



Estruturas e equipamentos portuários

Aeroportos, portos e vias navegáveis

Prof. Antônio Néelson Rodrigues da Silva
Prof. Adalberto Leandro Faxina

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Transportes



Estrutura da apresentação

- Introdução
- Dimensionamento geral de um porto
- Terminais
 - carga geral
 - Containers
 - Roll-on Roll-off (Ro-Ro)
 - cargas líquidas
 - cargas secas
 - outros terminais
- Obras de proteção portuária
- Estruturas de atracação
- Disposição geral dos portos



Introdução

- **Planejamento dos equipamentos de um porto**
 - Operações a longo prazo
 - Ampla gama de materiais
 - Inclusive solos e rochas
 - Ações extremamente variáveis
 - Ondas, ventos, correntes, marés, etc



Introdução

- **Única certeza**

**Atividade com razoável
grau de incerteza!!**



Introdução

- **Causas da incerteza**
 - Operações a longo prazo
 - Impossibilidade de previsão total dos fenômenos naturais
 - Variações do tráfego
 - Navios e veículos terrestres



Introdução

- **Se a probabilidade de ocorrência de fenômenos extremos não for considerada de forma bastante cuidadosa...**



Introdução

... interrupção das operações de carga e descarga

- ação das ondas e da maré

... alterações nas estruturas de proteção e obras de acostagem (molhes e quebra-mares)

- ação das ondas, correntes, ventos e maré



Introdução

Alternativa ideal para minimizar eventuais problemas

- Equipamentos capazes de enfrentar piores condições
- Probabilidade de ocorrência bastante remota

CUSTOS MUITO ELEVADOS!!!!

Introdução

DESAFIO

**BOAS
CONDIÇÕES DE
OPERAÇÃO
MAIOR TEMPO
POSSÍVEL**



**MENOR
CUSTO
CONSTRUÇÃO
MANUTENÇÃO**



Introdução

Principais elementos de análise do projeto

- **Nível d'água muito elevado**
 - Inundações e interrupção da operação no porto
- **Nível d'água muito baixo**
 - Dificulta manobras dentro do porto



Introdução

Principais elementos de análise do projeto (cont.)

- Ventos muito fortes
- Correntes muito fortes
- Ondas muito violentas
- Oscilações da maré



Introdução

- **Análise mais abrangente**

Projeto de novo porto
deve buscar o **equilíbrio** entre os
custos envolvidos na sua **construção**
e a **economia** que sua operação pode
trazer **para o país ou região!!**



Dimensionamento geral de um porto

- O dimensionamento adequado do porto garantirá a segurança das embarcações e satisfazer as suas necessidades operacionais vitais
 - acesso fácil
 - profundidades suficientes
 - ancoradouros seguros
 - sistemas de auxílio à navegação eficientes
 - sistemas de emergência compatíveis



Dimensionamento geral de um porto

- O dimensionamento adequado do porto deve assegurar uma eficaz atenção às cargas, inclusive uma administração eficiente e ágil, de modo a garantir baixo custo e rapidez nas operações de transbordo
 - cais com extensão e profundidade adequadas
 - equipamentos com capacidade compatível com os volumes e cargas movimentados



Dimensionamento geral de um porto

Um porto, entre outras condições, deve:

coordenar a convivência das instalações com as condições do rio, baía, estuário, etc., com o regime de ventos e correntes, com a topografia da área circunvizinha e com o meio ambiente

aproveitar ao máximo, as condições naturais, pois isso garante menores custos de implantação

evitar ao máximo as obras de proteção e aprofundamento, em virtude do altíssimo custo dessas obras



Dimensionamento geral de um porto

ETAPAS DO PROJETO DE UM PORTO

Definição do tipo de obra, conforme a sua utilização, levando em consideração as condições topográficas, hidráulicas, climáticas, geotécnicas e ambientais

Fixação dos parâmetros de projeto (dimensões e esforços) em função das embarcações-tipo e dos equipamentos previstos

Dimensionamento das estruturas e respectivas proteções

Definição e dimensionamento das estruturas auxiliares e das obras complementares

Dimensionamento geral de um porto - exemplo

Transporte de minério de ferro entre Maranhão e Holanda

<https://www.logisticadescomplicada.com/porto-de-roterda/>

- ❑ o porto de Rotterdã possui calado de 24m
- ❑ é um dos dois portos no mundo capazes de receber navios graneleiros como o Berge Stahl, que transporta minério de ferro do Brasil para a Holanda
- ❑ este navio tem calado de 23m e precisa contar com a ajuda da maré para operar com segurança (apenas 1 metro de folga entre o casco e o chão quando atraca em Roterdã)
- ❑ este navio sai do Terminal de Ponta da Madeira (porto privado operado pela Vale próximo a São Luís – MA, que tem calado de mais de 26m na maré baixa)





Dimensionamento geral de um porto

- **Influência dos navios**
- **Sistemas de armazenagem**
- **Sistemas de carga e descarga**



Dimensionamento geral de um porto

- **No passado**

- Feito de forma empírica
- Ignorava efeitos do tamanho do porto (berços disponíveis)
- Capacidade de berços
 - 100 a 150 mil toneladas anuais (carga geral)
 - 50 a 100 mil contentores



Dimensionamento geral de um porto

- **Dimensionamento empírico**

**CUSTO DE ESPERA DOS NAVIOS PODE
SER MAIOR QUE O CUSTO DE
CONSTRUIR MAIS BERÇOS**



Dimensionamento geral de um porto

- **Dimensionamento dos equipamentos de carga/descarga**

CUSTOS TOTAIS

Capital para construção
Custos de operação e
manutenção de
equipamentos

BENEFÍCIOS REDUÇÕES

Tempos carga/descarga
Custos carga/descarga
Eventuais danos à
carga



Dimensionamento geral de um porto

- **Otimização de diversos componentes do sistema**
 - Berços
 - Equipamentos carga/descarga
 - Instalações de armazenagem
 - Navios
 - Modos de transporte terrestre

SIMULAÇÃO!!!!



