]

32.2.2 Coeficiente de atrito

À medida que o navio estiver amarrado contra o sistema de defensas, haverá também componentes de força desenvolvidas nas direções longitudinal e vertical. Como o coeficiente de atrito entre a borracha e o aço é muito elevado, os painéis dianteiros especiais de defesa foram desenvolvidos com coeficiente de atrito reduzido. Tiras de plástico de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMW) tem sido utilizados com sucesso na frente de estacas de madeira. Os seguintes coeficientes de atrito podem ser usados no projeto de sistemas de defesa: [3]

Tabela 32.2 – Material empregado e coeficiente de atrito com aço

Materiais	Coeficiente de atrito
Madeiro com aço	0,4 a 0,6
Uretano com aço	0,4 a 0,6
Aço com aço	0,25
Borracha com aço	0,6 a 0,7
UHMW com aço	0,1 a 0,2

FONTE: [3]

32.3 Norma Britânica

Capacidade cisalhante de defensas. Os navios em movimento longitudinal ou vertical induzem forças de atrito na superfície de contato entre a defesa e casco. Essas forças vão induzir deformações cisalhantes na defesa que devem ser mantidos dentro de limites aceitáveis. Deslocamento cisalhante pode ser limitada por correntes que ligam partes apropriadas do conjunto. Na ausência de informações proveniente do fabricante de defesa, a força de cisalhamento pode ser calculada utilizando o relevante coeficiente de atrito, μ , multiplicado pela força normal na face da defesa. Os valores típicos de μ são dadas na Tabela 32.3 [8].

Tabela 32.3 – Coeficiente de atrito de face de defesa em condições secas

Material	Coeficiente de atrito μ
Polietileno	0,2
Nylon	0,2
Borracha	0,5
Madeira	0,3

FONTE: [8]

Os coeficientes de atrito apresentados são válidos somente onde superfícies de contato lisa estiverem presente. Portanto eles não se aplicam quando a embarcação utilizando o berço tiver casco enferrujado ou com protuberâncias. Portanto, o projetista deve considerar valores mais altos. [8]

33. Dimensionamento do sistema de defensas

33.1 Norma Brasileira

Para absorver a energia de atracação dos navios, as estruturas de acostagem devem ser equipadas com um sistema de defensas que atenda aos seguintes requisitos:

- a) O sistema deve ter capacidade para absorver a energia característica (E_c), majorada do coeficiente de ponderação.
- b) Na consideração da alínea a), deve-se levar em consideração a perda da capacidade da defesa pela possibilidade de compressão desuniforme devido à acostagem do navio não paralela à linha de atracação. O ângulo mínimo a ser considerado é de 5°;
- c) O sistema de defensas deve ser dimensionado para absorver toda a energia de impacto em apenas um ponto de atracação, quando a atracação for inclinada;
- d) No caso de cais contínuo, o espaçamento das defensas deve ser suficiente para que se assegure proteção à estrutura quando houver acostagem oblíqua em relação à linha de atracação. Nesta situação dispensa-se a verificação da alínea b);
- e) As defensas empregadas devem ter curvas de deformação – reação e deformação – energia confiáveis, bem caracterizadas e estabelecidas a partir de ensaios

realizados em laboratórios idôneos. As tolerâncias admitidas em relação aos valores de referência devem ser perfeitamente definidas;

O sistema de defensas deve ser dimensionado de forma a absorver a energia de atracação do navio sem causar deformações permanentes na estrutura de atracação ou nas unidades das defensas. [2]

33.2 Norma Americana: Projeto de sistema de defesa

Contato com/de embarcação. Enquanto o processo de atracação ideal tentaria utilizar o maior número de unidades de defesa possível, na realidade, no momento do impacto, o navio vai estar em um pequeno ângulo com o cais e contato será feito ao longo de um pequeno comprimento. Projete unidades de defesa discretas, tais como o tipo buckling column ou do tipo flutuante, para uma unidade fornecendo a energia total com um mínimo de duas unidades instaladas por berço.

Para o sistema contínuo utilizando estacas e defensas flexíveis, o comprimento de contacto será uma função do raio do casco do navio no nível onde contacto é feito, a flexibilidade e o espaçamento das unidades de defesa, e a rigidez do calço (chock and wale) no plano horizontal. O problema é análogo a uma viga em uma fundação elástica. Na ausência de uma análise mais rigorosa, as seguintes premissas para o comprimento de contato podem ser feitas:

- 20 ft (6.1 m) para cruzadores, *Contratorpedeiros*, e fragatas.
- 40 ft (12.2 m) para *battleships*, navios de guerra anfíbios, e navios auxiliares. [3]

33.3 Norma Britânica: Fatores de segurança e tensões de projeto

33.3.1 Considerações Gerais

Dois níveis de energia de impacto, normal e anormal, devem ser estabelecidos para o projeto do sistema de defensas e a estrutura do cais de apoio. A energia atracação, calculado de acordo com 24.3 é baseado em operações normais e poderão ser ultrapassadas por ocorrências acidentais, tais como:

- a) uma falha de motor de navio ou rebocador;
- b) quebra de amarração ou de linhas de reboque;
- c) mudanças bruscas nas condições de vento ou correntes;

d) erro humano.

Para proporcionar uma margem de segurança contra tais riscos não quantificáveis, recomenda-se que, a menos que um valor mais baixo possa ser mostrado sendo satisfatório em circunstâncias semelhantes, a capacidade de energia última de cada defesa deve ser o dobro do calculado para impactos normais

Por causa das características não-lineares de energia/ deformação e reação/ deformação, da maioria dos sistemas de defesa, os efeitos de ambos os impactos normais e anormais no sistema de defensas e estruturas de acostagem deve ser examinada. [8]

33.3.2 Defesa compressível em estrutura rígida

Onde há uma defesa compressível sobre uma estrutura rígida, toda a energia tem de ser absorvida pela defesa, sendo a estrutura assumida como tendo a capacidade de absorção de energia zero ou desprezível. A unidade de defesa deve ser selecionado com um valor máximo não menor que o nível de energia anormal de projeto.

Isto pode ser alcançado, ou por meio de uma defesa compressível desta classificação, ou usando uma defesa compressível para absorver a energia de impacto normal, em série com uma defesa colapsável de aço para proteger contra carregamento anormal, que devem ser facilmente substituíveis.

As reações correspondentes à dada absorção de energia pode ser obtida diretamente a partir das curvas de desempenho de uma determinada defesa. As reações normais e anormais devem ser consideradas como as máximas reações que ocorrem ao longo dos intervalos de zero a normal e zero a anormal, respectivamente. O fabricante de defesa pode indicar uma tolerância sobre os valores citados para reações e energias. Se não, a tolerância de $\pm 10\%$ devem ser tomados em conta na concepção do sistema de defensas. [8]

SEÇÃO VI – AÇÕES DE AMARRAÇÃO

34. Introdução

34.1 Norma Brasileira

As ações de amarração são as decorrentes dos esforços exercidos pelos cabos de amarração das embarcações nos cabeços ou outros dispositivos de amarração a partir das forças atuantes sobre os navios ou embarcações pela ação dos ventos e correntes. [2]

34.2 Norma Americana

Existem vários tipos de sistemas de amarração para atracar navios. Estes sistemas podem ser resumidos em duas grandes categorias:

- a) Amarrações fixas: são definidos como sistemas que incluem elementos de tração e compressão. Sistemas típicos de amarração fixa incluem amarrações em cais e píeres.
- b) Amarrações móveis: são definidos como sistemas que incluem principalmente elementos de tração. Cargas de amarração são transferidos para o solo através de âncoras. Exemplos de amarrações móveis incluem bóias de amarração móveis e sistemas de ancoragem do navio.

O propósito de um sistema de amarração é segurar um navio com segurança em uma determinada posição para cumprir uma missão específica. A necessidade fundamental é manter o navio em segurança para proteger o navio, a vida, o interesse público, e para preservar as capacidades do navio e as instalações vizinhas. Amarras de navio são previstas para:

- a) Carga/descarga - Carregamento e descarregamento itens, tais como víveres, carga, combustível, pessoal, munições, etc.
- b) Armazenamento de navio - Armazenar o navio em uma amarração reduz o consumo de combustível e custos de pessoal. Navios em uma situação de inatividade ou reserva são armazenados em amarrações.

c) Manutenção/consertos - Uma variedade de reparos ou a manutenção muitas vezes é realizado com um navio atracado.

d) Missão - amarrações são utilizados para dar apoio a requisitos especiais de missão, tais como vigilância, acompanhamento, treinamento, etc.

Exemplos típicos de amarração fixas são dados na tabela 34.1 e ilustrado nas figuras 34.1 até 34.4. [9]

Tabela 34.1 – Exemplo de amarrações fixas

a) Amarração de navio único fixo a vários pontos

Tipo de amarração	Figura	Descrição
Pier/ cais	34.1 34.2	Múltiplos cabos de tração são utilizados para segurar uma embarcação ao lado de ou píer/cais. Defensas ou separadores mantém a embarcação deslocada em relação a estrutura Um píer em “T” pode ser usado para manter o navio paralelo à corrente, quando a velocidade de corrente for grande

b) Amarração de múltiplos navios

Tipo de amarração	Figura	Descrição
Lados opostos de um píer	34.3	Os navios podem ser colocados adjacentes um ao outro em lados opostos de um píer para fornecer alguma obstrução das forças/momentos ambientais sobre o navio a jusante.
Múltiplos embarcações adjacentes	34.4	Os navios podem ser colocados adjacentes uns aos outros para proporcionar obstrução significativo das forças/momentos ambientais sobre o navio a jusante.

FONTE: [9]

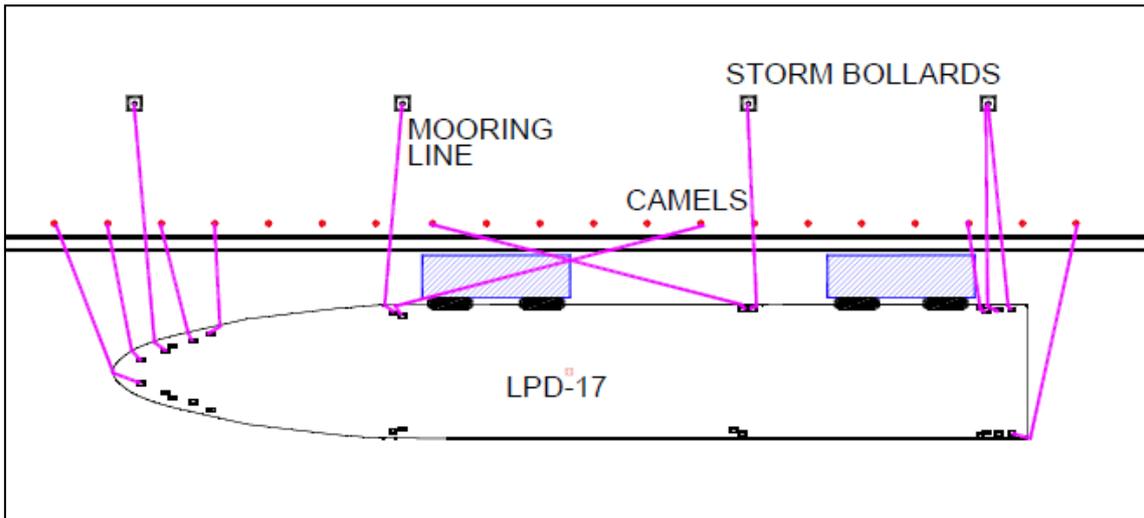


Figura 34.1 – Uma embarcação, separada de pier por *camels* separadores

FONTE: [9]

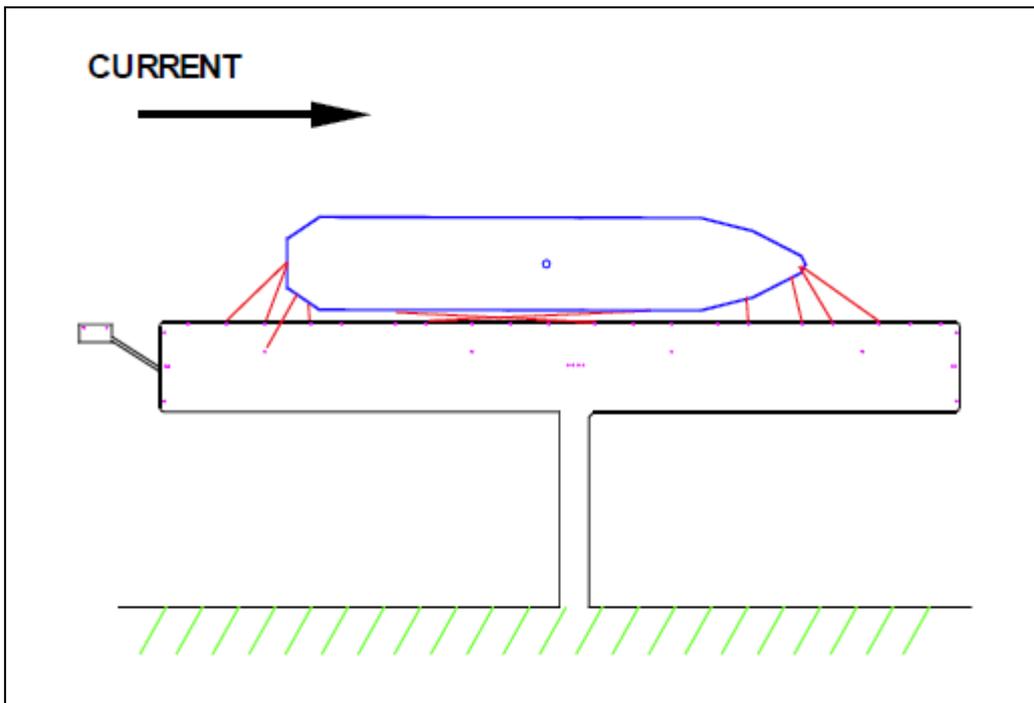


Figura 34.2 – Embarcação em um píer em forma de “T”

FONTE: [9]

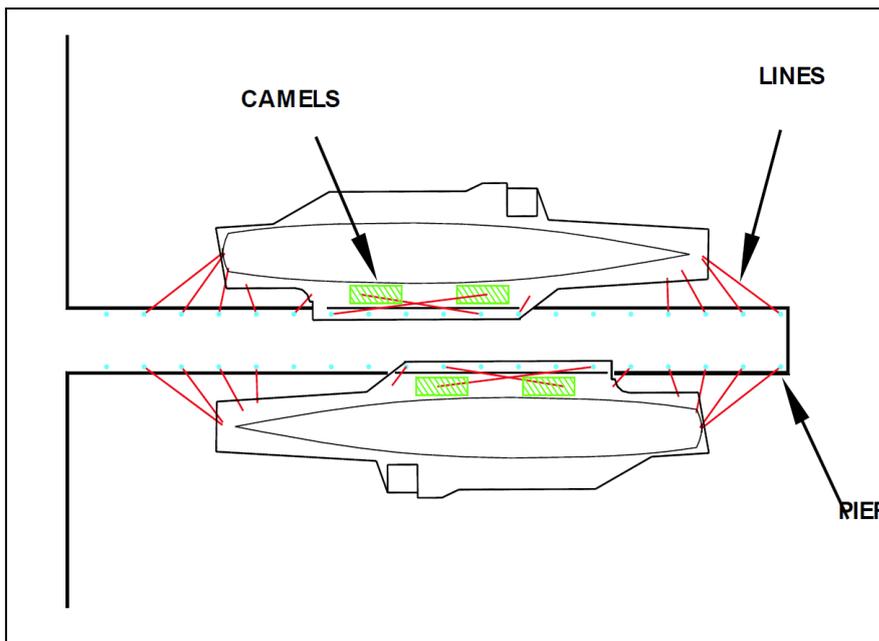


Figura 34.3 –Embarcações em ambos os lados de um píer

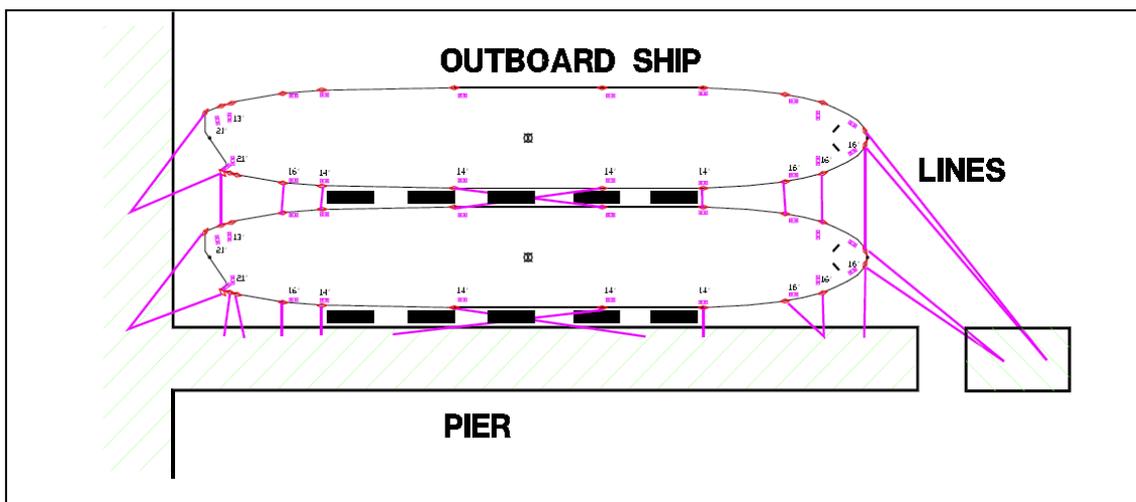


Figura 34.4 –Duas embarcações no mesmo lado de um píer

FONTE: [9]

34.3 Norma Britânica

Cargas de amarração compreendem as cargas impostas a uma estrutura marítima por um navio amarrado ao longo, tanto por meio de contato entre o navio e a estrutura ou o sistema de defensas, e também através da tração nos cabos de amarração. Cargas de amarração também incluem cargas decorrentes de manobras de embarcação no cais,

incluindo desatracção, espia, saída do berço, mas não incluem cargas de impactos e atrito de atracção.

Em portos e ancoradouros abrigados, cargas de amarração são provenientes principalmente dos ventos turbulentos e correntes. A maior parte desta turbulência é de mais curto período do que os períodos de ressonância dos grandes navios atracados, portanto, não excita resposta dinâmica significativa em tais embarcações. Pequenos navios, no entanto, podem responder significativamente diferente, mas as cargas geradas não costumam ser críticas para o projeto estrutural.

Em locais expostos, onde a ação de ondas é grave, a resposta dinâmica da embarcação sobre retenção de linhas de amarração e defensas deve ser determinado por testes de modelo, análise matemática ou outros métodos.

35. Forças devido ao vento

35.1 Norma Brasileira

O esforço devido ao vento sobre um navio pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$R = k \frac{V^2}{1600} (A_T \cos^2 \theta + A_L \sin^2 \theta)$$

Onde:

R = força devida ao vento em kN

V = velocidade característica do vento em m/s

k = coeficiente de forma

A_T = área da seção transversal do navio acima do nível d'água em m^2

A_L = área de seção longitudinal do navio acima do nível d'água em m^2

θ = ângulo formado pela direção do vento com o eixo longitudinal do navio (ver Figura 35.1)

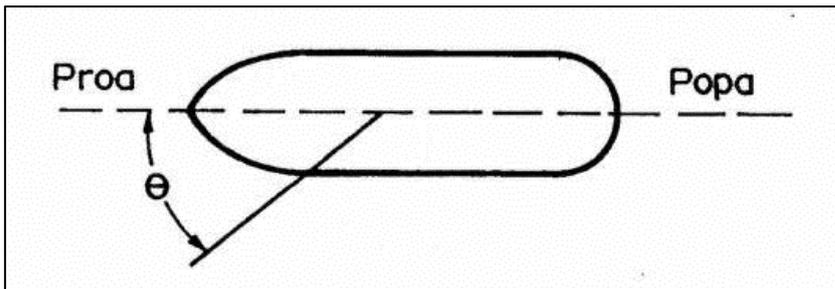


Figura 35.1 – Indicação do ângulo θ FONTE: [2]

Não devem ser consideradas velocidades de vento que provoquem pressões superiores a 1 kN/m^2 .

O coeficiente de forma (k) é variável com a direção do vento e se o navio está em lastro ou totalmente carregado.

O coeficiente de forma pode assumir valores entre 0,6 a 1,30, podendo em média ser adotado um valor de 1,2, ou então obtido de ensaios feitos com modelo reduzido. [2]

35.2 Norma Americana

MOMENTOS OU FORÇAS ESTÁTICAS DEVIDO AO VENTO

Momentos ou forças estáticas devido ao vento em navios estacionários atracados são computados neste capítulo. A Figura 35.2 mostra a definição de alguns dos termos usados neste capítulo. A Figura 35.3 mostra o sistema de coordenadas local. As propriedades da água e do ar são dadas no anexo C.

