



Capitão-Tenente (EN) Roberto Cruxen Daemon D'Oliveira

Ajudante da Divisão de Estruturas da DOCM. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (IME).

Considerações Iniciais

A obsolescência da infraestrutura dos portos brasileiros se tornou um limitador à entrada de navios nos portos do país. Os portos que melhor atendem às necessidades das embarcações, mesmo que de forma não ideal, apresentam uma elevada taxa de utilização dos berços de atracação, uma vez que não há berços com infraestrutura suficiente para a entrada dos modernos navios que ora são utilizados no comércio marítimo mundial.

A taxa de ocupação dos berços de alguns portos chega a valores muito superiores a 50%, taxa considerada ideal para que não ocorra tempo de espera. O Terminal de Contêineres do Porto de Paranaguá, por exemplo, responsável por 8% da movimentação de contêineres nos terminais portuários brasileiros, apresenta uma taxa de ocupação dos berços de atracação superior a 90%, ocasionando tempo de espera de até 20 horas.

Segundo dados da Secretaria Especial de Portos (SEP, 2010), aproximadamente 90% das exportações brasileiras dependem do funcionamento dos portos do país. Em contrapartida, um estudo contratado pelo Ministério dos Transportes em 2005 (LEVANTAPORTOS, 2005) revelou que a expansão do comércio exterior brasileiro, baseada no setor industrial e, sobretudo no mineral e no agropecuário, exige constantes adaptações dos portos, que na maioria das vezes são construções seculares localizadas junto a centros urbanos.

Neste artigo são apresentados diversos tipos de obras portuárias, abordando aspectos relevantes. Procurou-se com este estudo proporcionar conhecimentos básicos a respeito do

assunto, de modo que fosse possível compreender melhor quais são os aspectos que normalmente são levados em consideração em estudos nesta área da engenharia.

Definição de Porto

Por definição, porto é uma área destinada a receber embarcações, que deve proporcionar aos seus usuários facilidades na transferência de materiais, cargas e pessoas, de água para terra e vice-versa.

A facilidade que um porto proporciona para seus usuários está diretamente ligada às condições de implantação do mesmo. Toda implantação portuária deve levar em consideração as condições de abrigo, as acessibilidades ao local escolhido, a área de retroporto disponível e os impactos ambientais provocados.

Retroporto é a designação para uma área terrestre preferencialmente localizada próxima às estruturas de atracação, onde ficam os depósitos de cargas a serem embarcadas ou desembarcadas, armazéns, frigoríficos, prédios administrativos, áreas da estiva, oficinas, pátios a céu aberto para caminhões, contêineres, áreas para prestadores de serviços, lojas, depósito de água potável, instalações para tratamento de esgoto e lixo, subestação de energia elétrica, polícia portuária e edificações administrativas. O retroporto deve também estar, preferencialmente, localizado próximo aos berços de atracação e se situar na própria retroárea do cais ou atracadouro, que é a área terrestre atrás da estrutura de acostagem.

O abrigo às correntes, ondas e ventos se constitui na condição ideal para escolha da localização geográfica de um porto. Além de



necessitarem de obras portuárias menos custosas, as regiões abrigadas proporcionam menores esforços durante as operações portuárias, uma vez que a reduzida intensidade dessas ações ambientais garante maior facilidade nas manobras para atracação, amarração e estadia da embarcação no berço de atracação.

A acessibilidade às regiões portuárias, por meio aquaviário, rodoviário, ferroviário, dutoviário e/ou aeroviário se constitui em um importante fator para o bom desempenho da logística implantada. Uma boa interligação entre os meios de transporte provê maior facilidade no transbordo de cargas e passageiros no porto.

Especialmente sob o ponto de vista aquaviário, a profundidade dos canais de acesso, das bacias de espera e de manobra e dos berços de atracação devem ser compatíveis com o comprimento, a boca e o calado das embarcações empregadas.

Os impactos ambientais provocados por implantações de portos ficaram mais em evidência nas últimas décadas. A Lei dos Portos (Nº 8.630/93), por exemplo, prevê que qualquer implantação portuária deve ser precedida de aprovação de um Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente (RIMA), uma vez que a inadequada implantação de um porto pode trazer severas implicações ao meio físico e biológico adjacentes.