Dimensionamento geral de um porto

CAPACIDADE ANALÍTICA EXIGIDA

Muro de gravidade	1
Muro de estacas	3
Plataforma de cais	5
Quebra-mar	20
Ação das ondas	50
Regime de marés	200
Regime de sedimentação	300



Dimensionamento geral

Influência dos navios

- **Influência decisiva no dimensionamento de um porto**
 - Perspectivas para o futuro
 - Tendências de especialização
 - Crescimento das dimensões das embarcações
 - Portos com condições específicas



Dimensionamento geral

Influência dos navios

Berços

Comprimento

**Profun-
didade
Berços**

Boca

**Cais e
Piers**

Calado

**Área
Armaze-
nagem**

Capacidade de carga do navio

Equipamentos carga/descarga do navio

**Canais
de Nave-
gação**

Tipo de carga

Defensas

Caract. locomoção, estruturais e de forma

**Equip.
carga
descarga**

Equipamentos de amarração

**Acostag.
Amar-
ração**

Manobrabilidade a baixas velocidades

Dimensionamento geral

Influência dos navios





Dimensionamento geral

Armazenagem e carga/descarga

- **Variam de acordo com a carga**
 - Exemplo - berços para carga geral
 - Carga/descarga perpendicular à embarcação
 - Ao longo de toda a extensão do navio
 - Grande área em terra
 - Adjacente ao cais
 - Armazenagem próxima
 - Custos de transporte horizontal



Dimensionamento geral

Armazenagem e carga/descarga

- **Variam de acordo com a carga**
 - Exemplo oposto - navios-tanque
 - Carga/descarga em um único ponto
 - No centro da embarcação
 - Pequena plataforma
 - Estruturas para atracação isoladas
 - Estocagem não precisa ser próxima
 - Transporte sem custos muito elevados



Dimensionamento geral

Armazenagem e carga/descarga

- **Regra geral**

- Instalações e equipamentos para a maior gama possível de finalidades
- Flexibilidade para operar com diferentes sistemas

- **Exceção**

- Sistemas extremamente especializados
- Só com tendência de operação por um período de tempo longo



Dimensionamento geral de um porto

**a concepção de um porto é um trabalho multidisciplinar
onde são necessários conhecimentos profundos de**

hidráulica

geotecnia

cálculo estrutural

engenharia naval

navegação

planejamento e gerenciamento de transportes

hidrografia

meteorologia

ecologia

Terminais para carga geral

Porto de Rostock - Alemanha





Terminais para carga geral

- **Elevação do piso do cais**
 - Previsto para a combinação entre maior maré e maiores ondas
 - Mesmo rara
(muitas vezes, nem mesmo uma por ano)
 - Elevação ao máximo
 - Investimento significativo
 - Comparado com custos de inundações, interrupções de operação e danos nos equipamentos



Terminais para carga geral

- **Medidas gerais**

- Pátio junto ao cais
 - 20 a 40 metros
- Área de armazenagem
 - 40 a 60 metros
- Áreas de acesso para rodovias e ferrovias
 - 20 a 30 metros
- Largura total a partir do cais
 - 80 a 130 metros

- **Restrições**

- Indisponibilidade de aterro
- Declividades acentuadas



Terminais para carga geral

- **Detalhes de projeto**

- Dimensões dos armazéns cobertos
- Plataformas de carga/descarga
- Armazenagem descoberta
 - Automóveis, caminhões, minério, aço
- Pavimentos adequados
- Equipamentos de carga/descarga
 - Do navio para o pátio (guindastes dos navios ou do porto, sobre pneus ou trilhos)
 - Do pátio para a área de armazenagem (empilhadeiras e tratores)
 - Dentro das áreas de estocagem (empilhadeiras, transpaleteiras)



Terminais de containers

- **Uso de containers**

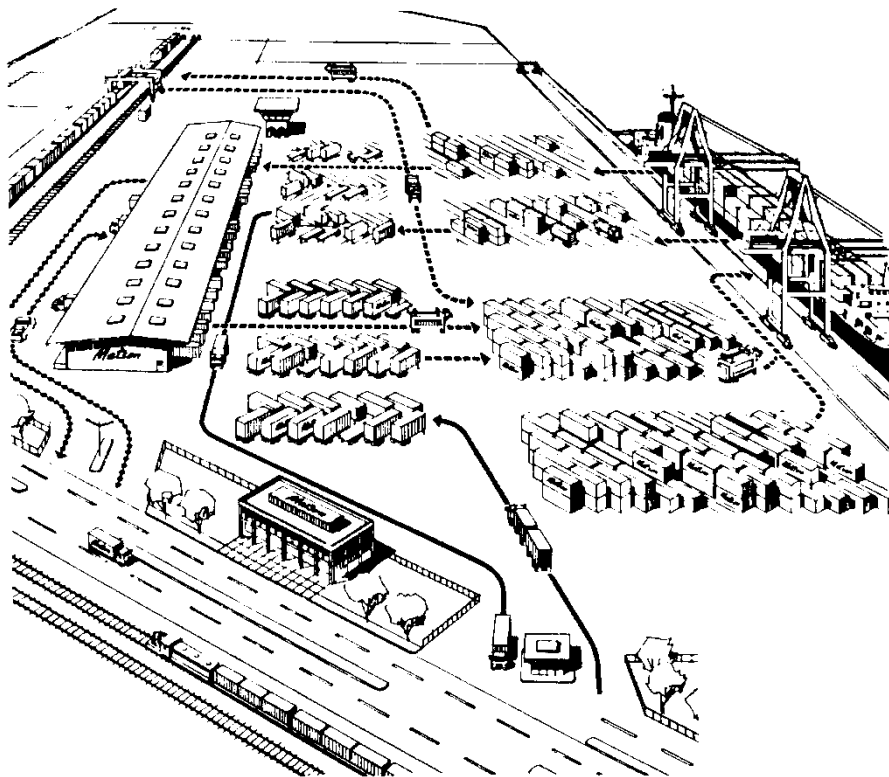
- Por volta de 1950
- Estados Unidos
- Empresa de transporte terrestre e marítimo