35.2.1 Força estática transversal de vento

A força estática transversal de vento é definida como a componente de força perpendicular à linha central longitudinal da embarcação. Nos sistema de coordenadas local do navio, esta é a força no sentido "Y" ou direção *sway*. A força de vento transversal é determinado a partir da seguinte equação: [9]

$$F_{yw} = 0,5 \rho_a V_w^2 A_y C_{yw} f_{yw} \{\theta_w\}$$

sendo: F_{yw} = força transversal de vento (newtons)

ρ_a = densidade do ar (kg/m^3 - retirado da tabela C.1)

V_w = velocidade de vento (m/s)

A_y = área longitudinal projetada da embarcação (m^2)

C_{yw} = coeficiente de arraste de força transversal de vento

$F_{yw}\{\theta_w\}$ = função de forma para força transversal

θ_w = ângulo do vento (graus)

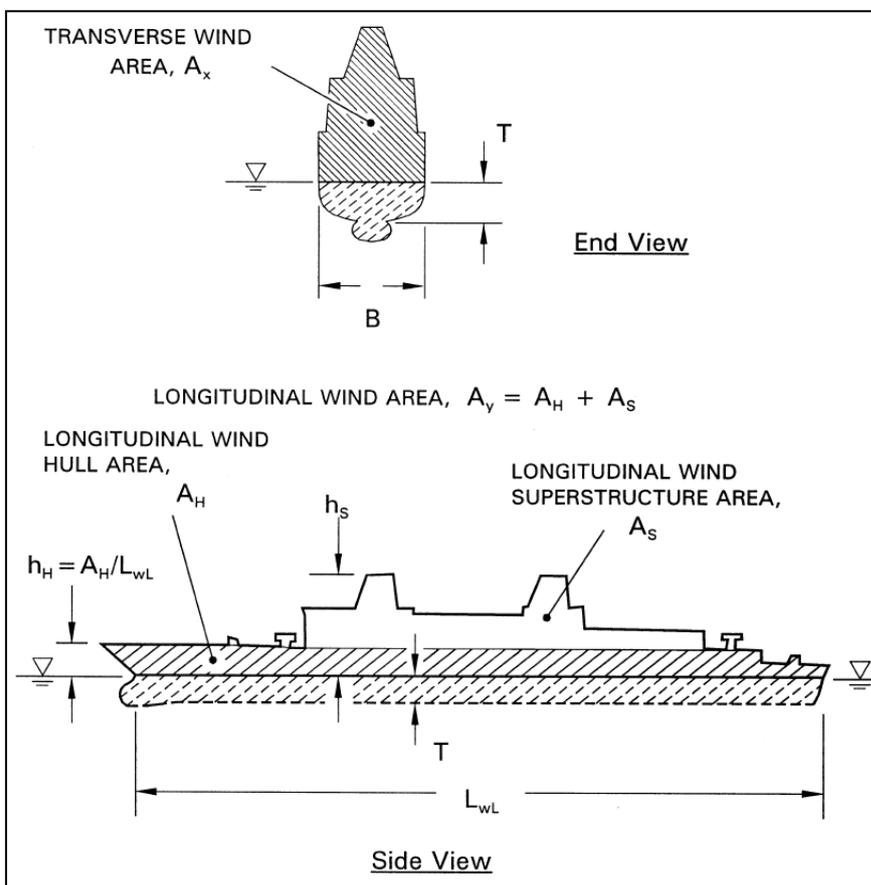


Figura 35.2 – Definição de termos

FONTE: [9]

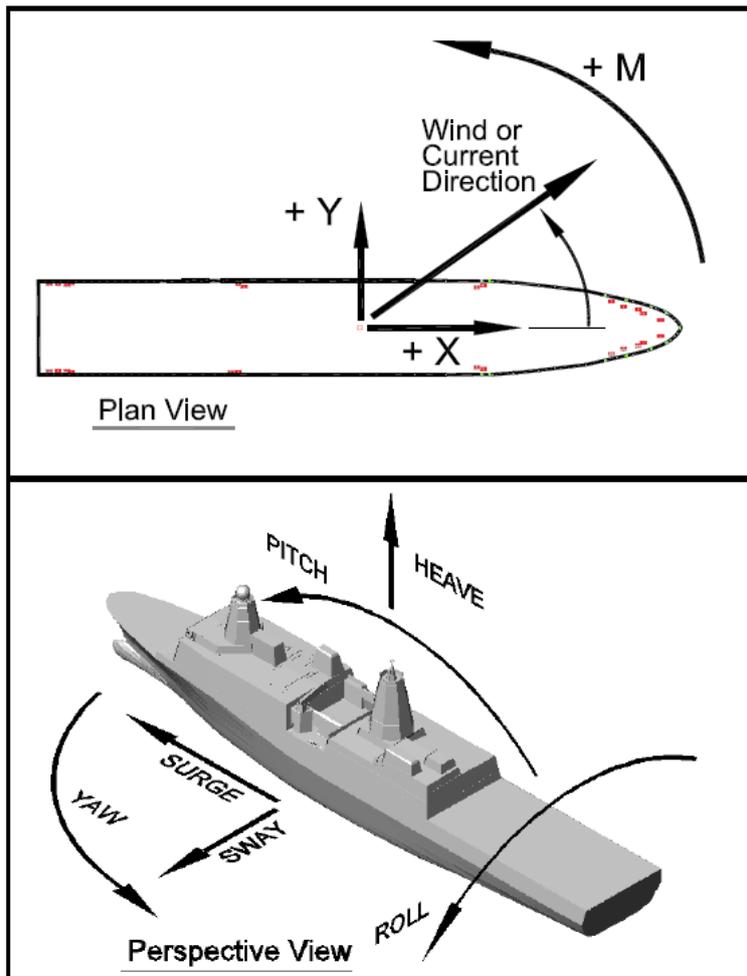


Figura 35.3 – Sistema local de coordenadas para um navio FONTE: [9]

O coeficiente de arraste da força transversal de vento depende do casco e superestrutura da embarcação e é calculado utilizando a seguinte equação:

$$C_{yw} = C * \left[\left((0,5(h_s + h_H)) / h_R \right)^{2/7} A_s + (0,5 * h_H / h_R)^{2/7} A_H \right] / A_y$$

sendo: C_{yw} = coeficiente de arraste de vento transversal

C = coeficiente empírico (ver tabela 35.1)

h_R = 10 m = altura de referência

$h_H = A_H / L_{WL}$ = altura média de casco de navio, definido como a área de vento longitudinal do casco dividida pelo comprimento do navio no nível d'água (m)

A_H = área de vento longitudinal do casco (m^2)

L_{wL} = comprimento do navio no nível d'água (m)

h_s = altura da superestrutura acima do nível d'água (m)

A_S = área de vento longitudinal da superestrutura (m^2)

Um valor recomendado para o coeficiente empírico é $C = 0,92 \pm 0,1$ com base em testes de túnel de vento modelo em escala [11]. A Tabela 35.1 dá valores típicos de C para navios e Figura 35.4 ilustra alguns tipos de navios.

Tabela 35.1 – Exemplos de coeficiente de vento para navios

Navio	C	Notas
Domínio de casco	0,82	Porta-aviões, dique flutuante
Típico	0,92	Navios com superestrutura moderada
Superestrutura extensa	1,02	Contratorpedeiro, cruzador

FONTE: [9]

A função de forma para força transversal de vento [11] é dada por:

$$f_{yw} \{ \theta_w \} = +(\sin \theta_w - 0,05 \times \sin \{ 5\theta_w \}) / 0,95$$

sendo: $f_{yw} \{ \theta_w \}$ = função de forma para vento transversal

θ_w = ângulo do vento (graus)

Equação é positiva para ângulos de vento $0^\circ < \theta_w < 180^\circ$ e negativo para a ângulos de vento $180^\circ < \theta_w < 360^\circ$. A Figura 35.5 mostra a forma e os valores típicos para a equação

Estes dois componentes foram obtidos por meio da integração do vento sobre as áreas de casco e superestrutura para obter velocidades de vento eficazes (NCEL, TN-1628). O exemplo a seguir ilustra os cálculos do coeficiente de arrasto a força do vento transversal

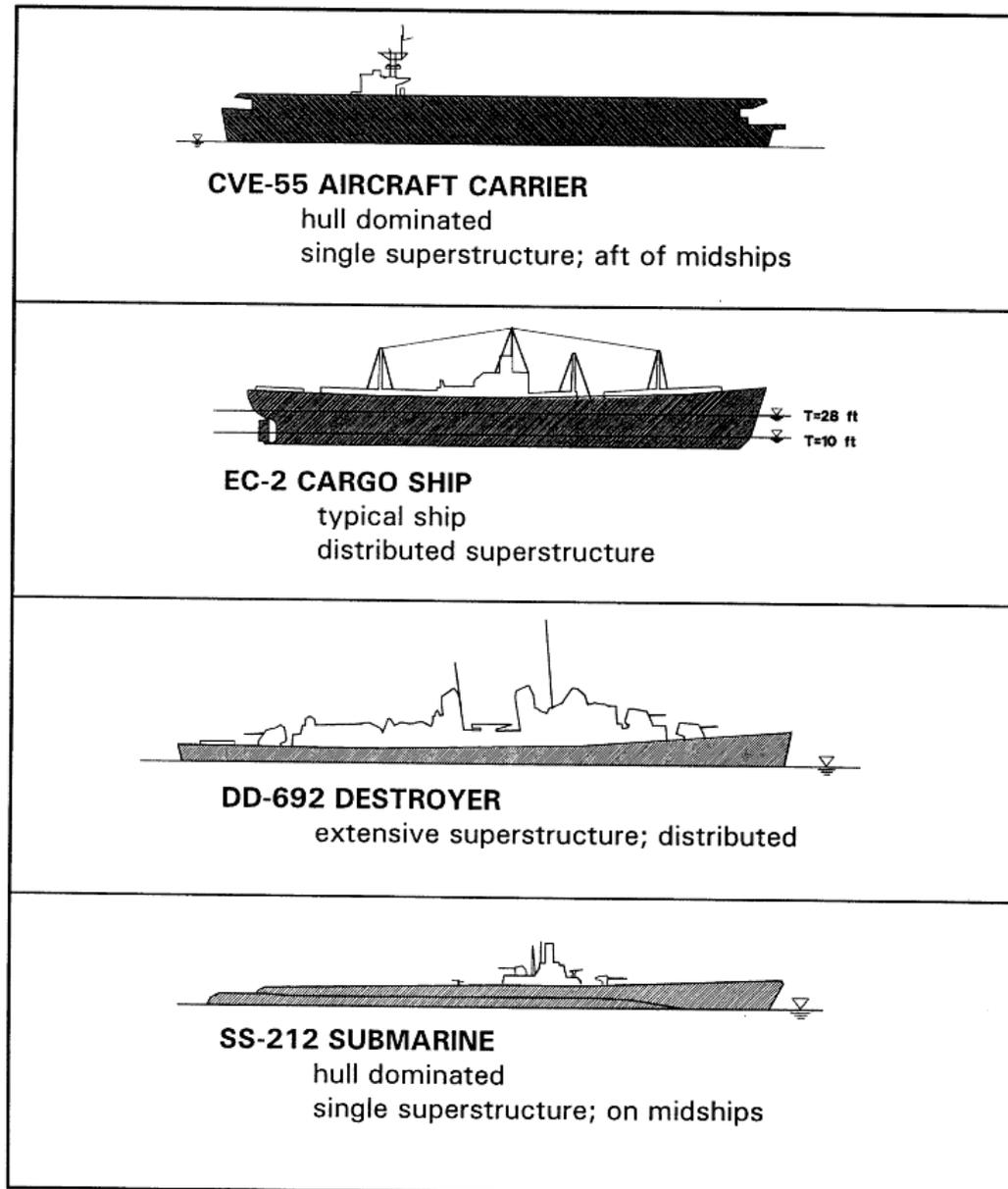


Figura 35.4 – Exemplos de perfis de navios FONTE: [9]

θ_w (deg)	$f_{wy}\{\theta_w\}$	θ_w (deg)	$f_{wy}\{\theta_w\}$
0	0.000	45	0.782
5	0.069	50	0.856
10	0.142	55	0.915
15	0.222	60	0.957
20	0.308	65	0.984
25	0.402	70	0.998
30	0.500	75	1.003
35	0.599	80	1.003
40	0.695	85	1.001
45	0.782	90	1.000

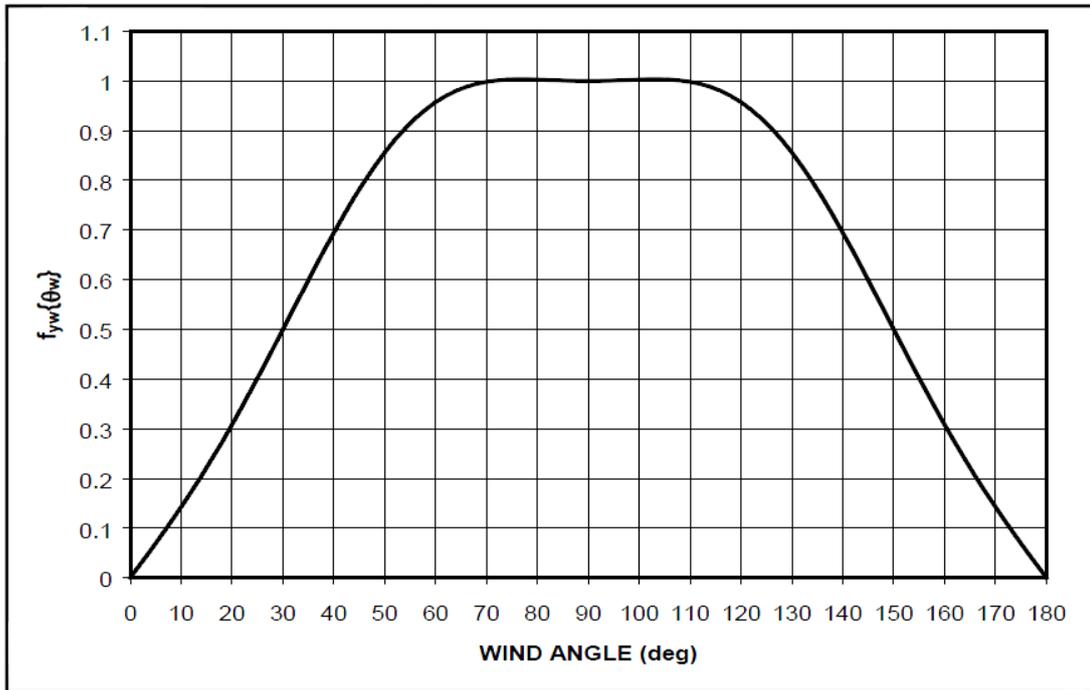


Figura 35.5 – Fator de forma para força transversal de vento FONTE: [9]

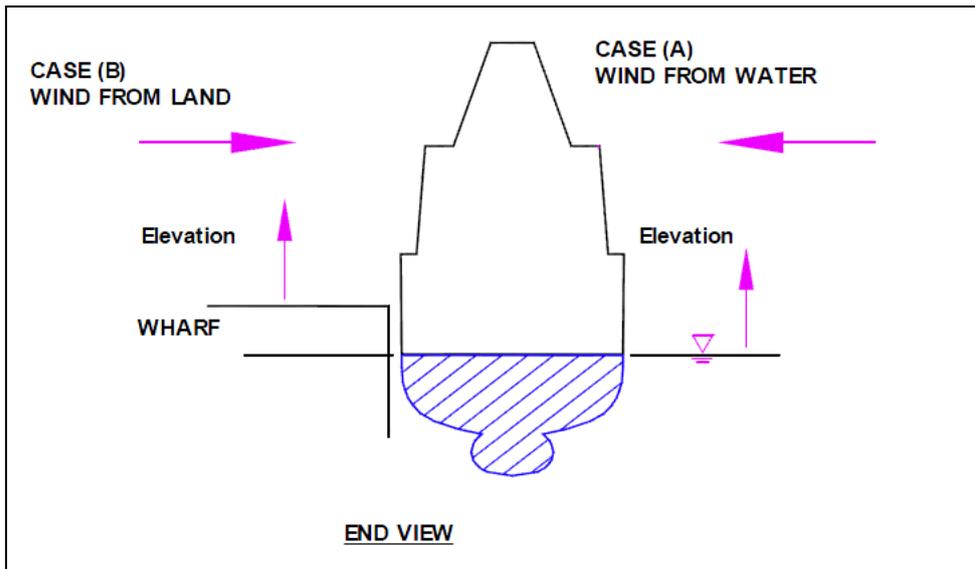


Figura 35.6 – Efeito de bloqueio para uma estrutura impermeável ao lado de um navio atracado FONTE: [9]

35.2.2 Força estática longitudinal de vento

A força estática longitudinal de vento num navio é definida como a componente de força de vento, paralelo à linha do central longitudinal do navio. Esta é a força na direção "X" ou direção de *surge* na Figura 35.2. A Figura 35.3 mostra a definição de áreas de vento.

A força longitudinal é determinada a partir [11], utilizando a equação:

$$F_{xw} = 0,5 \rho_a V_w^2 A_x C_{xw} f_{xw} \{\theta_w\}$$

sendo: F_{xw} = força longitudinal de vento (newtons)

ρ_a = densidade do ar (kg/m^3 - retirado da tabela C.1)

V_w = velocidade de vento (m/s)

A_x = área de vento transversal da embarcação (m^2)

C_{xw} = coeficiente de arraste de força longitudinal de vento

$f_{xw}\{\theta_w\}$ = função de forma para força longitudinal

θ_w = ângulo do vento (graus)

O coeficiente de força de arraste longitudinal de vento, C_{xw} , depende das características específicas do navio, e varia de acordo com as cargas de vento de proa (C_{xwB}) ou de popa (C_{xwS}). Tipos de navios são dados em três classes: domínio de casco, normal, e superestrutura excessiva. Valores recomendados coeficiente de força de arraste longitudinal de vento são apresentados na Tabela 35.2. [9]

Tabela 35.2 – Exemplos de coeficiente de vento para navios

Tipo de navio	C_{xwB}	C_{xwS}
Domínio de casco (porta-aviões, submarinos, passageiros)	0,40	0,40
Normal*	0,70	0,60
Navios-tanque com ilha centrada*	0,80	0,60
Superestrutura significativa (Contratorpedeiro, cruzador)	0,70	0,80

*Um ajuste de até +0,10 para C_{xwB} e C_{xwS} deve ser feito para levar em conta significativa carga ou convés atravancado.

FONTE: [9]

A função de forma longitudinal também varia ao longo do navio entre os carregamentos de popa e proa pelo vento. Como a direção do vento varia de vento de popa até vento de proa, existe um ângulo em que a força muda de sinal. Isto é definido como θ_x e é dependente da localização relativa da superestrutura à meia-nau. Os valores recomendados deste ângulo são dadas na Tabela 35.3.

Tabela 35.3 – Valores recomendados de θ_x

Localização de superestrutura	θ_x (graus)
Logo a frente do centro do navio	100
No centro do navio	90
Após o centro do navio (navios-tanque)	80
Navios de guerra	70
Domínio de casco	60

FONTE: [9]

Funções de forma são dadas para as categorias de navios em geral a seguir:

CASO I Superestrutura de navio com pequena área vélica

A função de forma para a carga de vento longitudinal, para os navios com superestruturas com área vélica pequena e navios dominados pelo casco, é dado abaixo (exemplos incluem porta-aviões e navios de carga):

$$f_{xw}(\theta_w) = \cos(\phi)$$

sendo: $\phi_- = \left(\frac{90^\circ}{\theta_x}\right)\theta_w$ se $\theta_w < \theta_x$

$$\phi_+ = \left(\frac{90^\circ}{180^\circ - \theta_x}\right)(\theta_w - \theta_x) + 90^\circ \quad \text{se } \theta_w > \theta_x$$

θ_x = ângulo de vento incidente que provoca nenhuma força longitudinal

θ_w = ângulo de vento

Valores de $f_{xw}(\theta_w)$ são simétricos a partir do eixo longitudinal do navio. Então quando, $\theta_w > 180^\circ$, usar $360^\circ - \theta_w$ como θ_w para determinar a função de forma.

CASO II Navio com grande área vélica, superestrutura distribuída

A função de forma para a carga de vento longitudinal, para os navios com superestrutura distribuída é:

$$f_{xw}(\theta_w) = \frac{\left(\sin(\gamma) - \frac{\sin(5\gamma)}{10}\right)}{0,9}$$

sendo: $\gamma_- = \left(\frac{90^\circ}{\theta_x}\right)\theta_w + 90^\circ$ se $\theta_w < \theta_x$

$$\gamma_+ = \left(\frac{90^\circ}{180^\circ - \theta_x}\right)(\theta_w) + \left(180^\circ - \left(\frac{90^\circ \theta_x}{180^\circ - \theta_x}\right)\right) 90^\circ \quad \text{se } \theta_w > \theta_x$$

θ_x = ângulo de vento incidente que provoca nenhuma força longitudinal

θ_w = ângulo de vento

Valores de $f_{xw}(\theta_w)$ são simétricos a partir do eixo longitudinal do navio. Então quando, $\theta_w > 180^\circ$, usar $360^\circ - \theta_w$ como θ_w para determinar a função de forma. Note que a máxima força longitudinal de vento para essas embarcações ocorre para direções do vento um pouco fora do eixo longitudinal do navio. [9]

35.2.3 Momento estático de guinada provocada pelo vento

O momento estático de guinada (*yaw*) provocada pelo vento é definida como o produto da força transversal de vento associada e sua distância até o centro de gravidade do navio. No sistema de coordenadas local do navio, este é o momento em torno do eixo "Z". Momento de guinada provocado pelo vento é determinada a partir da equação:

$$M_{xyw} = 0,5 \rho_a V_w^2 A_y L C_{xyw} \{\theta_w\}$$

sendo: M_{xyw} = momento de guinada provocada pelo vento (newtons × m)

ρ_a = densidade do ar (kg/m³ - retirado da tabela C.1)

V_w = velocidade de vento (m/s)

A_y = área longitudinal projetada da embarcação (m²)

L = comprimento da embarcação

$C_{xyw}\{\theta_w\}$ = coeficiente de momento de guinada normalizado

θ_w = ângulo do vento (graus)

O coeficiente de momento de guinada normalizado depende do tipo de navio. A equação de M_{xyw} fornece equações para calcular o valor do coeficiente de momento de guinada e a tabela 35.4 indica os valores empíricos de parâmetros selecionados para certos tipos de navios. A variável de momento de guinada normalizada é encontrado a partir de:

$$C_{xyw}\{\theta_w\} = -a1 * \sin\left(\frac{\theta_w * 180}{\theta}\right) \quad 0 < \theta_w < \theta_z$$

$$C_{xyw}\{\theta_w\} = a2 * \sin[(\theta_w - \theta_z) * \Lambda] \quad \theta_z < \theta_w < 180^\circ$$

e simétrico em relação ao eixo longitudinal do navio,

sendo: $C_{xyw}\{\theta_w\}$ = coeficiente de momento de guinada normalizado

$a1$ = valor de pico negativo (da tabela 35.4)

$a2$ = valor de pico positivo (da tabela 35.4)

θ_w = ângulo de vento (graus)

θ_z = ângulo de momento zero (graus) (da tabela 35.4)

$$\lambda = \left(\frac{180^\circ}{180^\circ - \theta_z} \right) (\text{adimensional})$$

θ_x = ângulo de vento incidente que provoca nenhuma força longitudinal

Tabela 35.4 – Variáveis para momento de guinada normalizado

Tipo de Navio	Ângulo de momento zero (θ_z)	Pico negativo (a1)	Pico positivo (a2)	Notas
Embarcações comerciais	80	0,075	0,14	
Porta-aviões	90	0,068	0,072	
Navio-tanque	95	0,077	0,07	Ilha central com convés <i>atravancado</i>
Navio-tanque	100	0,085	0,04	Ilha central com convés livre
Cruzador	90	0,064	0,05	
Contratorpedeiro	68	0,02	0,12	
Outros:	130	0,13	0,025	superestrutura na popa
	102	0,096	0,029	superestrutura entre popa e centro de navio
	90	0,1	0,1	superestrutura na parte central
	75	0,03	0,05	superestrutura entre proa e centro de navio
	105	0,18	0,12	superestrutura na proa

FONTE: [9]

35.3 Norma Britânica

Ações de vento e maré variam consideravelmente, tanto em tipos e tamanhos do embarcação, e são melhores estabelecidos por testes de modelos em escala. Em particular, a ação do vento sobre navios porta-contêineres e outras embarcações com laterais altas são muito influenciados pelo projeto detalhado de proa do navio, enquanto gigantes petroleiros mostram variações acentuadas na força longitudinal, dependendo da concepção da proa.

O método de cálculo que se segue deve portanto, ser usado apenas como um guia para a magnitude de ação do vento e correntes sobre navios. Quando essas forças são fundamentais para o projeto, a referência deve ser feita, se possível, para os resultados dos testes em modelo do navio em causa, ou pelo menos navios semelhantes.

As ações globais de vento e de corrente podem ser descritos ou por ações longitudinal e transversal combinadas com um momento sobre o eixo vertical, todas atuando no centro da embarcação, ou por duas forças transversais, uma em cada perpendicular, combinada com uma força longitudinal. Este último método foi adotado para este padrão e a magnitude e sentido das forças pode ser avaliada usando as expressões indicadas como se segue. Para as ações do vento

$$F_{TW} = C_{TW} \rho_A A_L V_W^2 \times 10^{-4}$$

$$F_{LW} = C_{LW} \rho_A A_L V_W^2 \times 10^{-4}$$

sendo: F_{TW} = força transversal de vento, frontal (forward) ou de ré (aft) em kilonewtons (kN);

F_{LW} = é a força longitudinal de vento, em kilonewtons (kN);

C_{TW} = é o coeficiente de força de vento transversal frontal ou de ré;

C_{LW} = é o coeficiente de força de vento longitudinal

ρ_A = densidade do ar em kg/m^3 e pode variar de $1.309,6 \text{ kg/m}^3$ à 0°C até $1.170,3 \text{ kg/m}^3$ à 30°C ;

A_L = é a área longitudinal projetada do navio acima da linha de superfície da água em metros quadros (m^2);

V_W = é a velocidade de vento de projeto em m/s a uma altura de 10 m acima do nível da água.

Os valores de coeficientes de força do vento são dadas nas Figuras 35.7 35.8 e 35.9 para vários ângulos de incidência de vento para vários tipos de embarcação, tanto no condição em lastro e condição carregada.

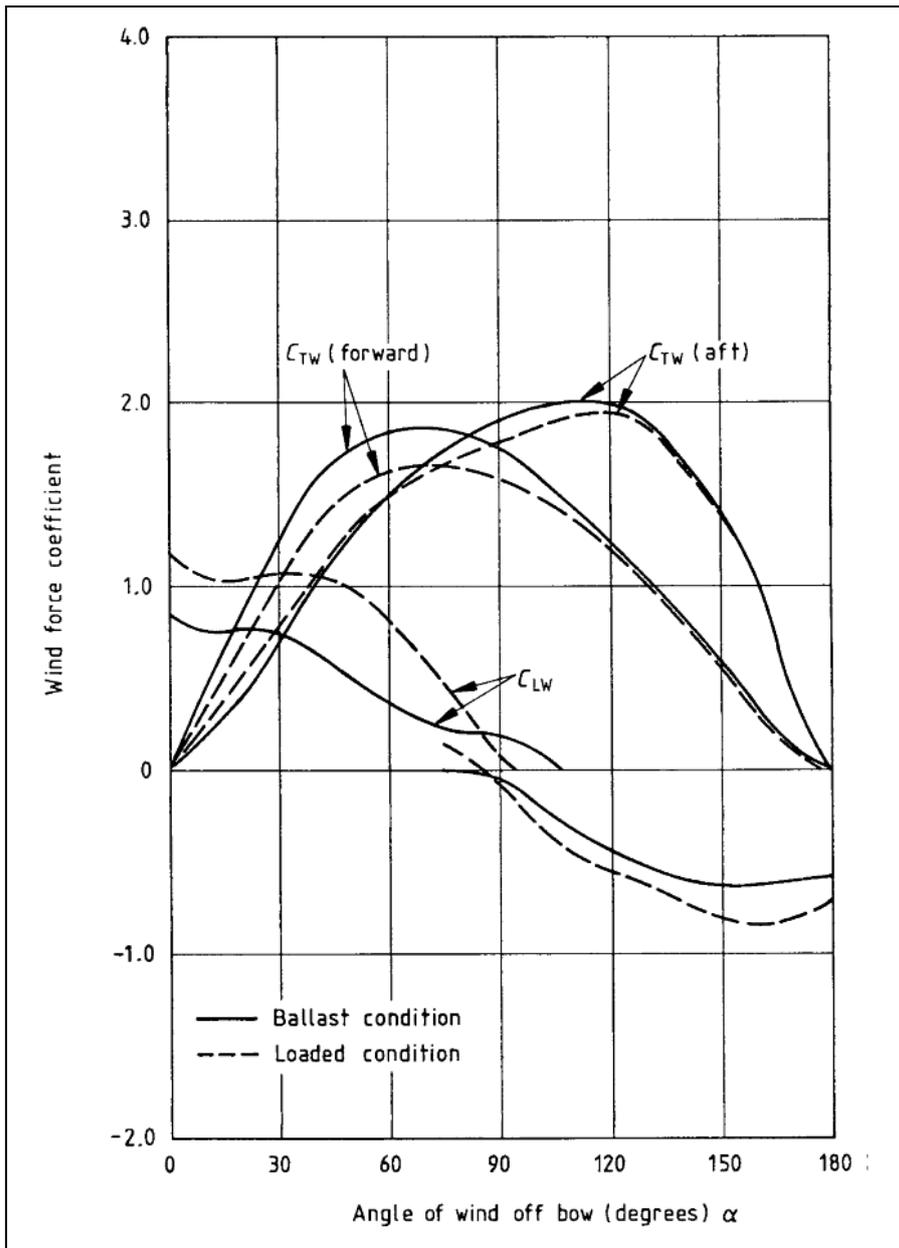


Figura 35.7 – Coeficientes de força de vento para mercadoria seca e pequenos navios-tanque FONTE: [5]

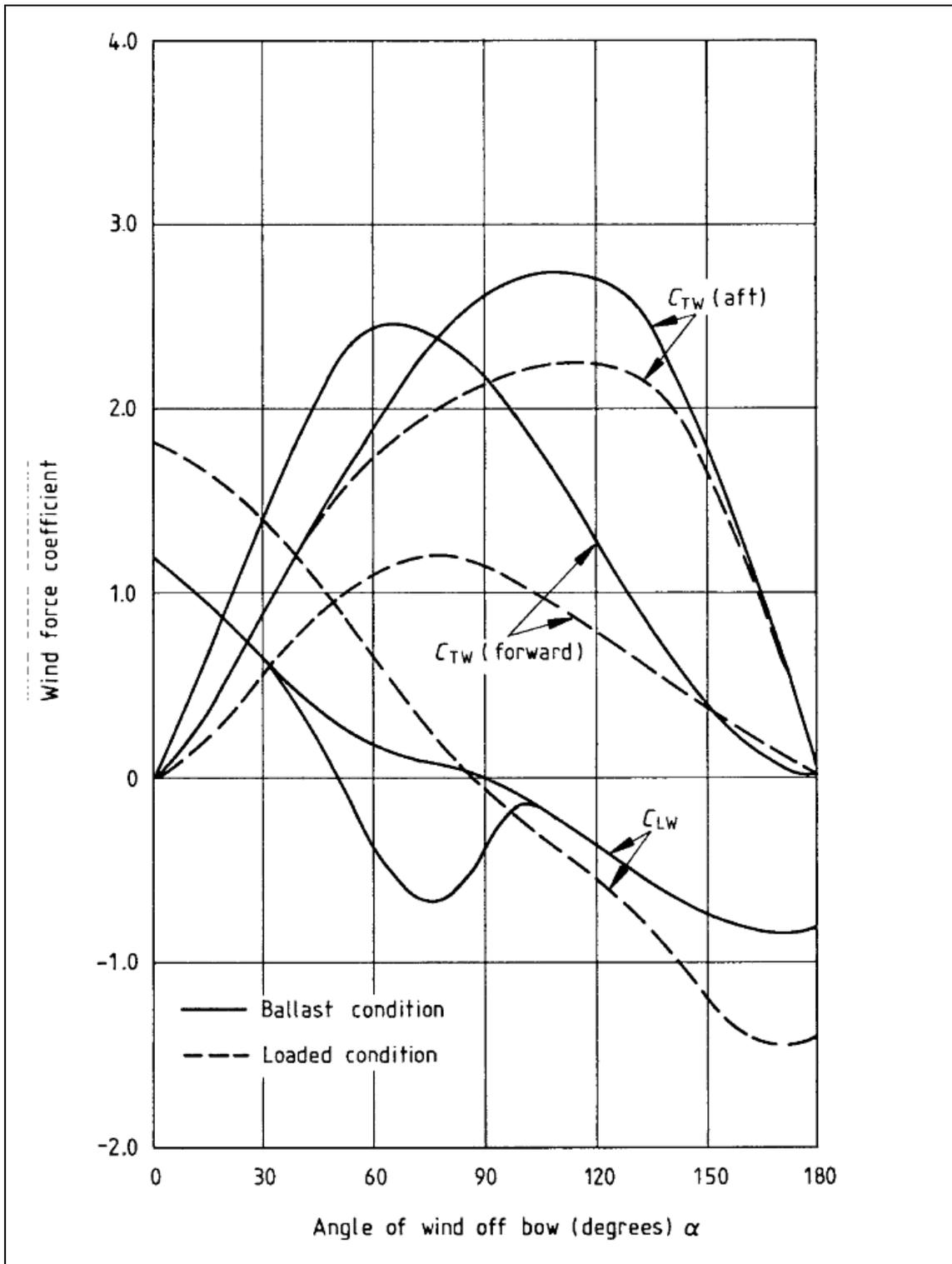


Figura 35.8 – Coeficientes de força de vento para embarcações muito grandes com superestrutura na parte traseira FONTE: [5]

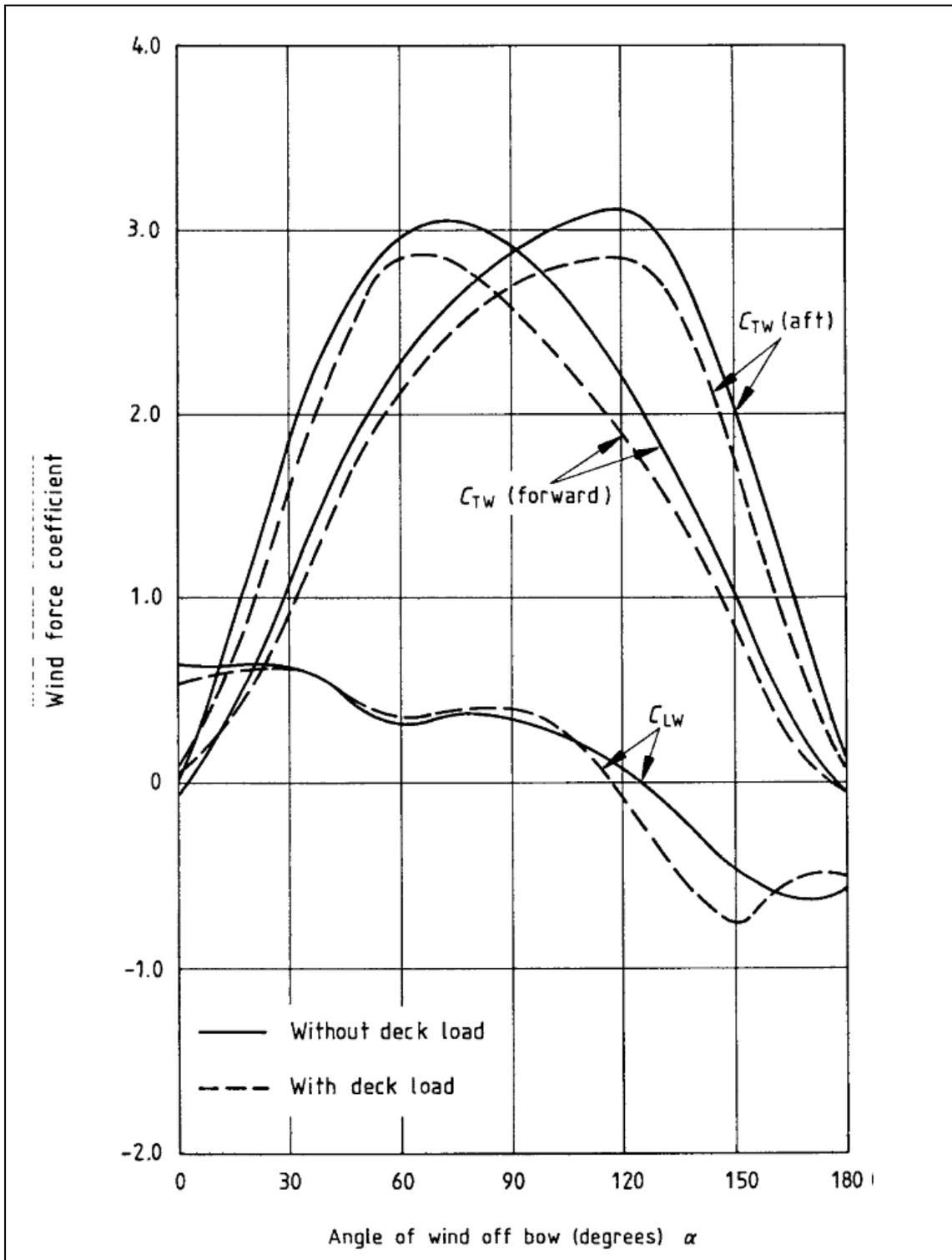


Figura 35.9 – Coeficientes de força de vento para típico navio porta-contêineres

FONTE: [5]

36. Forças devidas às correntes

36.1 Norma Brasileira

O esforço devido às correntes sobre um navio pode ser calculado pela expressão:

$$R = 0,528 V^2 LDk$$

Onde:

R = valor do esforço na direção da corrente em kN

k = coeficiente de forma

V = velocidade da corrente em m/s

L = comprimento do navio entre perpendiculares em m

D = calado da embarcação em m

O valor do coeficiente de forma depende essencialmente da direção da corrente e da relação entre o calado da embarcação e a altura do nível da água no local (h).

Os valores aproximados de (k) a serem assumidos podem ser retirados da tabela 5 a seguir ou obtidos a partir de ensaios em modelo reduzido.

Tabela 36.1 – Valores aproximados do coeficiente de forma – (k)

θ (A) \ h/D	0°	20°	40°	60°	80°	90°
1,1	0,0	1,2	3,1	4,1	4,6	4,7
1,5	0,0	0,5	1,3	2,0	2,3	2,3
4,0	0,0	0,2	0,6	0,8	0,9	0,9

FONTE: [2]

θ (A) Ângulo formado pela direção da corrente com o eixo longitudinal do navio.

Nota: Valores intermediários podem ser interpolados linearmente.

Para o cálculo dos esforços de amarração longitudinal, mesmo no caso de alinhamento do navio com a corrente, deve ser considerada a possibilidade de variação da direção da corrente de, no mínimo, aproximadamente 20°. [2]

36.2 Norma Americana

MOMENTO OU FORÇA ESTÁTICO DEVIDO A CORRENTE

Métodos para determinar as forças e momentos estáticos devido à corrente em navios estacionários fixos à obras acostáveis nas direções avanço (*surge*) e deriva (*sway*) e momentos de guinada (*yaw*) são apresentados nesta seção. Estas direções planas são de primordial importância em muitos projetos de amarração. [9]

36.2.1 Força estática transversal de corrente

A força transversal de corrente é definida como a componente de força perpendicular à linha central longitudinal da embarcação. Se um navio tem grande pé de piloto (folga entre a quilha e o fundo do canal), a água pode fluir livremente sob a quilha, como se mostra na Figura 36.1 (a). Se a folga entre o calado e o fundo do canal é pequena, como mostrado na Figura 36.1 (b), então o navio bloqueia mais efetivamente o fluxo de corrente, e a força transversal de corrente no navio aumenta. Estes efeitos são considerados e a força transversal de corrente é determinado a partir da equação:

$$F_{yc} = 0,5 \rho_w V_c^2 A_x L_{wL} T C_{yc} \sin \theta_c$$

sendo: F_{yc} = força transversal de corrente (newtons)

ρ_w = densidade da água (retirado da tabela C.1)

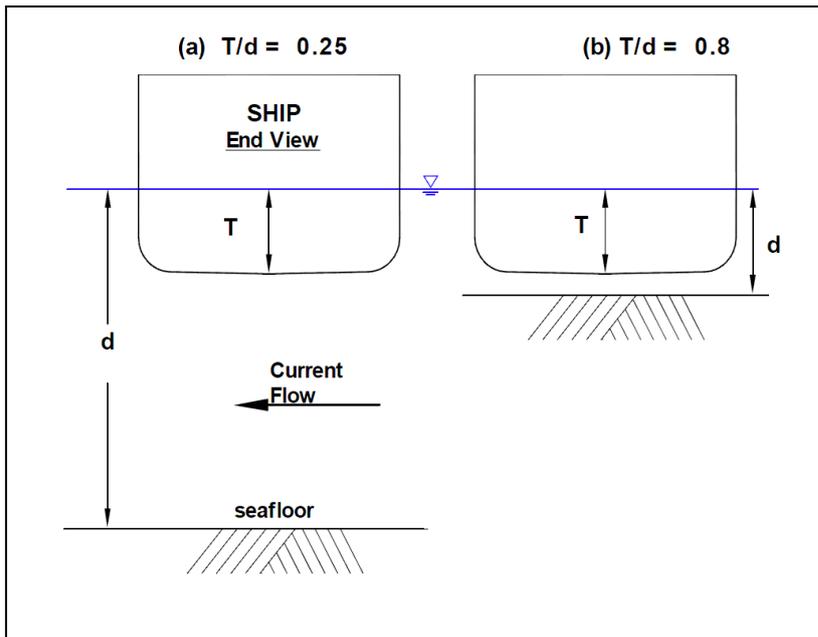
V_c = velocidade da corrente (m/s)

L_{wL} = comprimento de embarcação no nível d'água (m)

T = calado médio (m)

C_{yc} = coeficiente de arraste para força transversal de corrente

θ_c = ângulo de corrente (graus)



Exemplos de relação entre calado (T) e profundidade de água (d)

FONTE: [9]

O coeficiente de arraste para força transversal de corrente como formulado em [12] é mostrado na Figura 36.2. Este coeficiente de arraste pode ser determinada a partir de:

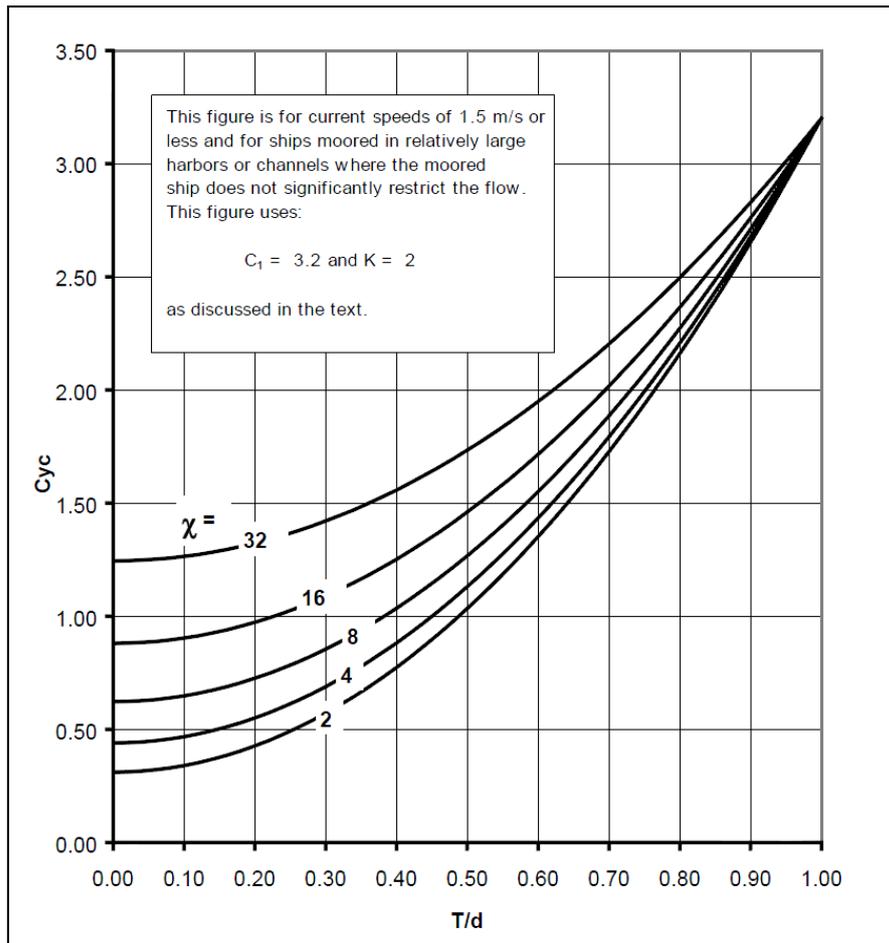


Figura 36.2 – Coeficiente de arraste para corrente transversal

FONTE: [9]

$$C_{yc} = C_0 + (C_1 - C_0) * (T/d)^K$$

sendo: C_0 = coeficiente de arraste para força de corrente em águas profundas para $T/d \approx 0,0$

$$\text{estimado como: } C_0 = 0,22 * \sqrt{X}$$

sendo X um parâmetro adimensional do navio calculado por:

$$X = L_{wL}^2 * A_m / (B * V)$$

sendo: L_{wL} = comprimento de embarcação no nível d'água (m)

A_m = área submersa de seção transversal de meia-nau do navio (m²)

B = boca de navio no nível d'água (m)

V = volume submergido do navio (m^3) que pode ser encontrado dividindo o deslocamento da embarcação pelo peso específico da água (fornecido na tabela 4-1)

C_1 = coeficiente de arraste para força de corrente em águas rasas, onde $T/d = 1,0$; para correntes de 1,5 m/s (2,9 nós) ou menos; $C_1 = 3,2$ é recomendado

T = calado médio (m)

d = profundidade da água (m)

K = expoente adimensional; dados de laboratório com modelagem de navios demonstram:

$K = 2$ grande variedade de testes com navios e chatas; a quase totalidade dos dados de modelagem física disponível podem ser ajustados com este coeficiente, incluindo submarinos.