- **Vantagens**

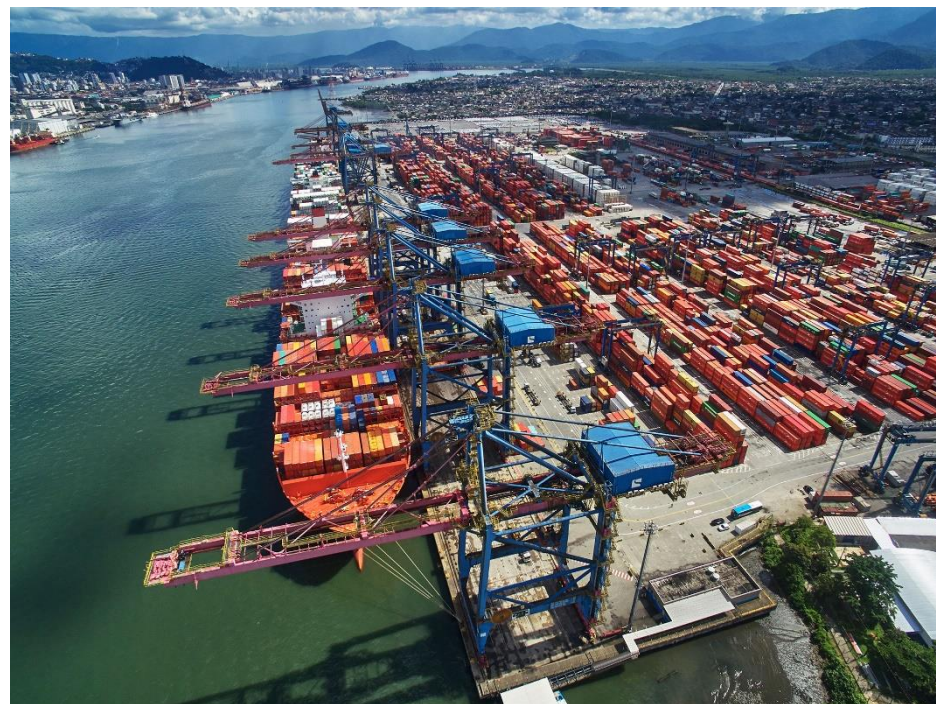
- Rapidez de operação
- Tempo de armazenagem baixo
- Carga mais protegida

Terminais de containers

Características gerais

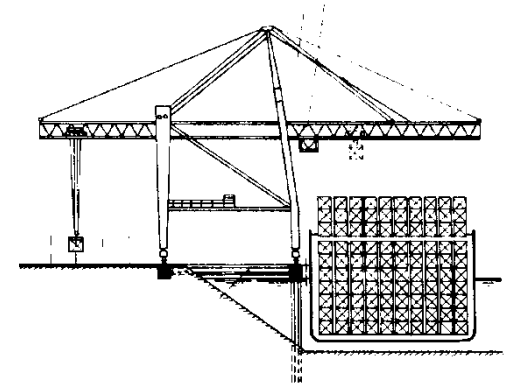


Porto de Santos



Terminais de containers

- **Área de pátio**
 - Normalmente ao longo do navio
 - Não tão importante quanto para carga geral
- **Largura do pátio**
 - Tamanho de guindaste empregado
 - Vias – transporte horizontal
- **Área para armazenagem**
 - Altura de estocagem
 - Áreas exigidas para acesso aos containers
 - Tempo médio de permanência da carga



Terminais de containers

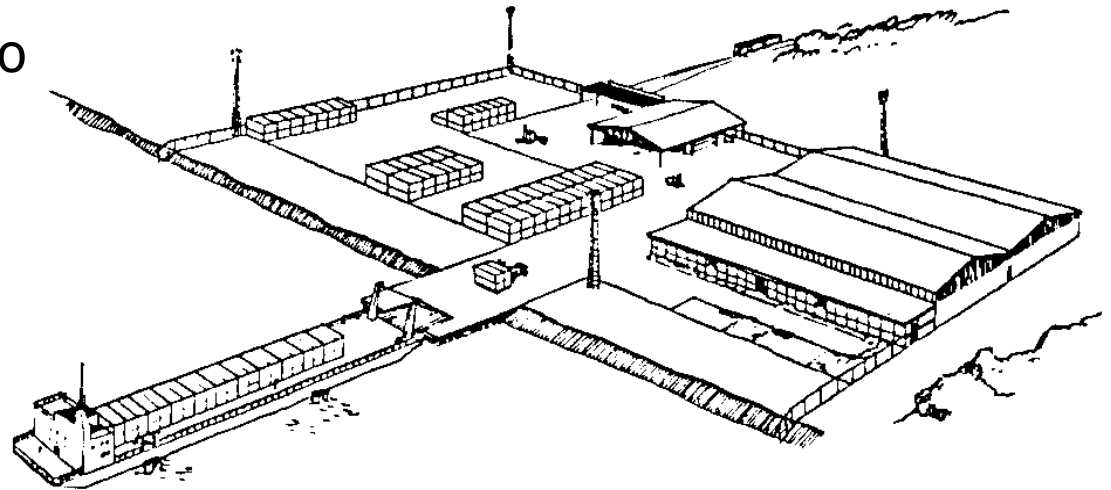
Porto de Santos

<https://anba.com.br/wp-content/uploads/2018/09/dp-worldsantos2-1030x620.jpg>



Terminais Ro-Ro

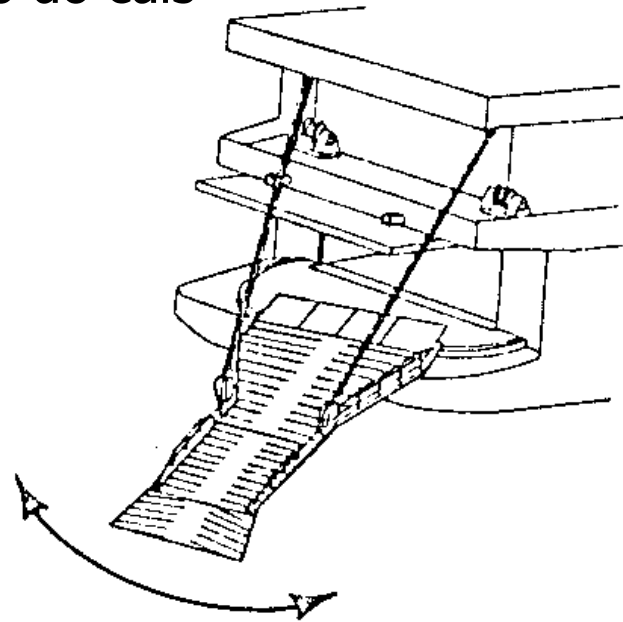
- **Conversão de berços existentes simples e não muito cara**
- **Construção não é cara para**
 - Variação de maré não muito grande
 - Navio atracado em dolphins



Terminais Ro-Ro

- **Alguns navios**

- Rampas que permitem a utilização de berços convencionais
- Navio fica atracado ao longo do cais
- Portas laterais ou na parte posterior, em ângulo