$K = 3$ a partir de uma pequena quantidade de testes em navios de carga fixados e pequena quantidade de testes em porta-aviões antigo.

$K = 3$ a partir de uma pequena quantidade de testes em casco de antigo submarino

A área submersa da secção transversal de meia-nau do navio, A_m , pode ser determinada a partir de:

$$A_m = C_m * B * T$$

Os valores do coeficiente de meia-nau, C_m , são fornecidos no *Ships Characteristics Database* (SCDB) pode ser encontrado em: <http://www.wbdg.org/tools/ships.php?u=7> para navios.

Os métodos acima para determinar a força de corrente transversal são recomendados para as condições normais de projeto com velocidades de corrente moderadas de 1,5 m/s (2,9 nós) ou menos e em canais e portos relativamente largos.

Se o navio estiver atracado perpendicularmente à correntes superiores a 1,5 m/s (2,9 nós), dados de modelo em escala de laboratório mostram que pode haver significativo jogo (*roll*) de navio, o que aumenta efetivamente a força de arraste sobre a embarcação.

Em alguns testes de modelo em águas rasas e em altas velocidades de corrente este efeito foi tão pronunciada que o navio modelo soçobrou. Atracação de navio em perpendicular com correntes altas deve ser evitado, se possível.

Testes de modelos físicos em escala mostram que um navio atracado com a corrente em perpendicular em um canal restrito aumentam as forças de corrente. Isto é porque o navio diminui a área de fluxo efectiva de um canal restringido, o que faz com que a velocidade e força de corrente aumentem.

36.2.2 Força estática longitudinal de corrente para navios

A força longitudinal de corrente é definida como a componente de força paralelo ao eixo longitudinal da embarcação. Esta força é determinada para embarcações com forma de navio hidrodinâmicas simplificados a partir da seguinte equação desenvolvida por [13].

$$F_{xc} = F_{x\text{FORM}} + F_{x\text{FRICTION}} + F_{x\text{PROP}}$$

sendo: F_{xc} = força total longitudinal de corrente (newtons)

$F_{x\text{FORM}}$ = força longitudinal de corrente devido ao arraste de forma (newtons)

$F_{x\text{FRICTION}}$ = força longitudinal de corrente devido ao atrito de pele (newtons)

$F_{x\text{PROP}}$ = força longitudinal de corrente devido ao arraste de hélice (newtons)

Os três elementos da equação serão descritos abaixo:

$F_{x\text{FORM}}$ = força longitudinal de corrente devido ao arraste de forma (newtons)

$$F_{x\text{FORM}} = \frac{1}{2} \rho_w V_c^2 B T C_{xcb} \cos(\theta_c)$$

sendo: ρ_w = densidade da água (da tabela 35.1)

V_c = velocidade da corrente (m/s)

B = boca de navio no nível d'água (m)

T = calado médio (m)

C_{xcb} = coeficiente de arraste de forma para corrente longitudinal

θ_c = ângulo de corrente (graus)

$F_{\text{xFRICTION}}$ = força longitudinal de corrente devido ao atrito de pele (newtons)

$$F_{\text{xFRICTION}} = \frac{1}{2} \rho_w V_c^2 S C_{xca} \cos(\theta_c)$$

sendo: ρ_w = densidade da água (na tabela 35.1)

V_c = velocidade da corrente (m/s)

S = área de superfície molhada (m^2); estimar usando

$$S = 1,7 T L_{wL} + \left(\frac{D}{T \gamma_w} \right)$$

T = calado médio (m)

θ_c = ângulo de corrente (graus)

L_{wL} = comprimento de embarcação no nível d'água (m)

D = deslocamento de navio (newtons)

γ_w = peso específico da água (da tabela 35.1)

C_{xca} = coeficiente de atrito de pele longitudinal, estimado por:

$$C_{xca} = 0,075 / ((\log_{10} R_n) - 2)^2$$

R_N = número de Reynolds

$$R_n = \left| \frac{V_c L_{wL} \cos \theta_c}{\nu} \right|$$

ν = viscosidade cinemática da água, da tabela 35.1

F_{xPROP} = força longitudinal de corrente devido ao arraste de hélice (newtons)

$$F_{\text{xPROP}} = \frac{1}{2} \rho_w V_c^2 A_p C_{PROP} \cos(\theta_c)$$

sendo: ρ_w = densidade da água (na tabela 35.1)

V_c = velocidade da corrente (m/s)

A_p = área de pá expandida de hélice (m^2)

C_{PROP} = coeficiente arraste de hélice = 1,0

θ_c = ângulo de corrente (graus)

$$A_p = \frac{A_{Tpp}}{1,067 - 0,229 (p/d)} = \frac{A_{Tpp}}{0,838}$$

A_{Tpp} = área total projetada de hélice (m^2)

assumindo um fator de arfagem de hélice como $p / d = 1,0$

$$A_{Tpp} = \frac{L_{wL} B}{A_R}$$

A_R = fator adimensional para área de hélice. Valores típicos apresentados na tabela 36.2

Tabela 36.2 – Valores de A_R para diferentes tipos de embarcações

Navio	Relação de área, A_R
Contratorpedeiro	100
Cruzador	160
Porta-aviões	125
Carga	240
Navio-tanque	270
Submarino	125

FONTE: [9]

Note que nestes e em todos os outros cálculos de engenharia discutidos nesta norma, o usuário deve ter cuidado para manter as unidades consistentes.

36.2.3 Momento estático de guinada provocada por corrente

O momento estático de guinada (*yaw*) provocada por corrente é definida como a componente de momento atuando sobre o eixo vertical "Z" do navio. Este momento é determinado a partir da equação:

$$M_{xyc} = F_{yc} \left(\frac{e_c}{L_{wL}} \right) L_{wL}$$

sendo: M_{xyc} = momento de guinada provocada pela corrente (newtons \times m)

F_{yc} = força transversal de corrente (newton)

$\frac{e_c}{L_{wL}}$ = razão entre excentricidade e comprimento de embarcação no nível d'água
(m)

e_c = excentricidade de F_{yc} (m)

L_{wL} = comprimento de embarcação no nível d'água (m)

O braço de momento adimensional $\frac{e_c}{L_{wL}}$ é calculada escolhendo-se as variáveis declive e interceptação de y a partir da Tabela 36.3, e são funções do casco navio. O braço de momento adimensional é dependente do ângulo da corrente com o navio, como mostrado na equação:

$$\frac{e_c}{L_{wL}} = a + b * \theta_c \quad \theta_c = 0^\circ \text{ a } 180^\circ$$

$$\frac{e_c}{L_{wL}} = a + (b * (360^\circ - \theta_c)) \quad \theta_c = 180^\circ \text{ a } 360^\circ$$

sendo: $\frac{e_c}{L_{wL}}$ = razão entre excentricidade e comprimento de embarcação no nível d'água
(m)

a = interceptação de y (ver Tabela 36.3)

b = *slope* por grau (ver Tabela 36.3)

θ_c = ângulo de corrente (graus)

Os métodos acima para determinar a razão de excentricidade são recomendados para projeto de condições normais com velocidades de corrente moderadas, menores que 1,5 m/s (3 nós) . Os valores apresentados na Tabela 36.3 são baseados em mínimos quadrados de ajuste de dados de modelo em escala tomadas para o caso de navios com quilhas planas.

Tabela 36.3 – Variáveis para determinar razão de ecentricidade para momentos devido a correntes

<i>Navio</i>	<i>a</i> <i>Interceptação de y</i>	<i>b</i> <i>Declive por grau</i>	<i>Notas</i>
Series 60	- 0,291	0,00353	Forma de casco típico de navios de carga
FFG	- 0,201	0,00221	Casco “arredondado” típico de navios de guerra
CVE-55	- 0,168	0,00189	Porta-aviões antigo
SS-212	- 0,244	0,00255	Submarino antigo

FONTE: [9]

36.2.4 Forças e momentos de vento e corrente em múltiplos navios.

Se os navios estão atracados em proximidade um do outro, o navio próximo(s) pode influenciar as forças e momentos em um determinado navio. A melhor informação disponível sobre os efeitos de navios próximos são os resultados de testes de modelos físicos, porque os processos físicos envolvidos são altamente complexos. [9]

36.3 Norma Britânica

As forças longitudinais de correntes são muito dependente da escala. Isto é ilustrado na Figura 36.3.

Para ações de corrente:

$$F_{TC} = C_{TC} C_{CT} \rho L_{BP} d_m V_c'^2 \times 10^{-4}$$

$$F_{LC} = C_{LC} C_{CL} \rho L_{BP} d_m V_c'^2 \times 10^{-4}$$

sendo: F_{TC} = é a força transversal de corrente frontal ou de popa em kilonewtons (kN);

F_{LC} = é a força longitudinal de corrente em kilonewtons (kN);

C_{TC} = é o coeficiente da força de arraste transversal de corrente frontal ou de ré;

C_{LC} = é o coeficiente de ação de arraste de corrente longitudinal;36.

C_{CL} = é o fator de correção da profundidade para ações de corrente longitudinal;

C_{CT} = é o fator de correção da profundidade para ações de correntes transversais;

ρ = densidade da água em kg/m^3 e pode ser tomado como 1.000 kg/ m^3 para água doce e 1.025 kg/ m^3 para água do mar;

L_{BP} = comprimento entre perpendiculares da embarcação em metros;

d_m = calado média da embarcação em metros (m);

Vc' = velocidade média de corrente, resolvida na direção considerado acima da profundidade média da embarcação, em metros por segundo (m/s).

Os valores de coeficientes de arraste para ação das correntes são dadas na Figura 36.3 e os fatores de correção para efeito de águas rasas é dado nas Figuras 36.4 e 36.5.

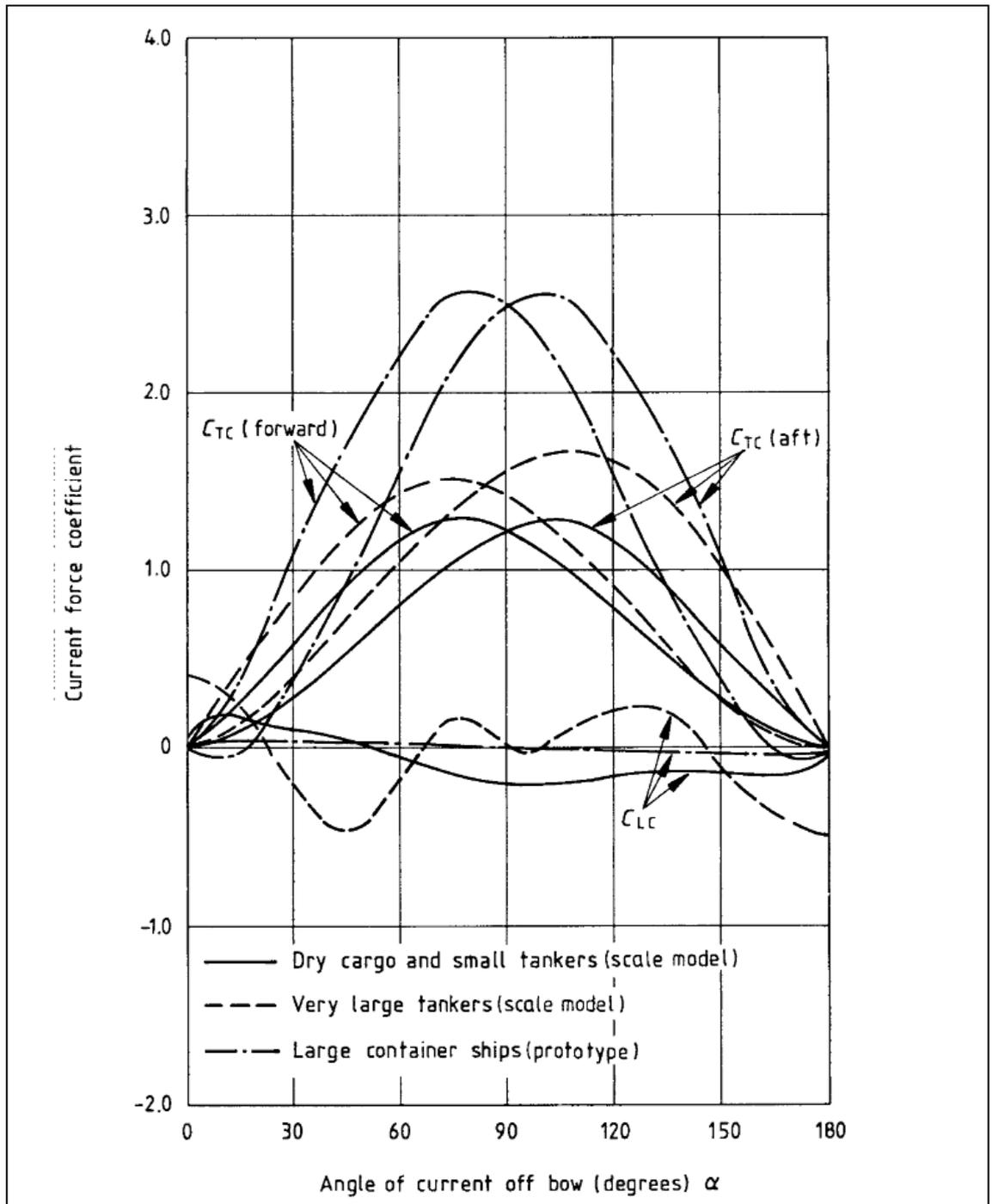


Figura 36.3 – Coeficiente de força de arraste de corrente para todas as embarcações, no caso de águas profundas FONTE: [5]

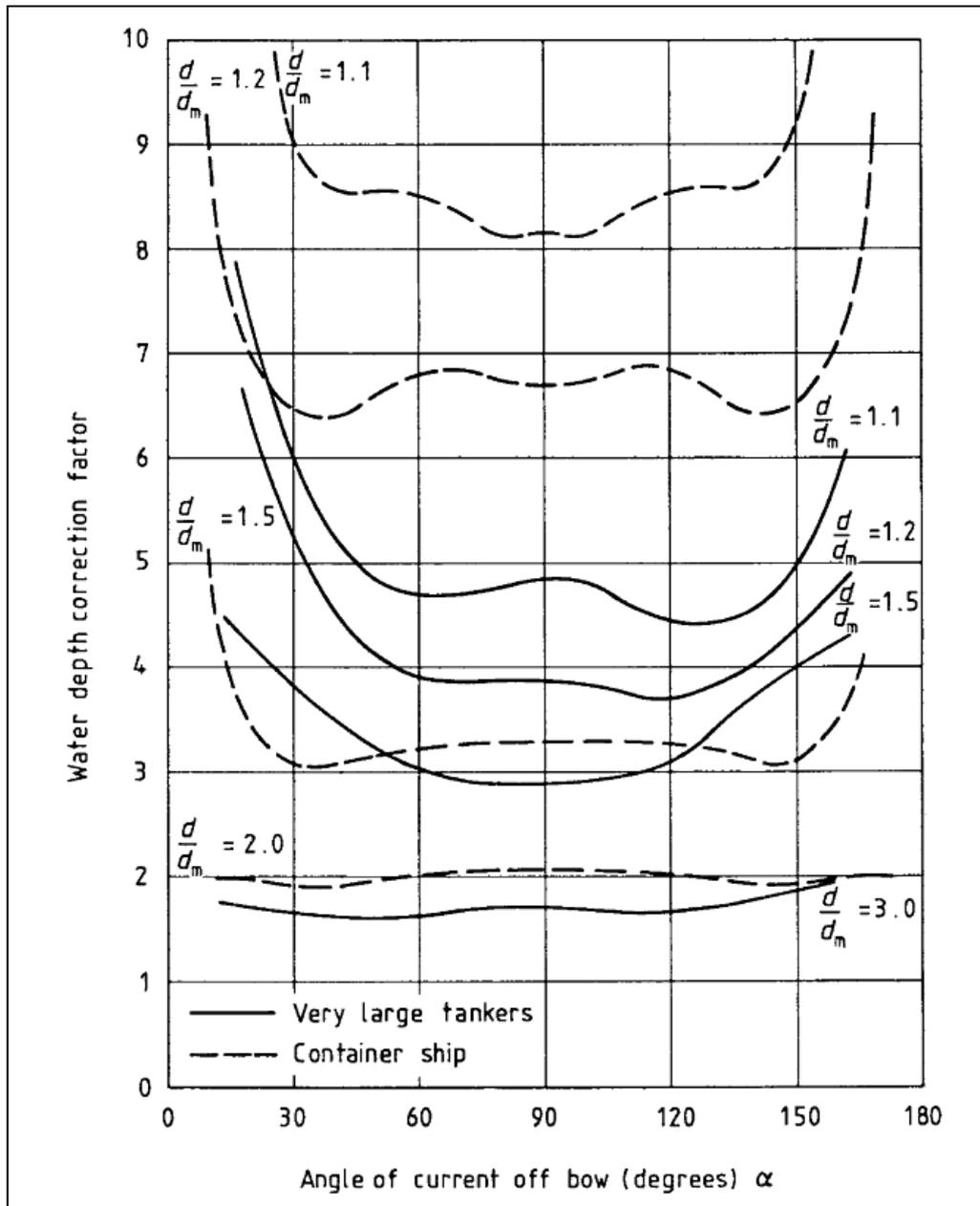


Figura 36.4 – Fator de correção de profundidade d’água para forças transversais de corrente FONTE: [5]

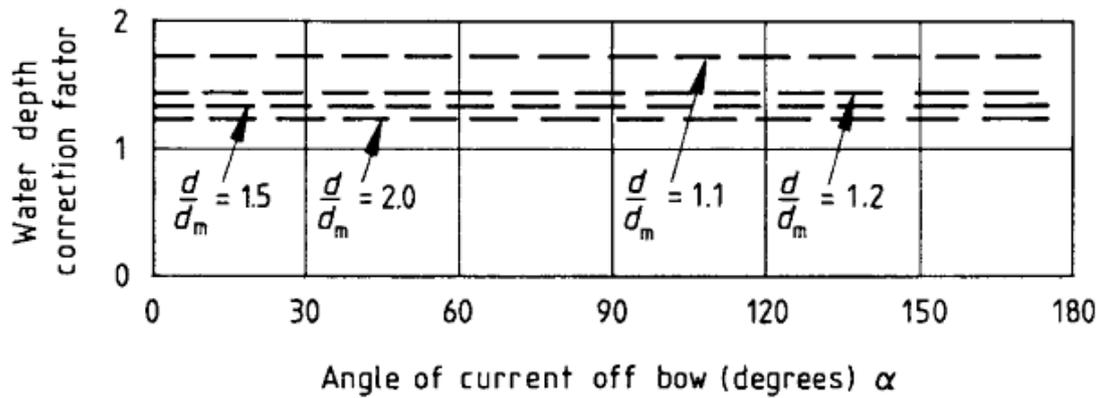


Figura 36.5 – Fator de correção de profundidade d’água para forças longitudinais de corrente em navios porta-contêineres FONTE: [5]

Para navios de grande porte como o VLCCs, tanto a magnitude da força longitudinal e a sua direção mudam com a diminuição da profundidade e fatores de correção tornam-se difíceis de aplicar. A força total continua pequena em comparação com as forças transversais conforme a profundidade diminui, pelo menos, até a proporção entre profundidade e calado reduzir para 1,1. A Figura 36.6 mostra os valores de coeficientes de força que podem ser aplicados com diferentes ângulos de incidência de corrente, desde o caso de águas profundas até o caso de proporção entre profundidade e calado sendo 1,1. Os valores típicos para os comprimentos, calado e área lateral de navios graneleiros e navios porta-contêineres são dadas nas Figuras 36.7, 36.8 e 36.9. Estes dados podem ser tomados como guias para os valores a ser inserido no expressões dada em 40.3, mas, para os projetos de obras, é recomendável que as características das reais embarcações que visitam o berço sejam utilizados. [5]

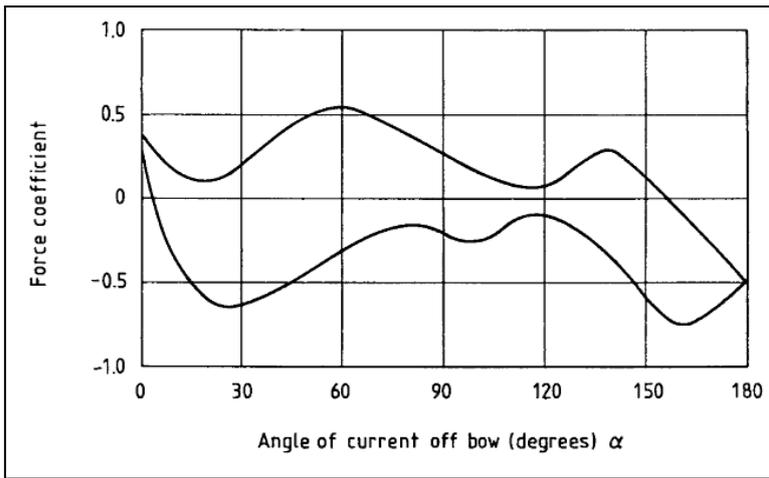


Figura 36.6 – Envelope de coeficientes de força longitudinal para VLCCs em águas rasas FONTE: [5]

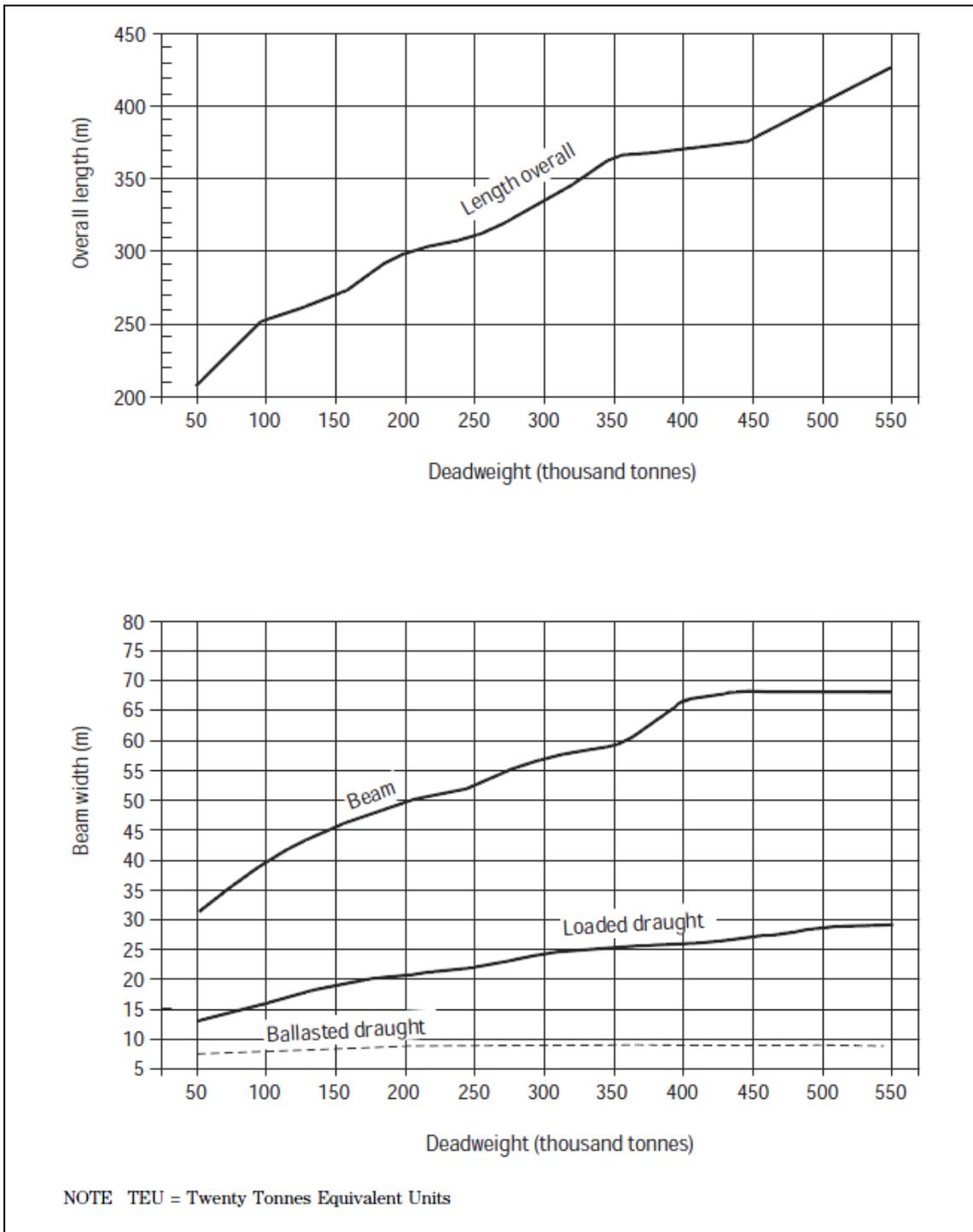


Figura 36.7 – Típicas dimensões de navio graneleiro

FONTE: [5]

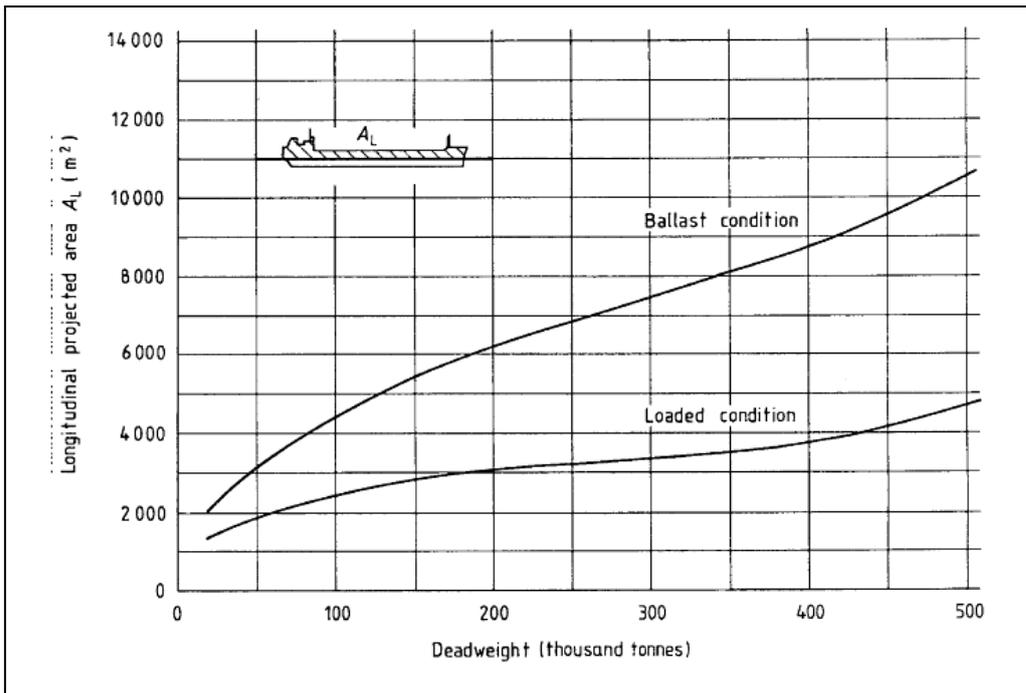


Figura 36.8 – Típica área longitudinal projetada de navios-tanque FONTE: [5]

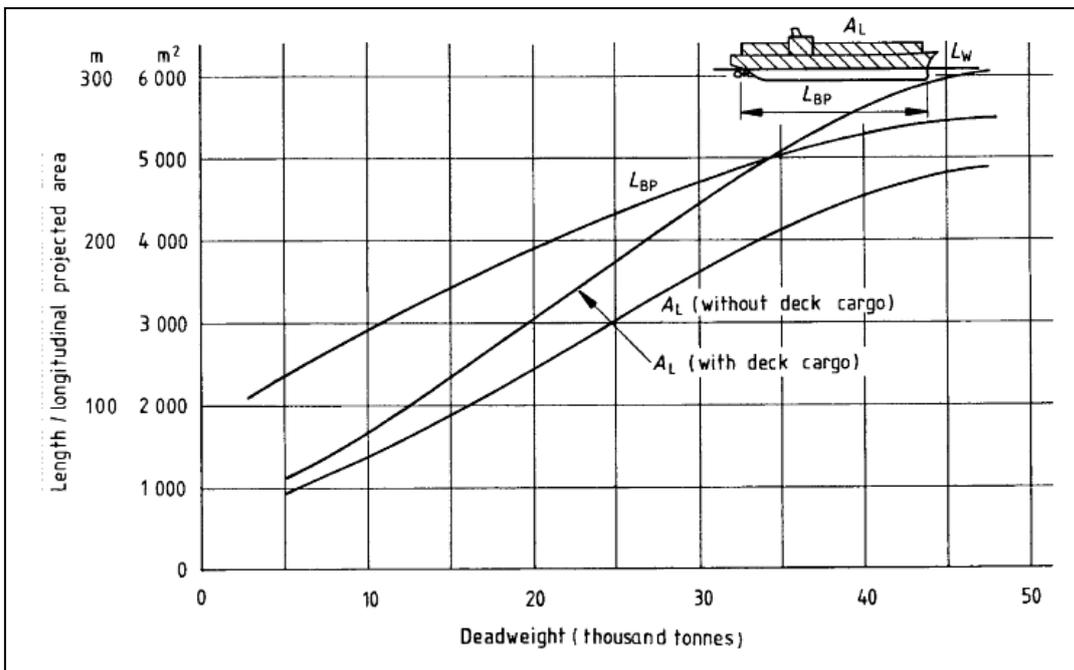


Figura 36.9 – Navios porta-contêineres: comprimento e área longitudinal projetada FONTE: [5]

37. Amarração das embarcações - Considerações gerais

37.1 Norma Brasileira

A fixação dos navios às obras acostáveis deve ser feita por meio dos seguintes dispositivos:

- a) Cabeços de amarração;
- b) Guinchos comuns e guinchos de desengate rápido;
- c) Arganéis.

Nas obras correntes e especiais, são empregados normalmente os cabeços de amarração que devem ser constituídos de elementos metálicos especiais fundidos ou compostos de tubos ou outros elementos metálicos adequados.

Em casos especiais para ajustagem de cabo de amarração devem ser instalados guinchos munidos de cabrestantes e que devem cooperar na fixação dos navios e embarcações.

Em terminais que operam com carregamentos especiais tais como combustíveis, ou que estejam sujeitos a fortes ações do mar ou ventos, deve ser indicada a instalação de guinchos de desengate rápido. Estes equipamentos permitem a liberação dos navios mediante um acionamento manual ou por controle remoto.

Nos cais flutuantes, atracadouros provisórios, ou em casos especiais, devem ser usadas no auxílio à fixação dos navios, âncoras, poitas, bóias ou outros dispositivos adequados.

[2]

37.2 Norma Americana

Os navios são geralmente amarrado à cabeços ou cunhos. Ocasionalmente, os navios podem ser amarrados a guinchos de liberação rápida. A posição de um navio num berço é geralmente controlada por exigências de fixação e requisitos de localização de brow. A equipe encarregada de amarrar o navio geralmente vai amarrar as linhas a qualquer dispositivo de amarração conveniente para dar o ângulo horizontal necessário. Isso muitas vezes resulta em amarras fixadas a cunhos de menor capacidade, enquanto um cabeço de alta capacidade pode estar a apenas alguns metros de distância. Portanto, considere o uso de apenas um tipo de dispositivo de alta capacidade em toda a instalação. Quando possível, dimensionar o dispositivo de amarração para o navio de tamanho máximo que poderá atracar no porto.

Espaçar o equipamento para maximizar a flexibilidade do berço para uso por outras embarcações além do navio de projeto. Os requisitos de dispositivos de ancoragem dependerão do tipo de serviço de amarração atribuído ao cais.

Para os serviços de amarração tipo III e IV (tipos de serviço de amarração no anexo D) considerar o fornecimento de dispositivos adicionais para amarração em condições climáticas adversas. Equilibrar o desejo de fornecer o dispositivo de maior capacidade com o custo adicional do dispositivo e estrutura de apoio. A geometria do sistema deve impedir as amarras de escorregar e soltar, como o ângulo de amarração é frequentemente muito íngreme. [3]

Componentes chave de amarração.

Uma amarração é uma estrutura que segura um navio em determinada posição, utilizando elementos de tração e de compressão. As cargas resultantes de amarração são transferidos para a terra através de âncoras ou alguns outros membros, tais como estacas de píer ou estrutura de cais.

37.2.1.1 Elementos de tração.

Os elementos de tração mais usados em amarrações são correntes, amarra sintética, cabo de aço, bóias barra de tração.

37.2.1.2 Elementos de compressão.

Os membros de compressão mais usados em amarrações são defensas, defensas estaqueadas, separadores, dolfim de amarração, píeres e cais.

37.2.2 Âncoras

As âncoras são estruturas utilizadas para transmitir cargas de amarração para o solo. Âncoras operam com a interação entre solo e estrutura, de modo que o seu comportamento pode ser complexa. Felizmente, a Marinha dos EUA tem uma vasta experiência com os testes em larga escala de um número de diferentes tipos de ancoras em uma ampla variedade de condições de solo. Esta experiência proporciona uma base sólida para projetos. No entanto, devido à natureza complexa da interação estrutura / solo, é altamente recomendável que as âncoras sempre façam o teste de arranque para sua carga de projeto durante a instalação.

Norma Britânica

Princípios de boa amarração

Até o advento do transporte a granel de produtos e matérias-primas por mar, o requisito básico de um sistema de amarração era impedir que o navio de se afastasse do berço ou colidisse com navios atracados adjacentes. O sistema também tinha que permitir a assistência para levantar o navio até o cais e partir do o cais.

Situações presentes muitas vezes exigem o navio a ser mantido com precisão no lugar devido a carregamento de navios ou equipamentos de descarga, que por si podem ter muito limitado movimento, por exemplo, portêineres e guindastes de lança articulada.

O princípio a seguir, independentemente do tamanho do navio, é restringir o movimento para dentro de limites aceitáveis, por meio de um número adequado de amarras, que podem ser facilmente manuseado pelo pessoal de operação, compatível com as condições de vento, marés , clima e outros efeitos susceptíveis durante o período relevante de permanência do navio no cais.

O projetista do berço deve fornecer instalações que permitam a todos os navios para o qual o berço foi projetado, a permanecer seguramente amarrado ao longo do cais, e pontos de amarração devem dar uma difusão satisfatória e serem dispostos o tão perto quanto possível simetricamente em relação ao ponto médio do cais. Note-se que os navios petroleiros, como LNG/LPG e petroleiros costeiros não irão necessariamente sempre se manter no centro do berço. A altura dos pontos de amarração deve ser tal que os ângulos verticais dos cabos de amarração será tão pequena quanto possível e de preferência não superior a 25 °.

O padrão ideal de linhas de ancoragem para a atracação normal ao lado do berço é provável consistir de uma teia básico de amarras que se estendem a partir de ou perto das extremidades da embarcação, juntamente com linhas de mola aproximadamente nos pontos de um quarto da embarcação.

A natureza física e disposição do berço ou terminal irá afetar o modo em que os objectivos de amarra são alcançados e a posição relativa do equipamento de amarração em terra podem resultar num padrão de amarras que apresenta uma capacidade de retenção inferior. Em tais circunstâncias, o projetista do berço deve informar ao operador do berço qual auxílio pode ser necessário para alcançar a contenção adequada de acordo com as forças que agem sobre o navio atracado e da demanda das operações de carregamento ou descarrega. [5]

38. Dispositivos de amarração

38.1 Norma Brasileira

Os dispositivos de amarração dos navios ou embarcações devem ser dimensionados a partir dos esforços exercidos sobre os navios ou embarcações pela ação dos ventos e correntes ou outras ações possíveis ou importantes no caso.

A avaliação dos esforços referidos deve ser feita por meio de critérios estáticos, empregando-se fórmulas da aerodinâmica no caso da ação dos ventos e da hidrodinâmica, no caso da ação das correntes. Podem ser empregados também resultados de ensaios e modelos.

Na determinação dos esforços nos cabeços e dispositivos de amarração devem ser levadas em conta as combinações mais desfavoráveis das ações de ventos e correntes ou outras causas, caso existam, bem como a disposição de linhas de amarração, incluindo os cabos lançantes, través e espringues.

No caso de amarração por âncoras, poitas ou bóias, devem ser verificados os efeitos de catenária dos cabos e estimados os movimentos possíveis dos pontos de fixação na análise da amarração da embarcação.

Os dispositivos de amarração de qualquer tipo, devem ter um dimensionamento estrutural compatível com os esforços de amarração, bem como deve ser verificada sua segurança ao arrancamento.

Os dispositivos de fixação devem ser dimensionados ao arrancamento com coeficiente de ponderação menor que o adotado no dimensionamento de estrutura de modo a permitir que ocorra a ruptura nos mesmos, sem danificar a estrutura. [2]

38.2 Norma Americana

38.2.1 Resistência

A força necessária de equipamentos de amarração e seus meios de fixação é determinado pela resistência à ruptura da linha ou linhas de ancoragem mais resistente que possam ser presos a ele. Dispositivos de amarração podem receber mais do que uma amarra e até três não é incomum. Os tamanho de amarras é limitado pelo que pode ser convenientemente manipulado por marinheiros de convés. Assim, as amarras de cabo de aço em geral não ultrapassam 1-3/4 in (44,5 milímetros) de diâmetro.

38.2.2 Posicionamento

Se uma instalação de atracação for sempre a receber a mesma classe de navios, e que sempre tivesse idênticas disposições de amarras, um padrão específico para o espaçamento dos dispositivos de amarração, com base nos acessórios do navio, seria satisfatório. No entanto, a maioria das instalações de atracação navais requerem um elevado grau de flexibilidade, a fim de ser capaz de receber vários tipos e tamanhos de navios. Portanto, um padrão universal para o espaçamento de dispositivos de amarração é preferido. Dispositivos de amarração espaçados a cada 60 pés ao longo da face de berço da estrutura acostável irá, na maioria dos casos, fornecer o número de fixações necessárias para segurar os navios durante o tempo em que a velocidade de vento e condições de mar não excedam os critérios de projeto estabelecidos para os serviços de amarração tipo I e II. Tipos de serviços de amarração III e IV provavelmente vão exigir cabeços adicionais de alta capacidade que são normalmente posicionados para longe do lado mar pelo menos 100 metros da face do berço para proporcionar um ângulo pequeno de amarra. Os tipos de serviço de amarração são descritos no anexo D.

a. Uma instalação de atracação que irá acomodar navios com grande área vélica, como porta-aviões, deve ser equipados com 12 cabeços de 100 ton (91 toneladas métricas) a cada 100 pés (30,5 m) e 4 cabeços de 200 ton (182 toneladas métricas) para tempestade em cada extremidade. Localize os cabeços de tempestade, que seriam utilizados para fixar as amarras, ao lado de terra do cais reduzindo assim os ângulos verticais e permitindo a utilização de amarras mais compridas que são mais seguras.

b. Em berços de submarinos onde amarras descem para o submarino, localizar os dispositivos de amarração o mais próximo possível da borda do cabeço (*bullrail*) para minimizar o atrito nas amarras. Quando isto não for possível, lançar um elemento suave e contínuo, como uma placa dobrada, na borda do cabeço, de concreto, conforme mostrado na Figura 39.1.

38.2.3 Comportamento catenário.

Não é desejável ou prático para amarrar um navio de maneira rígida. Por exemplo, um navio pode ter uma grande quantidade de flutuabilidade, por isso deve ser permitido mover-se com a mudança de níveis d'água. Outro problema ao prender um navio de forma muito rígida é que alguns dos períodos naturais do sistema navio/amarração pode tornar-se curto, o que pode causar problemas dinâmicos.

Um navio pode ser considerado como uma massa e o sistema de amarração como molas. Ao projetar o sistema de amarração, o comportamento das amarrações “molas” podem ser controladas para afinar o comportamento do sistema navio/amarração para alcançar um desempenho especificado. Isto pode ser controlado pelo peso da corrente ou outro membro de tração, o escopo de corrente, porção da âncora que penetra no solo, e de outros parâmetros.

38.3 Norma Britânica: arranjos de amarração

38.3.1 Considerações Gerais

O padrão normal de amarração consiste de cabos saindo das extremidades do navio, fazendo ângulos horizontais de cerca de 45° , -90° e -45° ao seu eixo, além de cabos de espingue a cerca de 10° para o seu eixo, em conjunto com cabos de través apropriados (ver Figura 38.1 e 38.2).

Em alguns casos de ilha, cabeça "T" e berços de tipo semelhante, os pontos de amarração a receber cordas a partir das extremidades do navio são colocados bem atrás da linha de atracação. Nestes casos, a fim de maximizar a retenção transversal, as amarras são geralmente dispostas tão perto quanto possível em ângulo reto com o eixo do navio e são mantidas tão próximos quanto possível do mesmo comprimento. Da mesma forma, um número suficiente de cabos de espingue são utilizados para fornecer todo a necessária restrição longitudinal.

No caso do cais contínuos, a fim de assegurar a máxima carga útil, é colocada restrição no navio com o número mínimo de amarras, é necessário planejar arranjo de amarração do navio, de modo que cada amarra esteja tão próxima à linha ideal de acção para a sua finalidade como for possível. Qualquer disposição de amarração proposta é dependente da posição relativa, espaçamento e força dos cabeços no cais, que, no entanto, devem ser compatíveis e adequados ao tamanho e tipo de embarcação usando o cais. Geralmente cabeços em um cais devem ser fornecidas a cada 30 metros.

Para garantir uma distribuição uniforme das forças de retenção no navio, é preferível que o arranjo de amarras seja aproximadamente simétrico sobre ponto médio da embarcação e tão distantes entre si quanto possível, sujeita a qualquer cabo

(particularmente cabos de espingue traseiros) não "raspando" contra o lado do navio ou a borda do cais.

Um arranjo de estrutura alta na popa ou proa irá aumentar a carga de vento no local, mas, na prática, a margem de contenção normalmente fornecida ao navio cuida de tal carga excêntrica. Para instalações de acostagem descontínuas, normalmente usada para navios petroleiros, as forças transversais e longitudinais aplicadas ao navio são melhor absorvidas por amarras de cabos de través e espingue respectivamente, desde que sejam estabelecidos dentro dos limites aproximados apresentados na Figura 38.1. Comprimentos ótimos de linhas de ancoragem são geralmente dentro da faixa de 35 m a 50 m, para a maior embarcação. [8]

38.3.2 Cabos de través

A contenção necessária para segurar o navio é o melhor obtido utilizando cabos de través. Estes devem ser alinhados perpendicularmente à linha longitudinal central do navio, a fim de aplicar a máxima contenção para evitar que o navio se mova para o longe do cais.

38.3.3 Cabos de espingue

Devem ser alinhados paralelamente à linha longitudinal central do navio, a fim de aplicar a máxima contenção para evitar que o navio vague ao longo do cais. Os cabos de espingue são muitas vezes referidos como cabos de espingue traseiro devido à aparente contradição em sua direção para meia-nau, um alinhamento usado para manter essas amarras dentro do alcance do navio e evitando cruzamentos e atritos desnecessário sobre amarras de berços adjacentes.