Terminais Ro-Ro

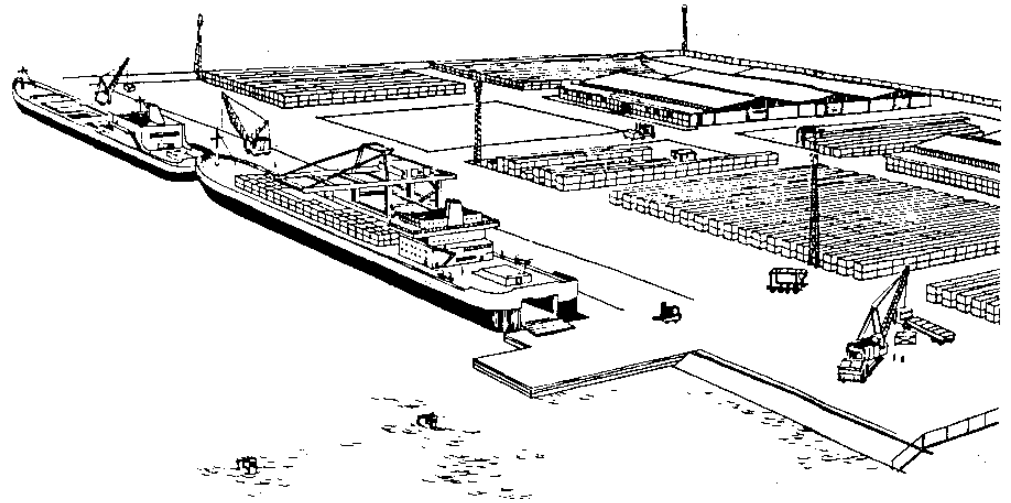
Porto de Haikou China

http://www.seanews.com.tr/imagess/haberler/2012_04/76567/u3_Haikou_PORTcopy.jpg



Terminais Ro-Ro

- **Navios sem rampas próprias**
 - Exigem condições especiais
 - Simples em navios com aberturas laterais
 - Abertura posterior requer plataforma perpendicular ao cais
 - Carga e descarga também pode ser lateral, por meio de guindastes





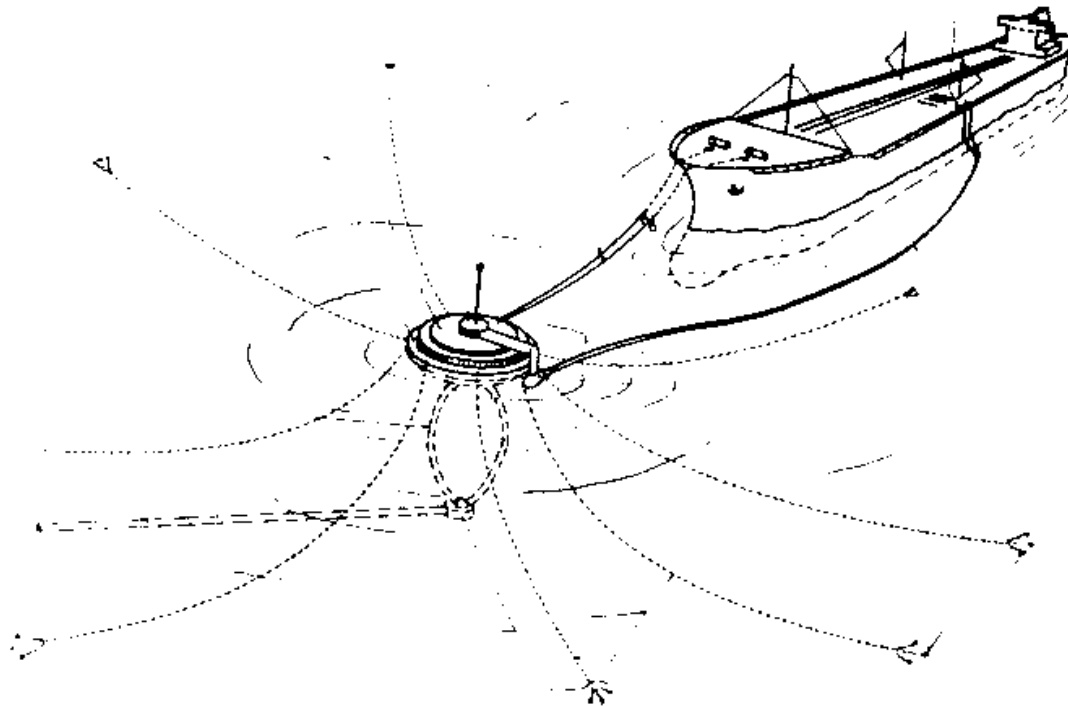
Terminais para cargas líquidas

- **Produtos mais comuns**

- Petróleo e derivados
- Transferência do produto feita por dutos
- Reservatórios em terra afastados da costa
- Bombeamento limita altura e distância

Terminais para cargas líquidas

Berço convencional





AGO 94







Terminais para cargas secas

- **Diversos tipos**

- Minerais
- Carvão
- Grãos (cereais)
- Outros (cimento etc.)

- **Minério de ferro**

- Pode ser interessante reservar um ou mais berços exclusivos



Terminais para cargas secas

- **Transporte horizontal**

- Esteiras transportadoras
- Área de estocagem próxima do berço
- Requer análise cuidadosa
 - Pode provocar problemas para a estrutura do cais
 - Considerável esforço adicional