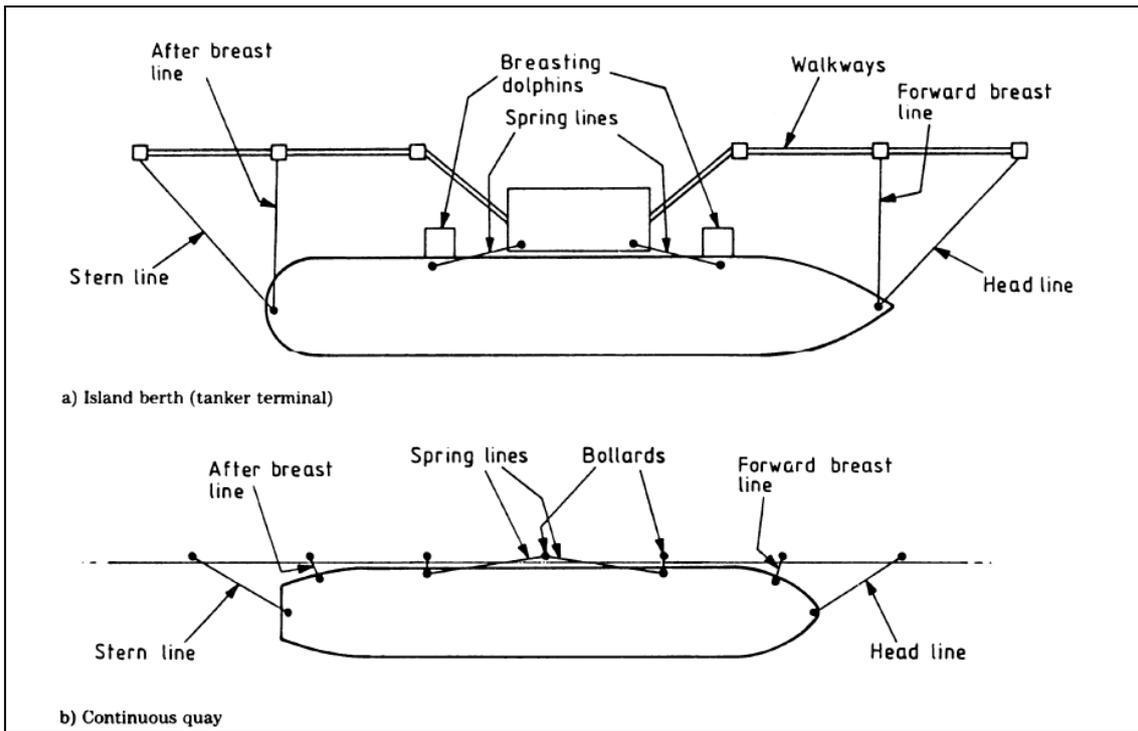


Figura 38.1 – Arranjos de amarração típicos

FONTE: [8]

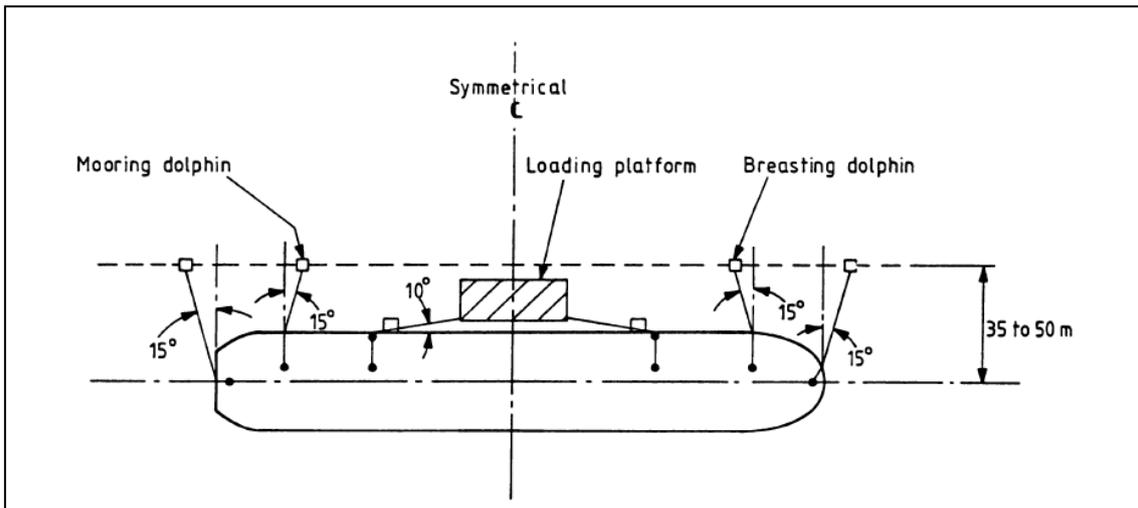


Figura 38.2 – Ângulos de cabos de amarração mais favoráveis para berços de navios-tanque com instalações de acostagem descontínuas

FONTE: [8]

38.3.4 Forças atuando no navio atracado

As forças horizontais principais que atuam num navio atracado são geralmente causados por vento e corrente. No entanto, o sistema de atracação tem de ser capaz de resistir a qualquer combinação de forças aplicadas listadas a seguir, ao mesmo tempo que limita o

movimento do navio para evitar a interferência com as operações de mercadorias ou passageiros:

- a) vento;
- b) corrente;
- c) força hidrodinâmica refletidos do paramento do cais e interferência hidrodinâmica de navios de passagem;
- d) ondas oceânicas ou ondas meteorológicas longas;
- e) ondas causadas pela passagem de navios em canais estreitos;
- f) variação de nível da maré, e mudança na posição ou calado do navio devido a operações de carga/descarga;
- g) de gelo.

Normalmente, se o sistema de amarras é projetado para acomodar as forças de vento e corrente máxima, a força de “reserva” será suficiente para resistir a outras forças que possam surgir. No entanto, se houver movimentos de ondas, gelo ou outras condições anormais no terminal, cargas consideráveis podem ser desenvolvidas nas amarras dos navios. Estas forças são difíceis de analisar e deve ser utilizado teste de modelagem ou medições de campo. [8]

39. Tipos de cabeços, guinchos ou outros dispositivos

39.1 Norma Brasileira

São permitidas soluções construtivas de qualquer gênero para os dispositivos de amarração, desde que adequadas às finalidades.

39.2 Norma Americana

39.2.1 Cabeços.

Cabeço é uma coluna curta de aço fundido, que se estende a partir de uma placa de base que está preso a um ponto forte de uma estrutura acostável ou instalações de acostagem no berço. Cabeços são usados para enfrenar ou controlar o movimento ao fixar um navio, por meio de aperto e desaperto das amarras que estejam fixados a eles. Cabeços são também utilizados para segurar um navio que tenha sido colocado na sua posição

final atracado. Não use cabeços sem orelhas em instalações onde um alto ângulo vertical de amarras esteja prevista, para evitar que as amarras deslizem para fora.

39.2.2 Abita

Abita são equipamentos curtos de colunas duplas em aço fundido, presas ao convés de estruturas acostáveis. Eles são usados para enfrenar e segurar uma embarcação. As colunas duplas permitem conveniente e rápida fixação e liberação de amarras, bem como para transferir uma amarra para outro dispositivo.

39.2.3 Cunho.

Atualmente, cunhas são dispositivos de baixa capacidade, de aço fundido tendo dois braços salientes que se destinam a ser utilizados para fixar amarras de embarcações pequenas. Eles são fornecidos na maioria das instalações navais. Dada uma escolha, as equipes vão usar cunhas ao invés de cabeços ou abitas, mesmo para navios de grande porte, visto que a possibilidade de escorregamento é remota. No entanto, cunhas podem facilmente ser sobrecarregados, quando eles forem utilizados em vez de grandes acessórios tais como cabeços. Devido à baixa capacidade de retenção de cunhas, não deve ser utilizado em combinação com dispositivos de maior capacidade.

39.2.4 Cabrestantes

Navios equipados com amarras de cabo de aço montada com guincho exigem maior potência na tração do que pode ser fornecida por um ou dois marinheiro de convés para puxar fora as amarras do navio.

A tarefa é feita por cabrestantes montados ao longo da face do cais. Os cabrestantes são pequenos guinchos elétricos de 5 a 10 hp com um tambor de cabo de retinida no final que é preso a lança de espia do cabo de aço. O cabrestante, girando uma boa extensão do cabo de retinida, fornece a força necessária para puxar a amarra de aço. A linha de mensageiro é então devolvido ao navio. Cabrestantes também são utilizados como orientação principal (breasting and in-haul) para atracar navios em drydocks e deslizamento do tipo berços (instalações Trident). Para estes usos, os cabrestantes são de maior capacidade e são tipicamente de duas velocidades.

39.2.5 Guinches de desengate rápido.

O guinche de desengate rápido, geralmente montado em uma base giratória, é um equipamento usado para receber linhas de ancoragem. Quando um navio é obrigado a fazer uma rápida saída do seu ancoradouro, um puxão no mecanismo de liberação do gancho desata a linha de amarração. O mecanismo também pode ser disparado a partir

do navio, quando uma linha de *tag* é fornecido. Assim, um navio pode fazer uma partida repentina sem a assistência de pessoal em terra. Guinches de desengate rápido com cabrestantes com de potência integrais são necessárias para segurar as amarras de aço em navios-tanques em cais de combustível, enquanto cabeços são necessários para as amarras complementares de outros materiais que não o aço. [9]

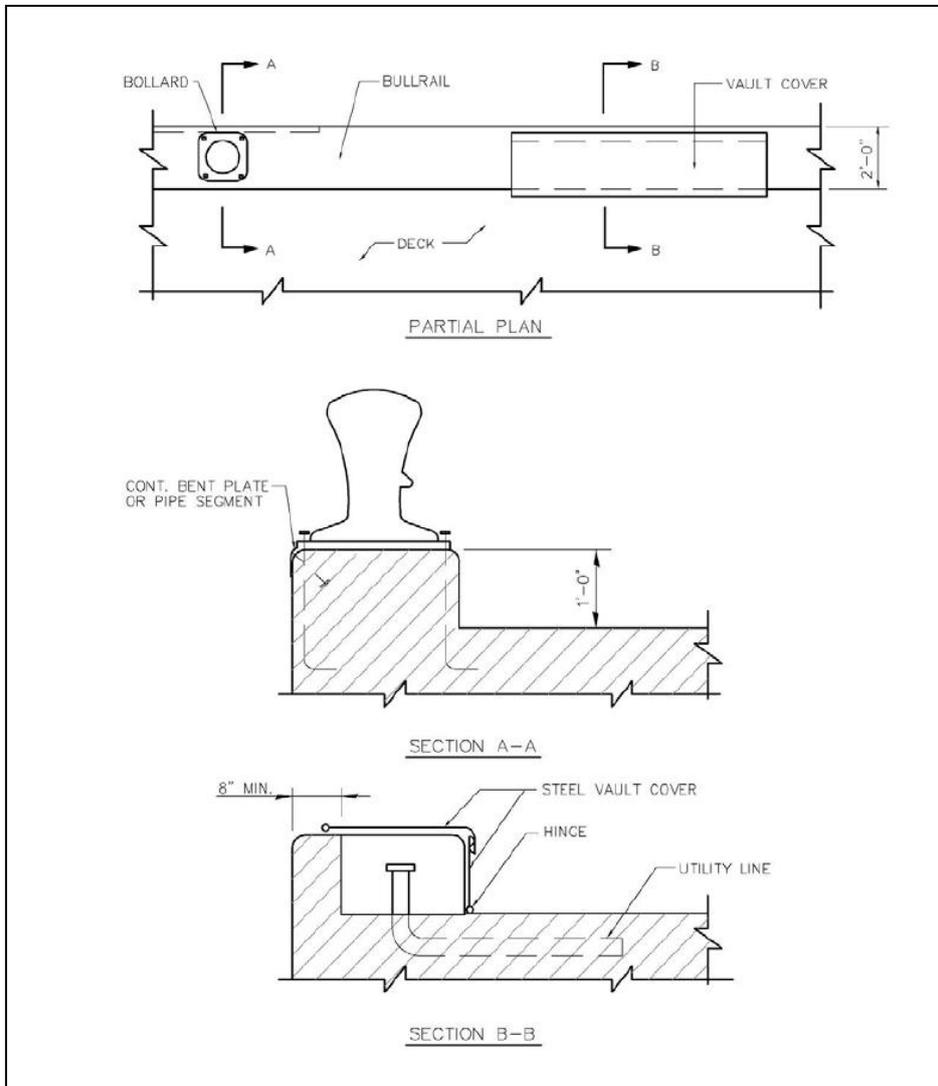


Figura 39.1 – Detalhes de borda do cabeço

FONTE: [3]

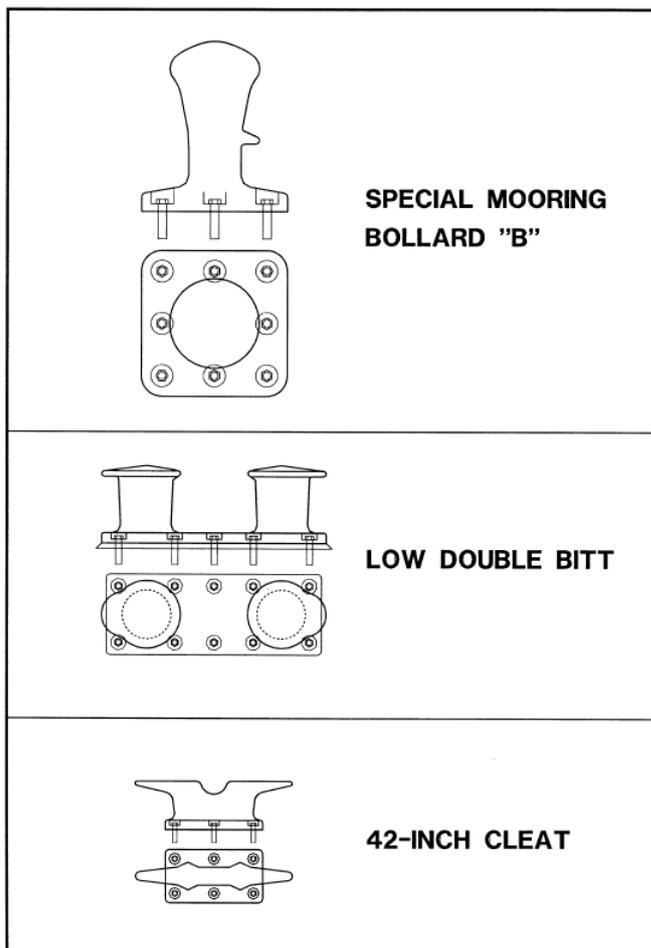


Figura 39.2 – Dispositivos de amarração mostrados em perfil e em planta FONTE:
[9]

39.3 Norma Britânica

A variedade de equipamentos de fixação dos navios considerado por esta norma compreende cabeços, guinchos de desengate rápido, arganéis e cabrestantes. Poleames e cunhos podem ser geralmente considerado como itens montados em navios e não estão incluídos.

39.3.1 Materiais

Dispositivos de amarração são constituídos a partir de chapas de aço estrutural, aço fundido e ferro fundido.

39.3.2 Montagem e fixação

Sistemas de montagem devem ter dimensionamento robusto e simples para minimizar a manutenção e permitir a fácil substituição de itens danificados. Cabeças dos parafusos,

porcas, etc., devem, sempre que possível ser rebaixados para evitar prender fios de amarras. Onde guinchos de desengate rápido pode atingir a superfícies da plataforma do cais ao ser liberada, placas de vestimento não-estruturais adequadas devem ser fornecidos ao longo de todo o arco horizontal do trajeto do conjunto do guincho (veja a Figura 18). Onde as amarras são apoiadas localmente em saliências (por exemplo, amarras para pequenas embarcações em maré baixa), devem ser fornecidas tiras anti-desgaste adequadas para proteger ambas as amarras e a estrutura de cais. [8]

39.3.3 Cabeços

Cabeços para fins gerais são normalmente fabricados a partir de:

Ferro fundido dúctil ou aço fundido aumentam a capacidade de carga comparado ao ferro fundido normal para um qualquer objeto de projeto a um aumento da força correspondente feita no sistema de parafuso da fixação. Muitos projetos de cabeço estão comercialmente disponíveis mas podem ser genericamente classificados em três categorias, como se segue:

- tipo pilar;
- tipo cabeça “T”;
- tipo *cabeça dupla com lóbulos inclinados*.

Esses tipos estão ilustrados na Tabela 39.1 em conjunto com características e aplicações.

39.3.4 Guinchos de desengate rápido

Guinchos devem ser concebidos para proporcionar um meio fácil e rápido de liberar as amarras do navio sob condições normais ou de emergência. Os mecanismos de liberação pode ser accionado localmente por operação manual ou por controle remoto. Guinchos são, portanto, de aplicação particular à:

- a) berços de óleo, gás e produtos químicos onde a liberação rápida rotineira pode ser necessária para a partida das embarcações;
- b) fixação em *dolphins* de ilhas, onde acesso de pessoal somente por lançamento.

A Figura 39.3 mostra um típico guinche de desengate rápido. As características gerais dos guinchos disponíveis comercialmente são:

- Número máximo de guinches por unidade = 1, 2, 3, 4, 5 ou 6;
- Máxima capacidade de carga por guinche: 200 t;
- Máxima elevação: 45°;
- Aplicação:
 - a) Berços de óleo, gás e produtos químicos que requerem capacidade de desengate rápido;
 - b) Dofins para todos os tipos de berços.
- Será necessário suprimento de eletricidade para o cabrestante.

Em locais em que pequenas embarcações forem amarradas à guinches de desengate rápido, devem ser feitas considerações para assegurar que as amarras do navio com ângulo de inclinação íngreme, possa cair sem restrições quando o guinche desengatar.

A instalação de equipamentos de operação remota só é recomendada em situações em que um alto grau de manutenção pode ser garantida. Em todos os casos, devem ser fornecido método para liberação manual.

39.3.5 Arganéis

Anéis de amarração devem ser providenciados na face do berço em todos os locais onde pequenas embarcações (por exemplo, de alfândega e lancha de práctico) necessitem atracar. Arganéis devem ser fornecidos para dar acessibilidade ao sistema de amarração directamente a partir de pequenas embarcações em todos os estados de maré e geralmente devem ser posicionados adjacentes às escadas de acesso. Anéis devem ser encaixado na face de um cais ou de outra forma protegida com tiras de fricção, etc., para evitar que denifiquem embarcações. Os encaixes devem ser drenados se os arganéis forem montados em superfícies horizontais. Arganéis devem ser feitos de barra sólida de pelo menos 25 mm de diâmetro e fixada à estrutura de berço com parafusos de pelo menos 24 mm de diâmetro. As características gerais dos arganéis são mostrados na Figura 39.4.

39.3.6 Cabrestantes

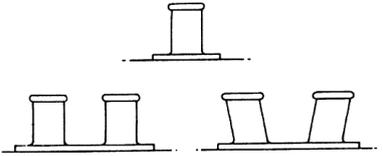
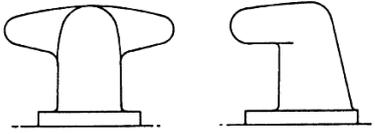
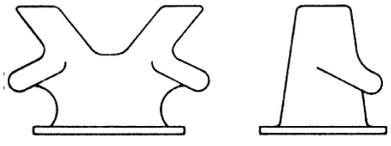
Onde amarras forem muito pesadas para serem fixadas manualmente à cabeços ou guinchos de amarração, ou quando não houver espaço suficiente para uma mooring gang grande o suficiente operar (por exemplo, em uma amarração em *Dolfin*), então,

deve ser fornecida cabrestantes de acionamento elétrico para auxiliar levar a amarras para terra.

39.3.7 Precauções de segurança

Motores elétricos para cabrestantes, partidas de motores, cabeamento associado e aparelhagem em conjunto com todos os equipamentos elétricos para a operação remota de guinchos de amarração devem ter características de protecção adequadas à classificação de risco da área em que se situam. Guinchos de amarração equipados para a liberação remota devem ser equipados com dispositivos de segurança adequados em torno de todas as partes móveis para proteger os funcionários durante as condições de funcionamento. [8]

Tabela 39.1 – Cabeços de amarração

Tipo	Máxima carga normal de serviço (t)	Aplicações
Pilar simples duplo		200 total Uso geral de amarração em que ângulo de cabos não seja íngreme. Pilar simples deve ser utilizado para cabos de apenas um navio. Apropriado para espicar navios ao longo de berços, etc.
Cabeça em T		150 Todo tipo de uso geral de amarração incluindo para ângulo íngreme de cabos. O cabeço deve ser utilizado para cabos de apenas um navio
Lóbulo inclinado		200 total Todo tipo de uso geral de amarração incluindo angulo íngreme de amarras. Amarras de dois navios podem ser acoplados sem interferência

FONTE: [8]

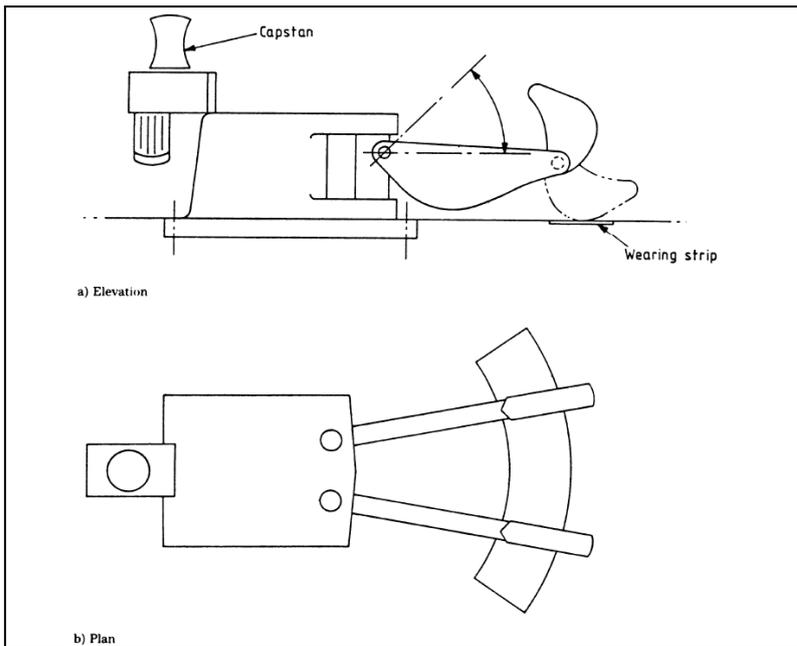


Figura 39.3 – Guinches de desengate rápido FONTE: [8]

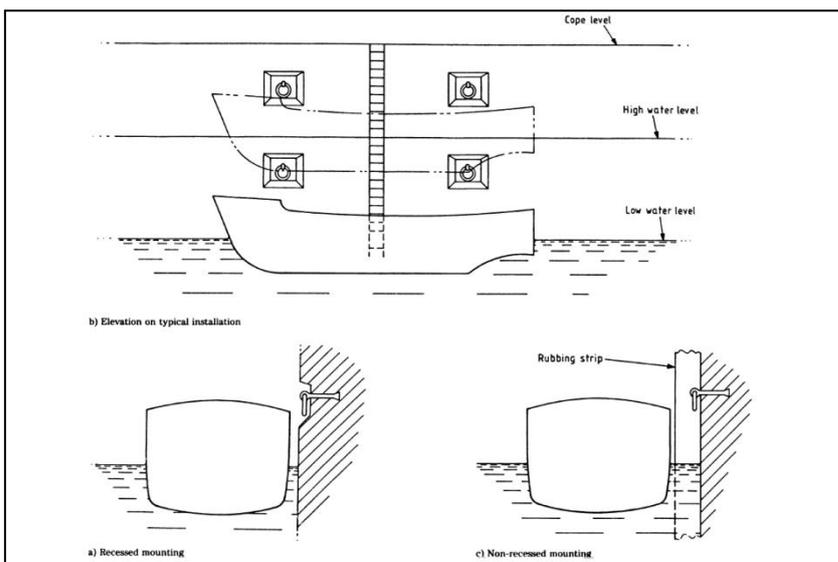


Figura 39.4 – Arganéis

FONTE: [8]

40. Tração nos dispositivos de amarração

40.1 Norma Brasileira

Em nenhum caso as trações nos dispositivos de amarração a considerar no cálculo das estruturas portuárias devem ser inferiores aos valores da tabela 40.1.

Tabela 40.1 – Tração mínima nos dispositivos de amarração

Deslocamento (kN)	Tração nos cabeços (unidade: kN)
Até 20.000	100
Até 100.000	300
Até 200.000	600
Até 500.000	800
Até 1.000.000	1.000
Até 2.000.000	1.500
> 2.000.000	2.000

FONTE: [2]

40.2 Norma Americana

40.2.1 Amarras – considerações gerais

Os elementos de tração mais comuns são as cordas de fibras sintéticas e cabos de aço. Amarras sintéticas têm a vantagem de fácil manuseio e alguns tipos esticam, o que pode ser usado para afinar o comportamento estático e dinâmico de amarração e ajuda no compartilhamento de carga entre os membros de tensão. Cabos de aço tem como vantagem a durabilidade. [9]

40.2.2 Cordas de fibras sintéticas.

Linhas de amarração são formados por fios tecidos em conjunto formando um elemento composto de tração. As linhas são feitas de diferentes tipos de fibras em variadas configurações. Propriedades esticamento/deformação de linhas selecionadas são apresentados na Tabela 40.2 e Figura 40.1. Características de engenharia de algumas amarras de nylon e poliéster duplamente trançado estão nas Tabelas 40.3 e 40.4.

O tamanho e tipo de linha sintética especificado em uma dada concepção dependerá de alguns parâmetros, tais como aqueles mostrados na Tabela 40.5. [9]

Tabela 40.2 – Esticamento de amarras sintéticas

% Break Strength (T/Tb)	WIRE ROPE & STEEL CORE % Stretch (1)	12-STRAND HMWPE % Stretch (2)	KEVLAR 4-STRAND % Stretch (3)	DOUBLE BRAIDED POLY-ESTER % Stretch (4)	NYLON 8-STRAND % Stretch (5)	DOUBLE BRAIDED NYLON % Stretch (6)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.076		0.697		1.922	
10	0.151	0.250	1.084	1.275	3.335	4.250
20	0.302	0.434	1.656	2.863	5.798	7.353
30	0.453	0.691	2.025	5.776	7.886	9.821
40	0.605	0.915		7.890	10.210	11.950
50	0.756	1.126	2.495	9.528	11.987	13.610
60	0.907	1.395		11.012	13.745	14.999
70	1.058	1.593		12.338	15.472	
80		1.850		13.793		
90		2.126		15.054		
100		2.356		16.197		

FONTE: [9]

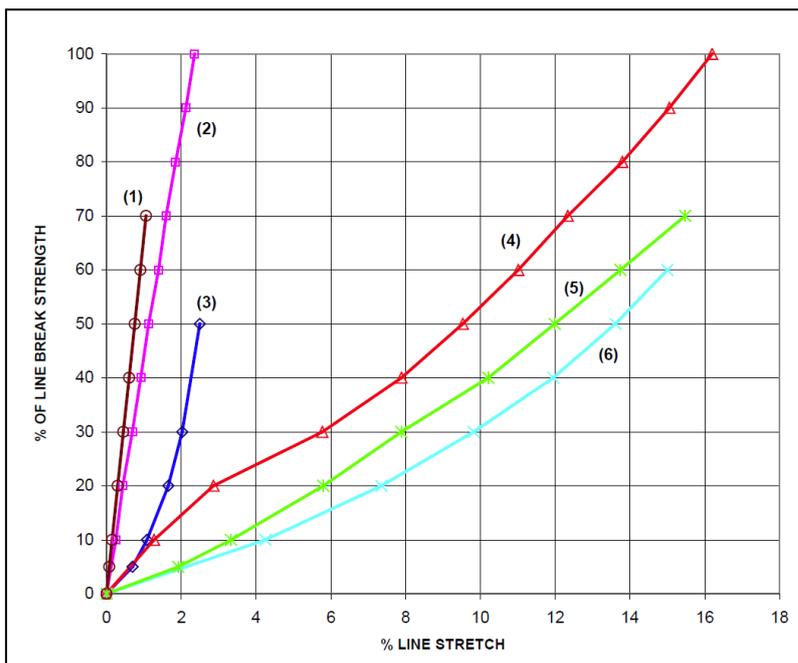


Figura 40.1 – Esticamento de amarra sintética

FONTE: [9]

Tabela 40.3 – Amarra de nylon de trança dupla

SINGLE LINE				THREE PARTS LINE					
DIA. (in)	CIR. (in)	Av Fb (kips)	Av Fb (E5 N)	AE (kips)	AE (E5 N)	Av Fb (kips)	Av Fb (E5 N)	AE (kips)	AE (E5 N)
1.0	3	33.6	1.495	118.9	5.29	100.8	4.48	356.8	15.87
1.1	3.5	45	2.002	159.3	7.09	135	6.01	477.9	21.26
1.2	3.75	52	2.313	184.1	8.19	156	6.94	552.2	24.56
1.3	4	59	2.624	208.8	9.29	177	7.87	626.5	27.87
1.4	4.5	74	3.292	261.9	11.65	222	9.88	785.8	34.96
1.6	5	91	4.048	322.1	14.33	273	12.14	966.4	42.99
1.8	5.5	110	4.893	417.0	17.32	330	14.68	1168.1	51.96
1.9	6	131	5.827	463.7	20.63	393	17.48	1391.2	61.88
2.1	6.5	153	6.806	541.6	24.09	459	20.42	1624.8	72.27
2.2	7	177	7.873	626.5	27.87	531	23.62	1879.6	83.61
2.4	7.5	202	8.985	715.0	31.81	606	26.96	2145.1	95.42
2.5	8	230	10.231	814.2	36.22	690	30.69	2442.5	108.65
2.7	8.5	257	11.432	909.7	40.47	771	34.30	2729.2	121.40
2.9	9	285	12.677	1008.8	44.88	855	38.03	3026.5	134.63
3.2	10	322	14.323	1139.8	50.70	966	42.97	3419.5	152.11
3.5	11	384	17.081	1359.3	60.46	1152	51.24	4077.9	181.39
3.8	12	451	20.061	1596.5	71.01	1353	60.18	4789.4	213.04
4.1	13	523	23.264	1851.3	82.35	1569	69.79	5554.0	247.05
4.5	14	599	26.645	2120.4	94.32	1797	79.93	6361.1	282.95
4.8	15	680	30.248	2407.1	107.07	2040	90.74	7221.2	321.22

*After Sampson, dry, cyclic loading; reduce nylon lines by 15% for wet conditions

Nota: Dia. = diâmetro, Cir = circunferência, Av Fb = força média de ruptura, AE = área de seção transversal multiplicado pelo módulo de elasticidade (isto não inclui as propriedades altamente não-lineares do nylon) FONTE: [9]

Tabela 40.4 – Amarra de polyester de trança dupla seca, com carregamento cíclico)

SINGLE LINE				THREE PARTS LINE					
DIA. (in)	CIR. (in)	Av Fb (kips)	Av Fb (E5 N)	AE (kips)	AE (E5 N)	Av Fb (kips)	Av Fb (E5 N)	AE (kips)	AE (E5 N)
1.0	3	37.2	1.655	316.6	14.08	111.6	4.96	949.8	42.25
1.1	3.5	45.8	2.037	389.8	17.34	137.4	6.11	1169.4	52.02
1.2	3.75	54.4	2.420	463.0	20.59	163.2	7.26	1388.9	61.78
1.3	4	61.5	2.736	523.4	23.28	184.5	8.21	1570.2	69.85
1.4	4.5	71.3	3.172	606.8	26.99	213.9	9.51	1820.4	80.98
1.6	5	87.2	3.879	742.1	33.01	261.6	11.64	2226.4	99.03
1.8	5.5	104	4.626	885.1	39.37	312	13.88	2655.3	118.11
1.9	6	124	5.516	1055.3	46.94	372	16.55	3166.0	140.83
2.1	6.5	145	6.450	1234.0	54.89	435	19.35	3702.1	164.68
2.2	7	166	7.384	1412.8	62.84	498	22.15	4238.3	188.53
2.4	7.5	190	8.452	1617.0	71.93	570	25.35	4851.1	215.79
2.5	8	212	9.430	1804.3	80.26	636	28.29	5412.8	240.77
2.7	8.5	234	10.409	1991.5	88.59	702	31.23	5974.5	265.76
2.9	9	278	12.366	2366.0	105.24	834	37.10	7097.9	315.73
3.2	10	343	15.257	2919.1	129.85	1029	45.77	8757.4	389.55
3.5	11	407	18.104	3463.8	154.08	1221	54.31	10391.5	462.24
3.8	12	470	20.907	4000.0	177.93	1410	62.72	12000.0	533.79
4.1	13	533	23.709	4536.2	201.78	1599	71.13	13608.5	605.34
4.5	14	616	27.401	5242.6	233.20	1848	82.20	15727.7	699.60
4.8	15	698	31.049	5940.4	264.24	2094	93.15	17821.3	792.73

Nota: Dia. = diâmetro, Cir = circunferência, Av Fb = força média de ruptura, AE = área de seção transversal multiplicado pelo módulo de elasticidade FONTE: [9]

Tabela 40.5 – Fatores a considerar quando especificar amarra sintética ou de aço

Parâmetro	
Segurança	Durabilidade
Força de ruptura	Fadiga
Diâmetro	Exposição
Peso	Abrasão
Flutuação e propriedades hidrodinâmicas	Condições molhadas x seca
Facilidade no manuseio	Experiência
Equipamento a ser utilizado	Capacidade de costurar cabos
Propriedades de esticamento/esforço	Capacidade de prover parte final de cabo
Distribuição de cargas entre amarras	Inspeção
Comportamento dinâmico	Custo
Confiabilidade	Disponibilidade

FONTE: [9]

40.2.3 Amarras de cabo de aço

Amarras de cabo de aço são compostas por três partes: fios, feiches e núcleo. A unidade de básica é o fio.

Um número pré-determinado de fios de tamanho apropriado são fabricados numa disposição geométrica uniforme precisos para formar um feixe de diâmetro requerido. O número necessário de fios são dispostas em conjunto de forma simétrica em torno de um núcleo para formar a amarra. [9]

40.3 Norma Britânica

40.3.1 Avaliação de cargas de amarração: embarcações de até 20.000 t de deslocamento

Na ausência de uma avaliação especial de cargas de amarração , cabeços para navios de até 20.000 t de deslocamento máximo devem ser providenciadas ao longo da beira do cais, com intervalos de 15 m a 30 m. A capacidade de carga deve ser o indicado na Tabela 40.6, permitindo que mais de uma corda seja amarrada a cada cabeço. [5]

Tabela 40.6 – Cargas de cabeço e poleame para embarcações maiores que 20.000 t de deslocamento

Deslocamento de navio carregado (t)	Carregamento no cabeço (kN)	Carregamento no poleame (kN)
até 2.000	100	200
até 10.000	300	500
até 20.000	600	1.000

FONTE: [5]

40.3.2 Avaliação de cargas de amarração: embarcações acima de até 20.000 t de deslocamento

Para as embarcações maiores que 20.000 t ou especializadas, com alta superestrutura, por exemplo, balsas e transportadores de gás, cargas máximas prováveis em cada ponto de amarração devem ser calculadas utilizando os métodos descritos em 40.3.3.1, 40.3.3.2 ou 40.3.3.3. Os cálculos devem levar em conta as variações de tamanho dos navios esperados. [8]

40.3.2.1 Método 1

As forças do vento e correntes sobre o navio deverá ser calculada utilizando o método indicado nos tópicos 35.3 e 36.3. As cargas em cada ponto de amarração são então calculadas tratando as linhas de amarras como um sistema elástico utilizando cálculos à mão ou um computador.

As amarras devem ser assumidas como tendo as mesmas características, e devem ser levados em conta os comprimentos e ângulos das linhas de amarras.

40.3.2.2 Método 2

Um método alternativo para o cálculo das cargas em cada ponto de amarração individual é de assumir que, se o cais tem seis pontos de amarração, então um terço da força transversal total do navio é resistido por qualquer um ponto de amarração, que deve ser dimensionado para esta força em condições normais de serviço. As forças longitudinais são assumidas novamente como resistidas inteiramente pelos pontos de amarração de cabos de espringue.

Se o cais tem apenas quatro pontos de amarração, então, metade da força transversal total do navio é resistida por qualquer singular ponto de amarração.

40.3.2.3 Método 3

Se o berço for projetado para um determinado navio de projeto usando amarras e arranjos de amarração especificadas, os pontos de amarração podem ser projetados em tensões normais de serviço para uma força igual à carga máxima de ruptura das amarras. Características típicas de amarras são indicados no anexo D.

40.3.2.4 Método 4

Se não houverem dados suficientes para a realização de qualquer dos métodos descritos acima, em 40.3.2.1, 40.3.2.2 e 40.3.2.3, a Tabela 40.7 dá cargas pontuais de amarração normalmente aceitáveis para navios de carga geral e graneleiros. [8]

Tab 40.7–Carga pontual de amarração para embarcações de carga geral e graneleiros

Deslocamento de navio (t)	Carga pontual de amarração (t)
20.000 até e incluindo 50.000	80
Maior que 50.000 até e incluindo 100.000	100
Maior que 100.000 até e incluindo 200.000	150
Maior que 200.000	200

FONTE: [8]

Para locais de vento ou correntes excepcional ou outros eventos com efeitos adversos, estas cargas de pontuais de amarração devem ser aumentada em 25%.

40.3.2.5 Projeto de estrutura de ponto de amarração

As cargas de ponto de amarração obtidas dos métodos de 1 a 4 são ações horizontais. Deve-se levar em conta, no dimensionamento da estrutura e dispositivos de amarração, a componente vertical resultante das linhas de amarras não serem horizontais. O projeto da estrutura do ponto de amarração deve também levar em conta o nível em que a força horizontal é aplicada à estrutura. O projeto deve ser tal que, em caso de sobrecarga das amarras, as próprias ou os equipamentos de fixação à estrutura devem romper, antes que a estrutura global seja danificada. [8]

CONCLUSÃO

A comparação entre as normas brasileira, americana e britânica levou às seguintes conclusões: a norma brasileira é mais sucinta em praticamente todos os tópicos abordados. A norma americana é mais analítica, fornecendo várias fórmulas e métodos de cálculos complexos, enquanto a norma britânica é um tanto mais experimental, recomendando sempre que necessário a utilização de modelos em escala.

As normas americanas e britânicas apresentam extensas explicações e definições de carga de vários tipos de equipamento portuário moderno, enquanto a norma brasileira tem valores apenas para guindastes de pórtico e caminhões guas. Nos tópicos sobre ações de correntes e ondas em estruturas, as normas estrangeiras são mais extensas, e podem agregar maior valor a um projeto do que a norma brasileira. Os cálculos de ações de atracação e amarração, são calculados com métodos mais complexos nas normas estrangeiras. As duas normas estrangeiras apresentam arranjos de amarração, e as duas normas dão métodos para o cálculo de esforços nas amarras.

Os tópicos abordados por este trabalho se mostraram muito relevantes pois são críticos para projeto portuário, e sua comparação pode auxiliar a um projetista usar o método que preferir, ou usá-las em conjunto, visto que em alguns tópicos, as normas são complementares.

Após este estudo concluo que a norma brasileira precisa se atualizar, criando mais especificações de projeto. As normas internacionais tem mais volume e conteúdo, são mais abrangentes, com maiores explicações, e consideram métodos mais complexos nos cálculos de esforços.

Para a confecção de norma brasileira atualizada, que seja mais abrangente e com mais explicações e especificações técnicas, que abordem as diversas condições costeiras brasileiras, e incorpore as atividades portuárias mais modernas, este trabalho pode ser utilizado como referência no que pode ser apropriado das normas americanas e britânicas.

Como sugestão de um próximo trabalho, indico o estudo de normas portuárias de outros países com tradição na área, como Espanha, e Coreia.

BIBLIOGRAFIA

[1] Disponível em:

<http://www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt>. Acesso em 30 jan. 2015

[2] (1982), NBR-9782: *Ações em Estruturas Portuárias, Marítimas e Fluviais*. Rio de Janeiro, ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[3] (2012), *UFC 4-152-01 with Change 1, Design: Piers and Wharves*. Washington D.C., United Facilities Criteria.

[4] Disponível em:

<http://www.bsigroup.com/pt-BR/Sobre-o-BSI/>. Acesso em 30 jan. 2015

[5] (2000), *BS 6349-1:2000 Maritime structures – Part 1: Code of practice for general criteria*. Reino Unido, British Standards Institute.

[6] (2012), *UFC 4-150-06 with Change 1, Military Harbors and Coastal Facilities*. Washington D.C., United Facilities Criteria.

[7] – SEELIG, W.N. e SORENSON (1977), *Hydraulics of Great Lakes inlets*. Fort Belvoir, U.S. Army Corps Engineers

[8] (1994), *BS 6349-4:1994 Maritime structures – Part 4: Code of practice for design of fendering and mooring systems*. Reino Unido, British Standards Institute.

[9] (2012), *UFC 4-159-03 with Change 1, Design: Moorings*. Washington D.C., United Facilities Criteria.

[10] BROLSMA et al (1977), *Paper on Fender Design and Berthing Velocities*. In: PIANC 1977.

[11] OWENS, R., e PALO, P. (1982), *TN-1628, Wind-Induced Steady Loads on Ships*. Port Hueneme, Naval Civil Engineering Lab.

[12] HEADLAND, J., SEELIG, W., and KREIBEL, D., (1992) Broadside Current Forces on Ships. In *Civil Engineering in the Oceans V*, American Society of Civil Engineers.

[13] COX, J. V. (1982) *TN-1634, STATMOOR - A Single-Point Mooring Static Analysis Program*. Port Hueneme, Naval Civil Engineering Lab.

ANEXOS

ANEXO A: Propriedades de cargas armazenadas comuns

Valores típicos de densidade a granel e ângulos de repouso são dadas na Tabela A.1. Valores típicos de densidade empilhados são dadas na Tabela A.2. Estas tabelas podem ser utilizados em conjunto com as recomendações do tópico 8.3.

Tabela A.1 – Densidades de granéis sólidos típicos e ângulos de repouso

Material	Dry bulk density t/m ³	Angle of repose degrees
Ores		
Iron (Limonite)	2.24 to 3.00	35 to 40
Copper (Copper pyrites)	2.56	38 to 45
Lead (Galena)	2.56 to 2.76	35 to 40
Zinc (Zincblende)	1.50 to 1.79	38
Aluminium (Bauxite)	1.33	28 (when dry) 49 (in 8 % moisture)
Tin (Cassiterite)	1.63 to 1.99	35 to 38
Chromium (Chromic iron)	2.39 to 2.56	33 to 40
Magnesium (Magnesite)	1.44	35
Manganese (Manganite)	1.79 to 2.39	35 to 45
Basic chemicals		
Sulfur	1.12 to 1.20	35 to 40
Phosphate rock	1.03	30 to 34
Kaolin	0.90 to 0.94	30 to 35
Solid fuels		
Coal	0.72 to 0.90	30 to 45
Coke	0.36 to 0.51	37
Building materials		
Natural aggregates	1.28 to 1.60	30 to 40
Granite (chippings)	1.20 to 1.24	35
Sand	1.79 to 1.89	30 to 40
Limestone	1.63	34
Waste products		
Domestic refuse	0.56	
Scrap iron	1.0 to 1.6	35
Foodstuffs (normally stored in sheds or silos)		
Cereal	0.51 to 0.76	40
Sugar	0.78	40
Salt	0.90	45
Soya bean	0.82	35 to 60
Copra	0.51	35

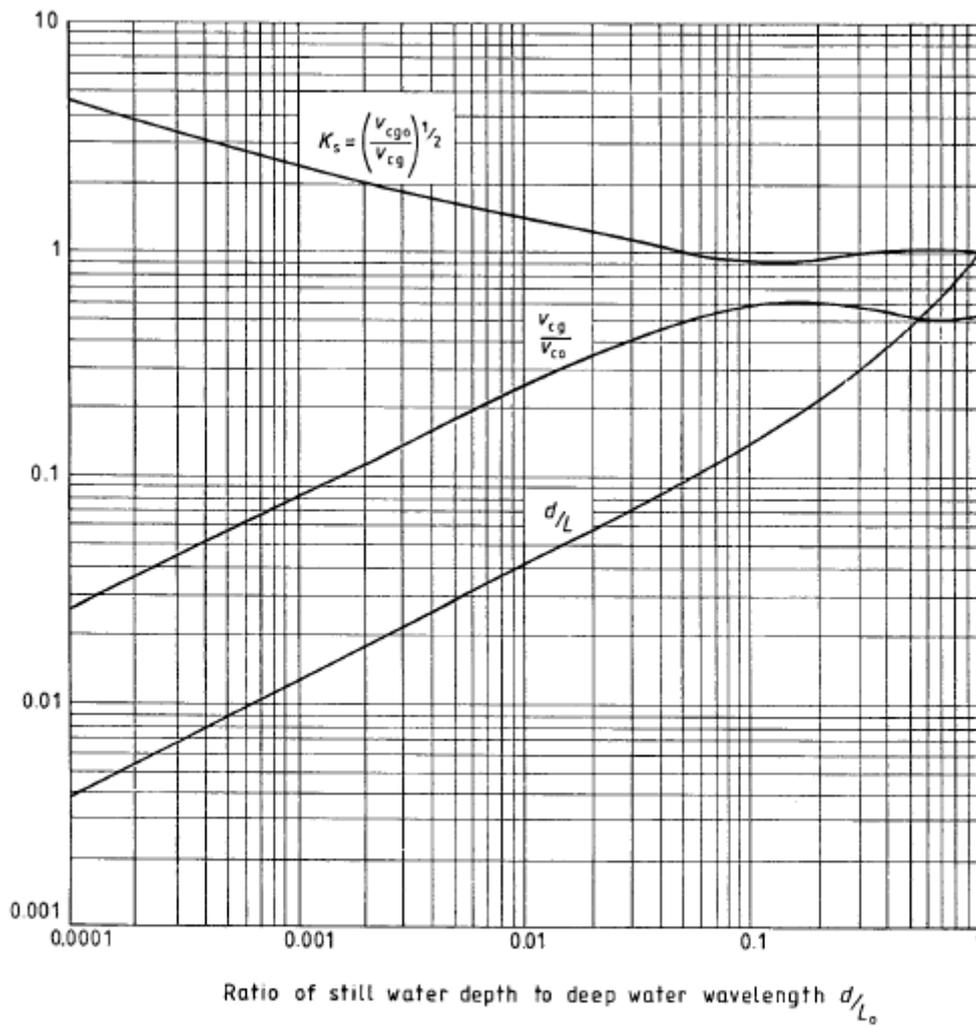
FONTE: [5]