MT - PORTOBRÁS
DO CAS DO PARA

Terminais para cargas secas

Porto de Tubarão - ES

<https://webportos.labtrans.ufsc.br/Tup/Imagem/1565>

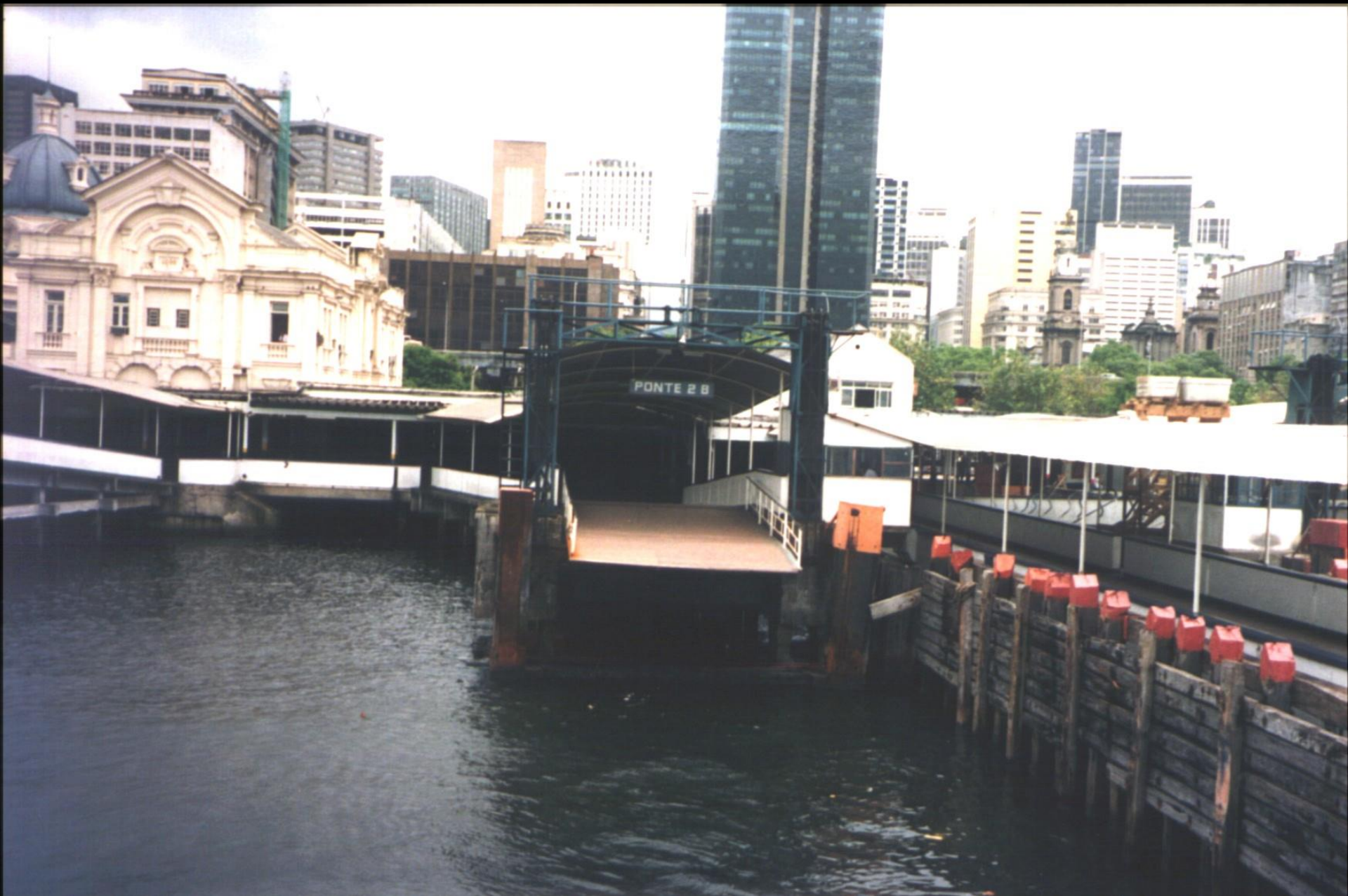




Outros terminais

- **Barcaças para transporte regular**
 - Veículos e/ou passageiros
 - Transporte "urbano"



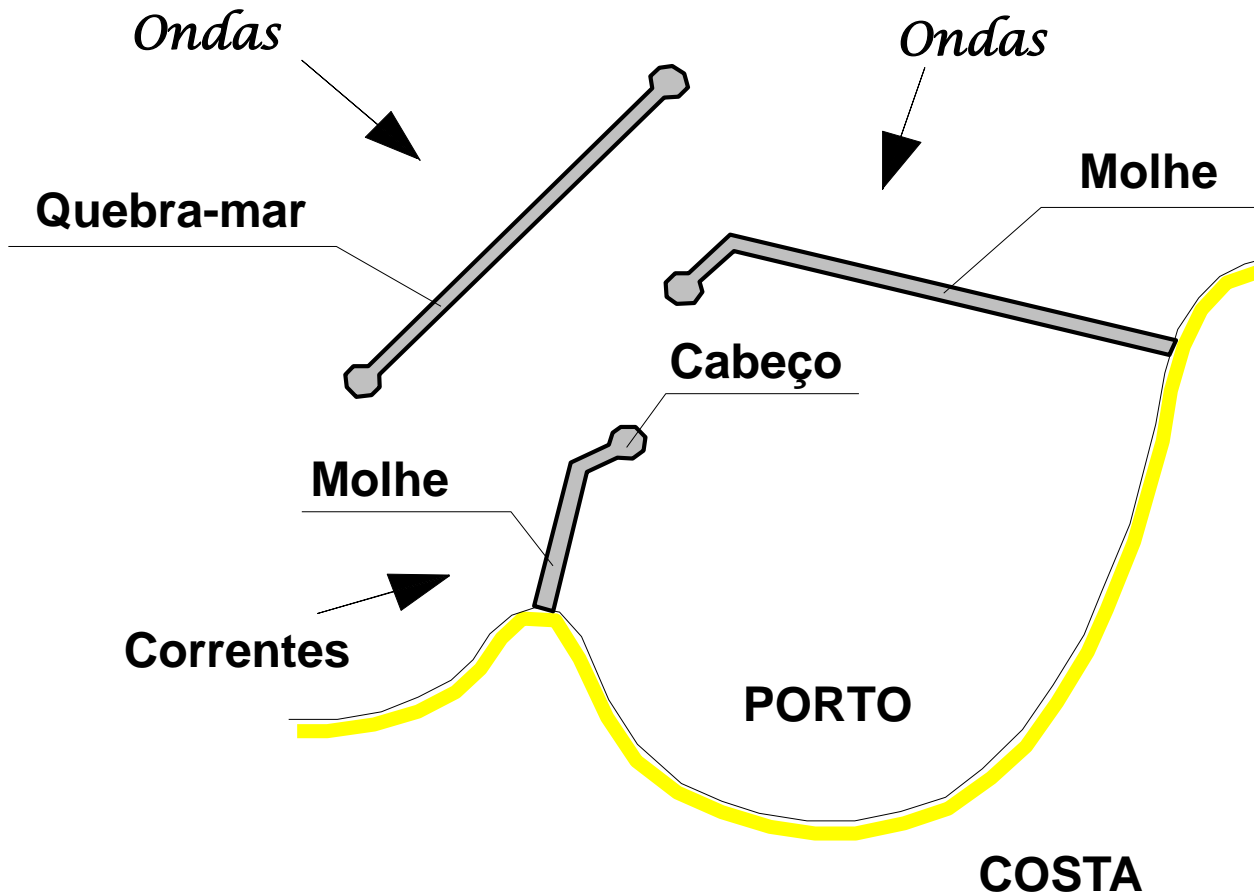




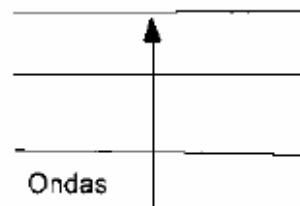
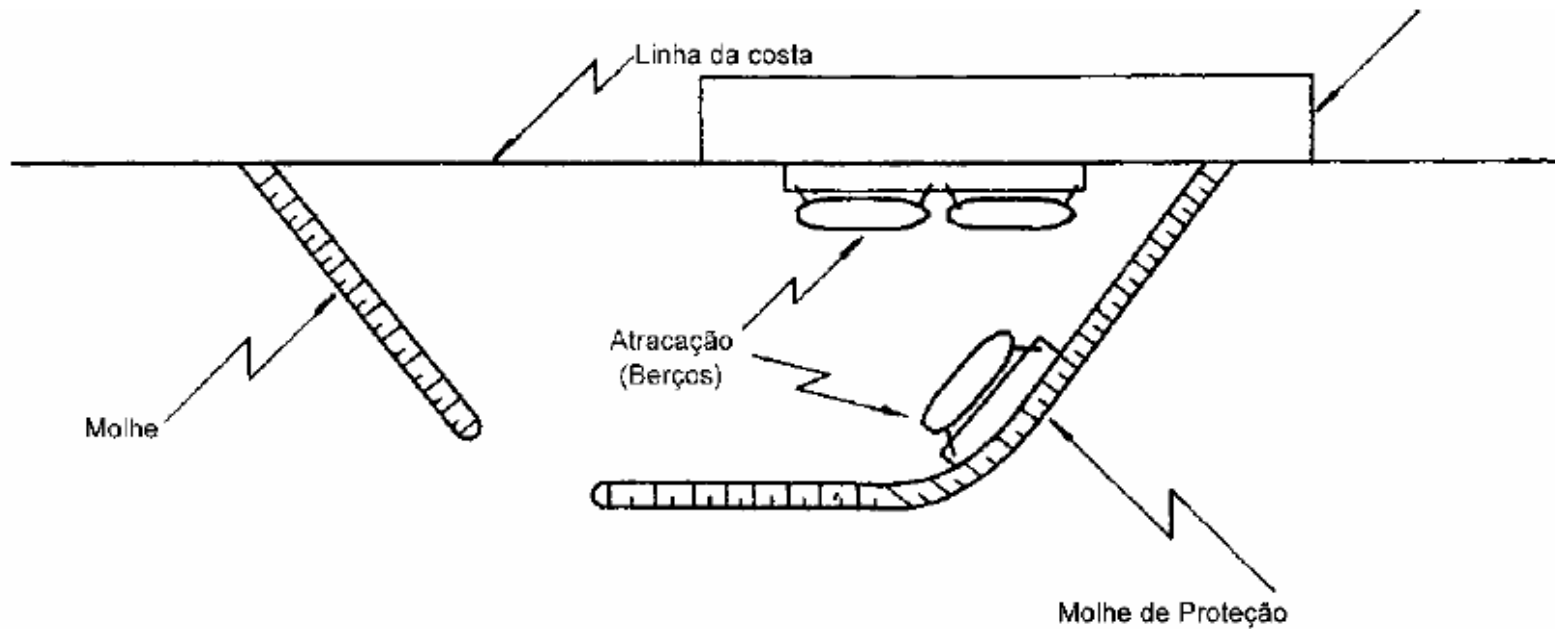
Estruturas externas

- **Classificação segundo a posição**
 - **molhe: uma extremidade ligada à costa**
 - **quebra-mar: nenhuma ligação com a costa**
 - **diques: ambas as extremidades ligadas à costa**