Tabela A.2 – Densidades empilhados típicas para *commodities* comuns

Commodity	Stacked density t/m ³
Timber	
Softwood:	
– Douglas fir	0.61
Hardwood:	
– Oak	0.83
– Greenheart	1.14
Timber products	
Paper (in bales)	0.80
Linerboard (in reels)	0.65
Chemical products	
Petroleum products (in barrels)	0.41 to 0.51
Fertilizers (in bags)	0.84 to 0.94
Foodstuffs	
Beers (in casks)	0.66
Dry sugar (in bags)	0.78
Tea	0.32 to 0.38
Potatoes (in bags)	0.72
Copra (in bags)	0.38
Soya beans (in bags)	0.72
Flour (in bags)	0.83
Metal products	
Aluminium ingots	1.24
Copper ingots	3.00 to 3.59
Copper coils	1.12
Steel bars	2.24 to 3.00
Pig steel	3.00 to 3.59
Steel coils	1.20 to 3.00

FONTE: [5]

ANEXO B:



Ratio of still water depth to deep water wave length $\frac{d}{L_0}$

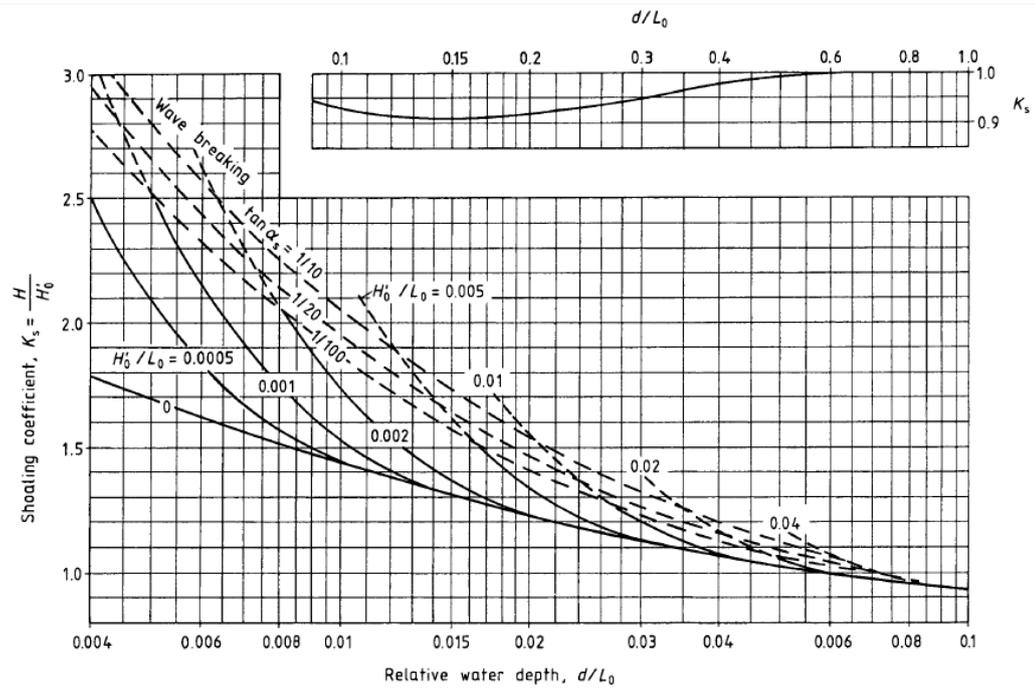
Deep water wave length $L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$

Deep water phase velocity $v_{c0} = \frac{gT}{2\pi}$

a) Variation of wave length, group velocity and shoaling coefficient with water depth

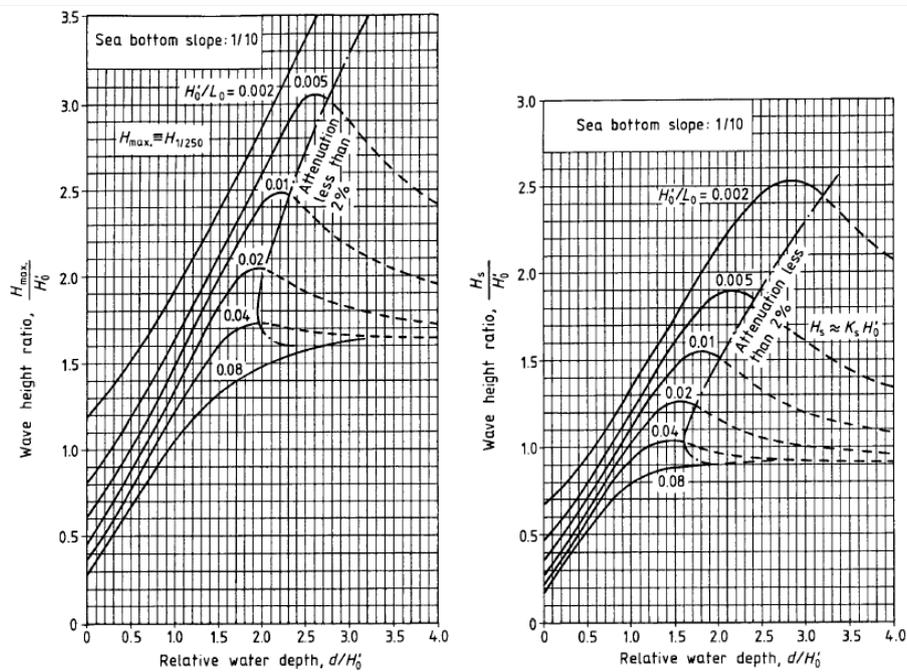
Figura B.1 – Shoaling de onda e estimativa de altura de onda na zona de surfe.

FONTE: [5]



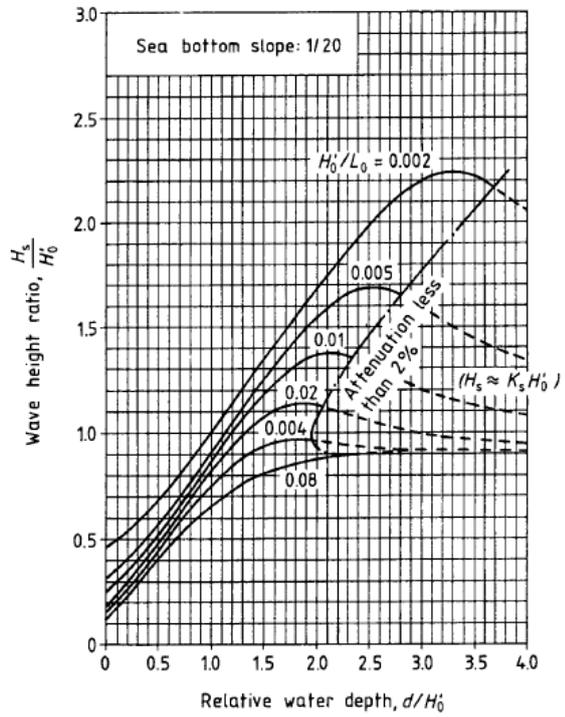
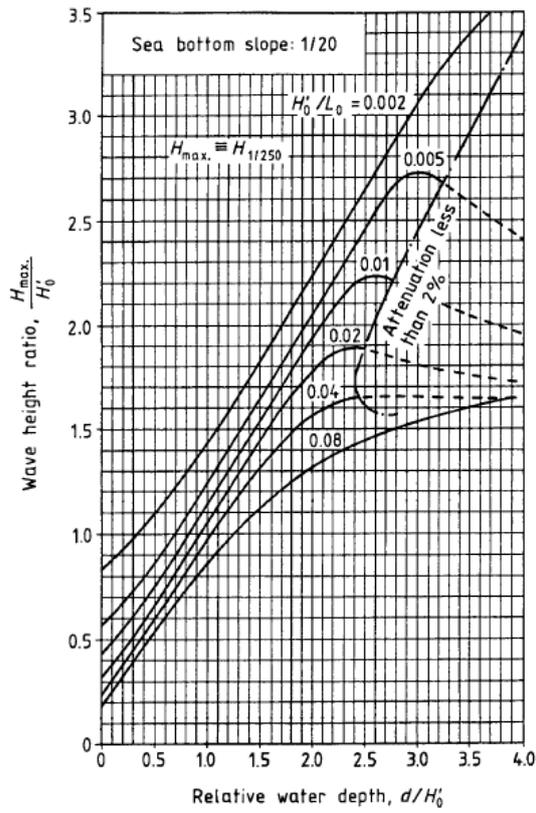
b) Diagram of non-linear wave shoaling

Figura B.2 – Shoaling de onda e estimativa de altura de onda na zona de surfe (cont.) FONTE: [5]



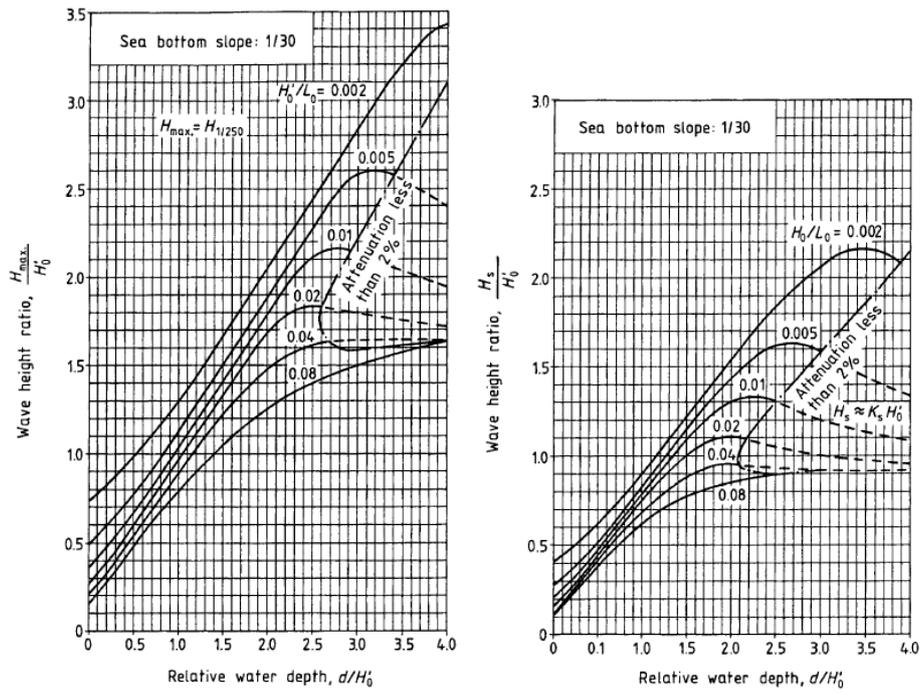
c) Diagrams for the estimation of wave height in the surf zone

Figura B.3 – Shoaling de onda e estimativa de altura de onda na zona de surfe (cont.) FONTE: [5]



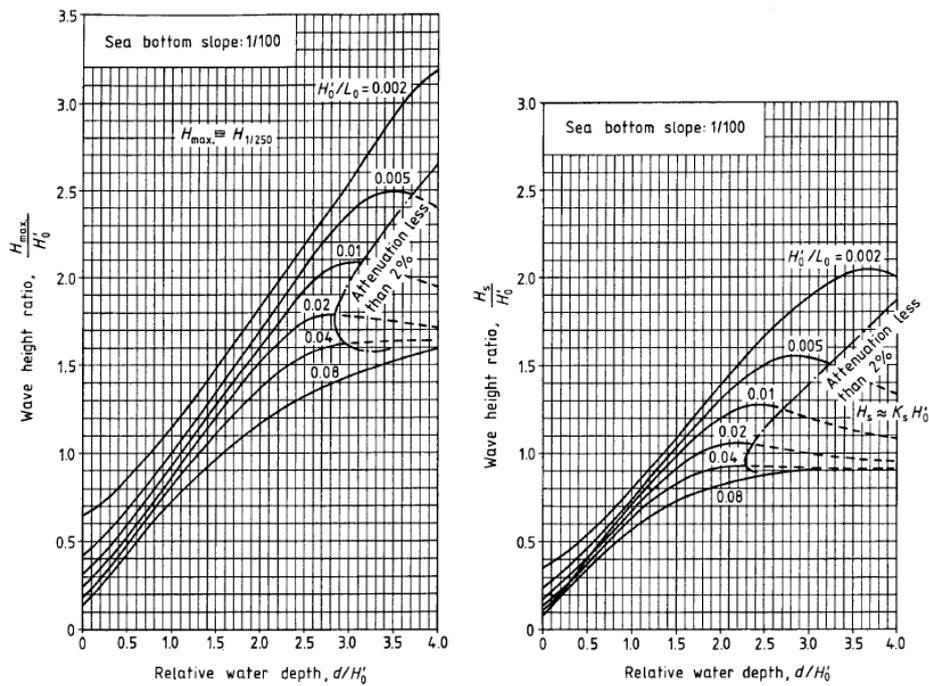
d) Diagrams for the estimation of wave heights in the surf zone (sea bottom slope of 1/20)

Figura B.4 – Shoaling de onda e estimativa de altura de onda na zona de surfe (cont.) FONTE: [5]



e) Diagrams for the estimation of wave height in the surf zone (sea bottom slope of 1/30)

Figura B.5 – Shoaling de onda e estimativa de altura de onda na zona de surfe (cont.) FONTE: [5]



f) Diagrams for the estimation of wave heights in the surf zone (sea bottom slope of 1/100)

Figura B.6 – Shoaling de onda e estimativa de altura de onda na zona de surfe (final) FONTE: [5]

ANEXO C: Propriedades da água e do vento.

As propriedades de engenharia da água e do ar na superfície da terra são fornecidos na Tabela C.1:

Tabela C.1 – Propriedades da água e do ar

Standard Salt Water at Sea Level at 15°C (59°F)

PROPERTY	SI SYSTEM	ENGLISH SYSTEM
Mass density, ρ_w	1026 kg/m ³	1.9905 slug/ft ³
Weight density, γ_w	10060 newton/m ³	64.043 lbf/ft ³
Volume per long ton (LT)	0.9904 m ³ /LT	34.977 ft ³ /LT
Kinematic viscosity, ν	1.191E-6 m ² /sec	1.2817E-5 ft ² /sec

Standard Fresh Water at Sea Level at 15°C (59°F)

PROPERTY	SI SYSTEM	ENGLISH OR INCH-POUND SYSTEM
Mass density, ρ_w	999.0 kg/m ³	1.9384 slug/ft ³
Weight density, γ_w	9797 newton/m ³	62.366 lbf/ft ³
Volume per long ton (LT)	1.0171 m ³ /LT	35.917 ft ³ /LT
Volume per metric ton (ton or 1000 kg or 1 Mg)	1.001 m ³ /ton	35.3497 ft ³ /ton
Kinematic viscosity, ν	1.141E-6 m ² /sec	1.2285E-5 ft ² /sec

Air at Sea Level at 20°C (68°F)*

PROPERTY	SI SYSTEM	ENGLISH OR INCH-POUND SYSTEM
Mass density, ρ_a	1.221 kg/m ³	0.00237 slug/ft ³
Weight density, γ_a	11.978 newton/m ³	0.07625 lbf/ft ³
Kinematic viscosity, ν	1.50E-5 m ² /sec	1.615E-4 ft ² /sec

* Note that humidity and even heavy rain has relatively little effect on the engineering properties of air (personal communication with the National Weather Service, 1996)

FONTE: [9]

ANEXO D: Tipos de serviço de amarração

MOORING SERVICE TYPE	DESCRIPTION
<p>TYPE I Mild Weather Mooring</p>	<p>This category covers moorings for mild weather (sustained winds of less than 35 knots; below gale force) and currents less than 1 knot. Mooring situations include ammunition facilities, fueling facilities, deperming facilities, and ports of call. Use of these moorings is normally selected in concert with forecasted weather.</p>
<p>TYPE II</p> <p>TYPE IIA Standard Mooring</p> <p>TYPE IIB Storm Mooring</p>	<p>This category covers moorings that are used through storm conditions. Moorings include standard, storm and nested configurations. Vessel will normally leave prior to an approaching hurricane, typhoon, surge or other extreme event. Naval ships intend to go to sea if 50 knot winds are expected, but storms may come up quickly, so higher design winds are recommended.</p> <p>MST IIA covers mooring in winds of 50 knots or less in broadside currents of 1-1/2 knots or less. The practice is to provide for full pier operation for MST IIA.</p> <p>MST IIB covers mooring in winds of 64 knot or less in broadside currents of a 2 knots or less. This is the intended Navy ship mooring design requirement. It is encouraged for general home porting because sudden storms can produce high winds on short notice. Pier operations may be impacted for MST IIB if lines must be run across a pier.</p>
<p>TYPE III Heavy Weather Mooring</p>	<p>This category covers moorings of vessels that cannot or may not get underway prior to an approaching hurricane or typhoon. Moorings include fitting-out, repair, drydocking, and overhaul berthing facilities.</p>
<p>TYPE IV Permanent Mooring</p>	<p>This category covers moorings that are used to permanently moor a vessel that will not leave in case of a hurricane, typhoon, or surge. Moorings include inactive ships, floating drydocks, ship museums, training berthing facilities, etc.</p>

FONTE: [9]

ANEXO E: Seleção de amarras em embarcações

A seleção de diâmetro, comprimento e número de amarras principais, seja de cabo de aço ou sintético, depende do tamanho e tipo de embarcação. As Tabela B.1 e Tabela B.2 apresentam-se os tamanhos normais de cabos de aço galvanizado e sintéticos carregado em navios, e as cargas de ruptura desses cabos. Arranjos de amarração devem consistir de todos os cabos sintéticos ou todos os cabos de aço visto que o uso de sistemas mistos com amarras de diferentes características podem levar a acidentes.

Tabela E.1 – Tamanhos de amarras sintéticas normalmente levados por navios, e a carga de ruptura desses cabos

Type	Gross registered tonnage (grt)	Rope diameter mm	Breaking load of eight-stranded plaited polypropylene kN
Dry cargo ships	Up to 2 000	40 to 48	190.2 to 266.7
	Over 2 000 up to and including 4 000	48 to 56	266.7 to 353.0
	Over 4 000 up to and including 8 000	52 to 60	308.9 to 404.0
	Over 8 000 up to and including 15 000	56 to 64	353.0 to 457.0
	Over 15 000	64 to 72	457.0 to 573.7
Ferries	Up to 2 000	40 to 48	190.2 to 266.7
	Over 2 000 up to and including 6 000	48 to 60	266.7 to 404.0
Liners	Over 6 000 up to and including 10 000	56 to 64	353.0 to 457.0
	Over 10 000	64 to 72	457.0 to 573.7
Tankers Bulk carriers	Deadweight tonnage (dwt)		
	15 000 up to and including 20 000	56 to 60	353.0 to 404.0
	Over 20 000 up to and including 40 000	60 to 64	404.0 to 457.0
	Over 40 000 up to and including 70 000	64 to 72	457.0 to 573.7
	Over 70 000 up to and including 120 000	72 to 80	573.7 to 706.1

FONTE: [8]

Tabela E.2 – Tamanhos de amarras de aço galvanizado normalmente transportadas por navios, e a carga de ruptura desses cabos

Type	Gross registered tonnage	6 × 24 (15/9/Fibre)		6 × 36 (14/7 and 7/7/1)		6 × 36 (14/7 and 7/7/1)		6 × 37 (18/12/6/1)	
		Fibre main core		Fibre main core		Steel core		Fibre main core	
		Nominal diameter mm	Minimum breaking load at 145 grade kN	Nominal diameter mm	Minimum breaking load at 180 grade kN	Nominal diameter mm	Minimum breaking load at 180 grade kN	Nominal diameter mm	Minimum breaking load at 145 grade kN
Dry cargo ships	Up to 2 000	22 to 26	193.2 to 269.7	18 to 22	188.3 to 281.4	×	×	22 to 26	202.9 to 283.4
	Above 2 000 up to and including 4 000	26 to 30	269.7 to 358.9	22 to 26	281.4 to 393.2	22 to 24	304.0 to 361.9	26 to 32	283.4 to 429.7
	Above 4 000 up to and including 8 000	28 to 32	311.8 to 407.9	24 to 28	335.3 to 456.9	22 to 26	304.0 to 424.6	28 to 32	328.5 to 429.7
	Above 8 000 up to and including 15 000	×	×	26 to 28	393.2 to 456.9	24 to 28	361.9 to 493.3	×	×
Ferries	Above 15 000	×	×	28 to 32	456.9 to 596.2	28 to 32	493.2 to 644.2	×	×
	Up to 2 000	22 to 26	193.2 to 269.7	18 to 22	188.2 to 281.4	×	×	22 to 36	202.9 to 283.4
Liners	Above 2 000 up to and including 6 000	26 to 32	269.7 to 407.9	22 to 28	281.4 to 456.9	22 to 26	304.0 to 424.6	26 to 32	283.4 to 429.7
	Above 6 000 up to and including 10 000	×	×	26 to 28	393.2 to 456.9	24 to 28	361.9 to 493.3	×	×
	Over 10 000	×	×	28 to 32	456.9 to 596.2	28 to 32	493.3 to 644.3	×	×
Deadweight tonnage									
Tankers	15 000 up to and including 20 000	×	×	26 to 28	393.2 to 456.9	24 to 26	361.8 to 424.6	32	429.6
Bulk carriers	Above 20 000 up to and including 40 000	×	×	28	456.9	26 to 28	424.6 to 493.2	×	×
	Above 40 000 up to and including 70 000	×	×	28 to 32	456.9 to 596.2	28 to 32	493.2 to 644.3	×	×
	Above 70 000 up to and including 120 000	×	×	32 to 35	596.2 to 712.9	32 to 36	644.3 to 815.9	×	×

NOTE × denotes not available for these vessel sizes

FONTE: [8]