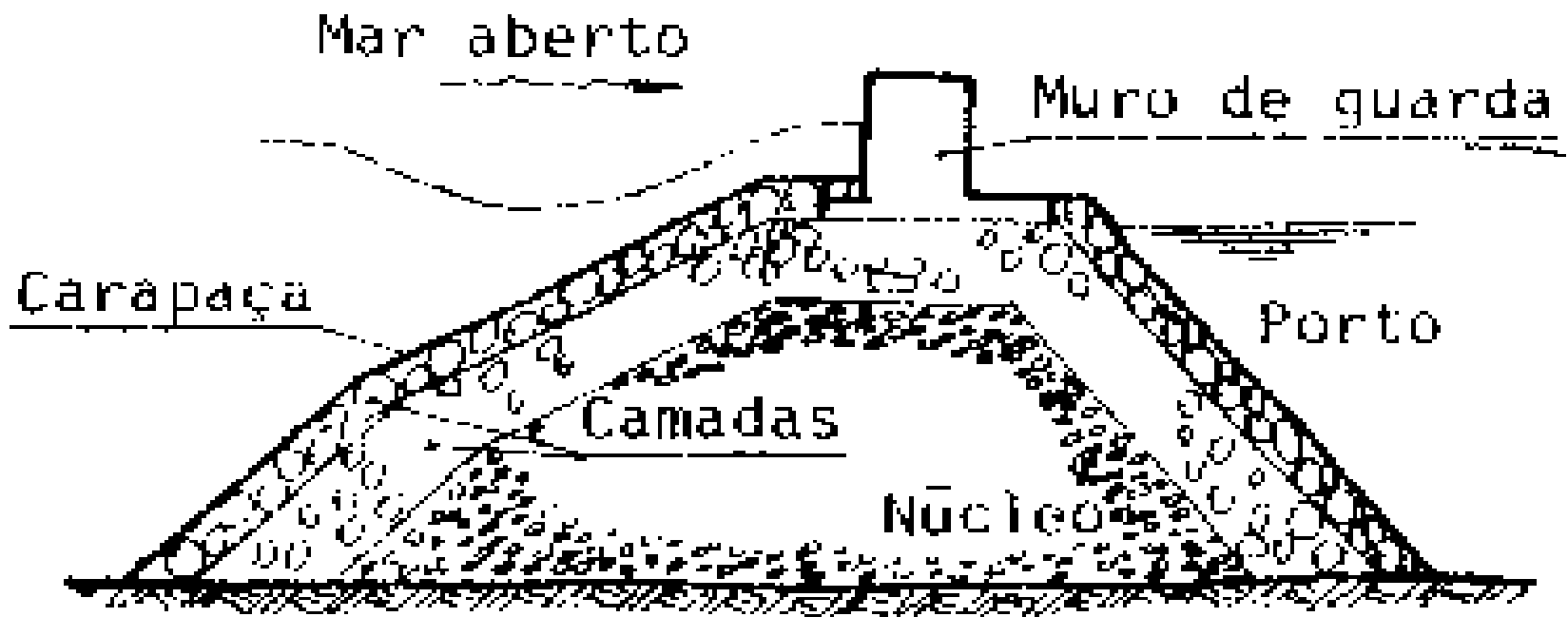
Estruturas externas



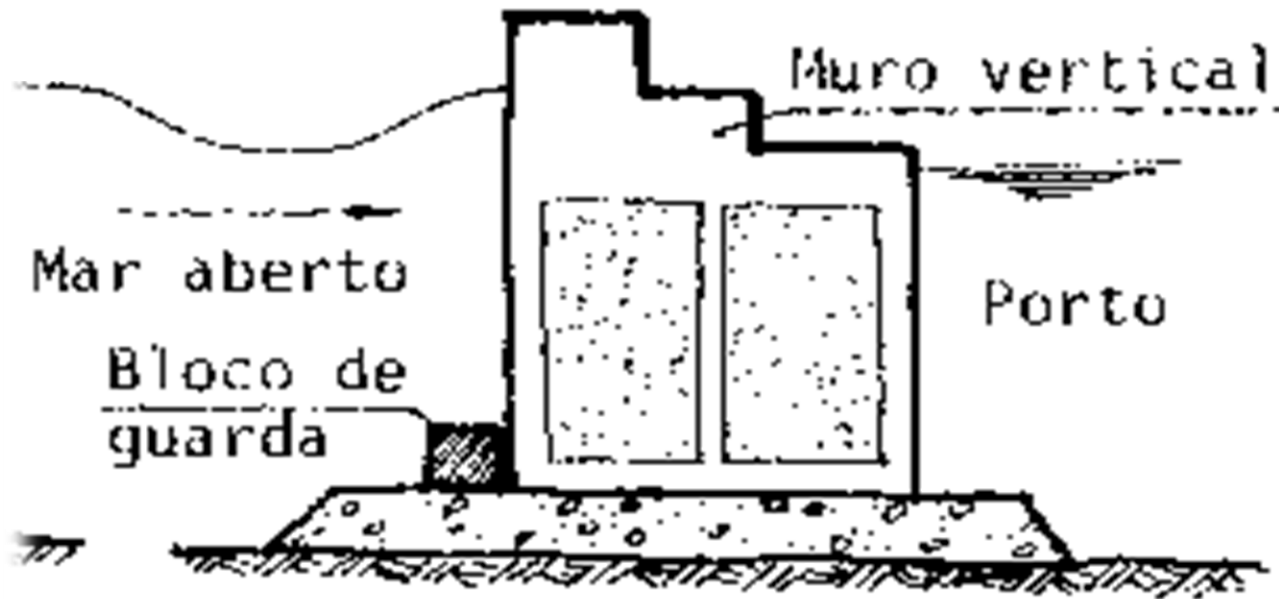
Estruturas externas



Estruturas externas



Estruturas externas





Obras de acostagem mais comuns

Cais

Piers

Dársenas

Obras de acostagem mais comuns

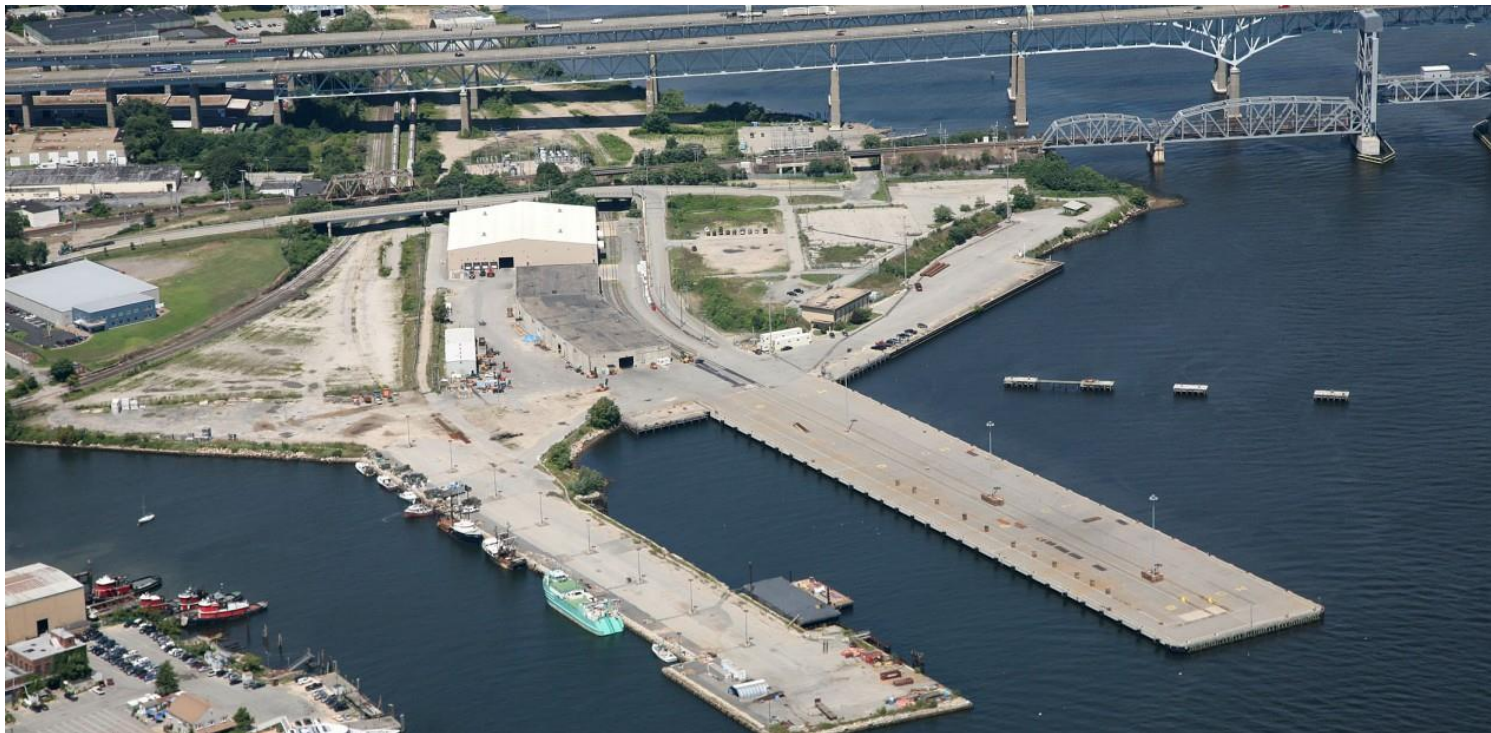
Cais

Instalação
longitudinal à costa



Obras de acostagem mais comuns

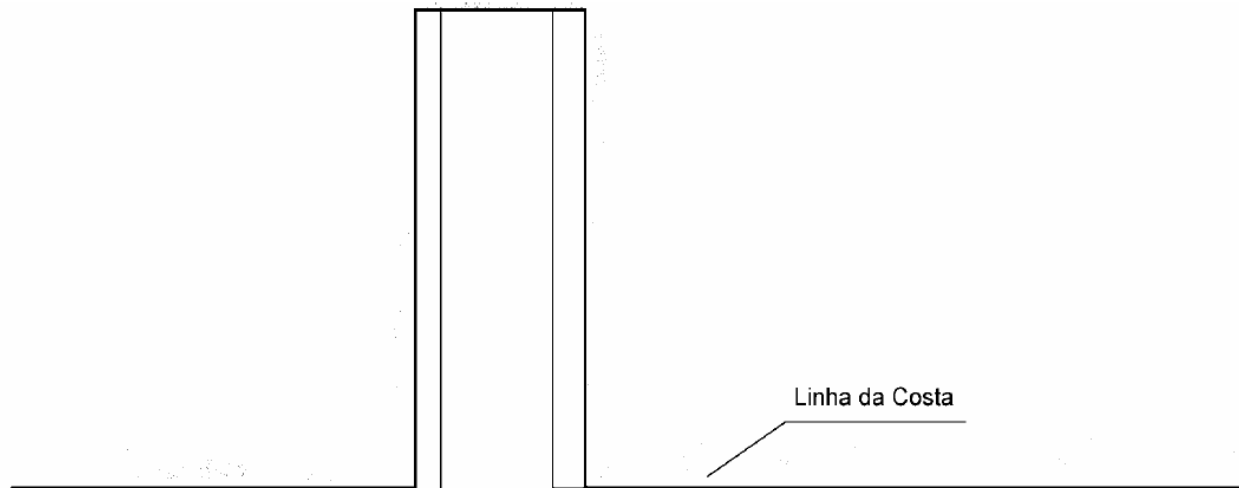
Pier: Instalação normal à linha de costa, com largura e comprimento compatíveis com os navios que operam no porto



Obras de acostagem mais comuns

dársena

Instalações compostas de dois piers paralelos, com distância entre eles aproximadamente igual à boca da embarcação, permitindo o acesso de dispositivos de transbordo pelos dois lados



Obras de acostagem mais comuns



https://s0.geograph.org.uk/geophotos/05/04/85/5048551_9ebb2b9a.jpg

Dársena



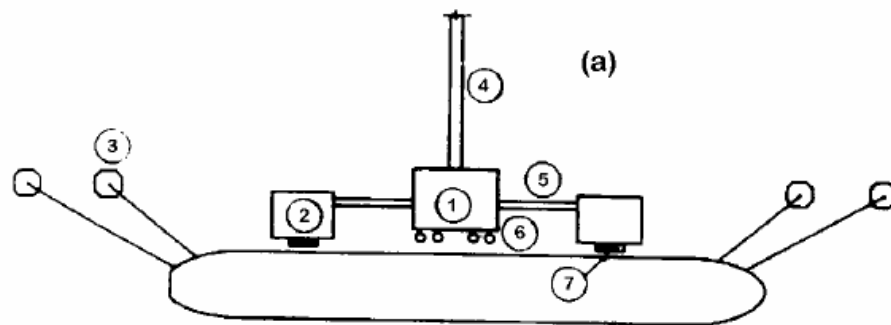
<https://www.bairdmaritime.com/wp-content/uploads/191203-8-JMU-380x280.jpg>

Obras de acostagem mais comuns

Estruturas de amarração

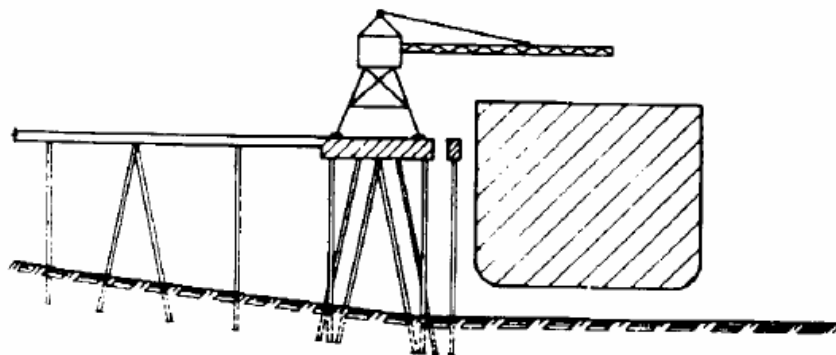


Obras de acostagem mais comuns



PLANTA

- 1 - Plataforma de carga ou descarga
- 2 - Dolfin de atracação
- 3 - Dolfin de amarração
- 4 - Ponte de acesso
- 5 - Passarela
- 6 - Dolfin elástico
- 7 - Defensas



(b)

CORTE



Estruturas de amarração

Dolphins ou Duques d'Alba

estruturas compostas por estacas ou por conjunto de estacas em cujo topo se instalam cabeços de amarração

bóias de amarração

estruturas flutuantes presas ao fundo por âncoras ou poitas



Estruturas de amarração





Disposição geral dos portos

Principais áreas componentes

Canal de acesso

Anteporto

Porto

Retroporto



Disposição geral dos portos

CANAL DE ACESSO

faixa navegável, que liga o alto mar às instalações portuárias

deve ter largura mínima igual ao comprimento do maior navio que opere no porto, de forma a permitir que o barco fique de través, sem encalhar

A profundidade mínima desse canal é dada pela relação:

$$p = c + B/3 + f$$

p = profundidade, c = calado do navio de projeto, B = boca do navio de projeto,
 f = amplitude das marés (ou cheias no caso de portos fluviais)



Disposição geral dos portos

ANTEPORTO

área ampla, onde os barcos ancoram aguardando os trâmites aduaneiros, fiscais e de saúde e também vaga nas estruturas de acostagem

PORTO (propriamente dito)

onde se encontram as instalações de acostagem, transbordo e armazenagem, além de área livre para a manobra dos navios (bacia de evolução)

RETROPORTO

área situada em terra, onde estão implantados os sistemas de apoio, as vias de interligação e as regiões industriais dependentes do transporte aquaviário

Layout portuário

Porto de Roterdã

https://www.greenport.com/__data/assets/image/0039/839289/varieties/1200.jpg