Tipos de Portos

Segundo ALFREDINI E ARASAKI (2009), os portos podem ser classificados de acordo com a sua natureza de formação, localização e utilização.

Os portos que se localizam em áreas naturalmente abrigadas e que não necessitam de grandes intervenções para abrigo e acessibilidade aquaviária recebem a denominação, quanto à natureza de formação, de portos naturais.

Em contrapartida, portos que necessitam de grandes obras de abrigo e acessibilidade, tais como construção de quebra-mares e abertura de canais de acesso, são denominados portos artificiais.

A localização de um porto, para efeito de classificação, é definida a partir do seu posicionamento em relação à costa. Portos encravados ou salientes à costa são denominados portos exteriores. Quando posicionados além da linha de arrebentação da costa, recebem a denominação de portos ao largo, enquanto os portos lagunares, estuarinos ou no interior de deltas de rios são denominados portos interiores.

Quanto à utilização, existem dois tipos de portos: portos de carga geral e portos especializados. Como o próprio nome sugere, portos de carga geral movimentam qualquer tipo de carga, enquanto portos especializados atuam especificamente em um determinado setor: graneis sólidos ou líquidos, contêineres, pesqueiros, embarcações de lazer (marinas), embarcações de fins bélicos (bases navais), etc.

A Figura 1 mostra uma foto do porto de Navegantes - SC, exemplo de porto interior localizado às margens do Rio Itajaí-Açu, naturalmente abrigado em uma região estuarina e especializado em operações com contêineres.

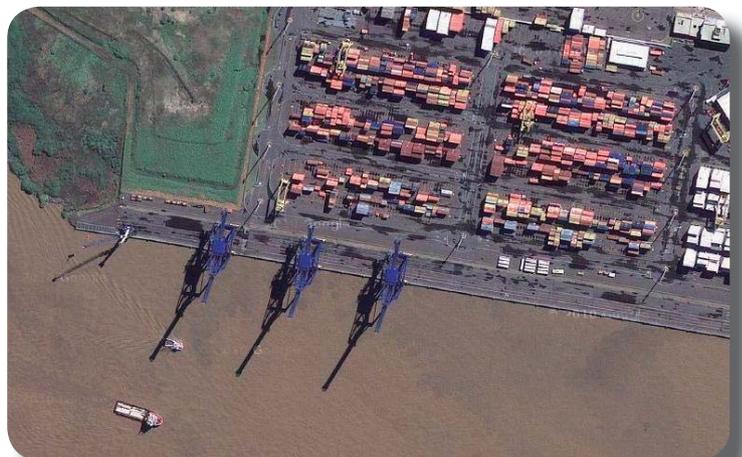


Figura 1 - Foto do Terminal Portuário de Navegantes-SC



Tipos de Estrutura das Obras de Acostagem

A necessidade de execução de obras de melhoria para implantação de portos, mesmo no caso de portos naturalmente abrigados, se mostra sempre presente, em maior ou em menor escala.

As obras de melhoria podem ser classificadas como externas ou internas. As externas, de maior vulto e necessárias em função das características locais, tratam da criação de condições de abrigo e acesso como, por exemplo, a construção de molhes, quebra-mares, canais de acessos e bacias. As obras internas, necessárias em qualquer implantação portuária, são executadas nas áreas abrigadas para permitir a realização das operações portuárias em terra e proporcionar a efetiva atracação das embarcações. Este é o caso das obras executadas nas retroáreas (aterros, urbanizações, pavimentações, edificações, etc) e das obras de acostagem.

As obras de acostagem podem ser longitudinais ou transversais, maciças ou sobre estacas e com paramento aberto ou fechado.

Estruturas de Acostagem com Parâmetro Aberto

Estruturas de acostagem com paramento aberto são compostas por uma plataforma principal apoiada sobre estacas. Os esforços horizontais de atracação são absorvidos por uma pequena cortina frontal que não atinge o leito do terreno e que tem a função apenas de transmitir os esforços de atracação das embarcações às lajes e às estacas inclinadas ou tirantes. Por outro lado, o empuxo de terra da retroárea é contido normalmente por um muro de contenção, talude de enrocamento ou *rip-rap*, executado com pedras britadas de granulometria elevada, conforme apresentado na Figura 2. Este enrocamento tem a

função de absorver as ações das ondas e deve ser corretamente planejado para que não interfira na cravação das estacas do cais.

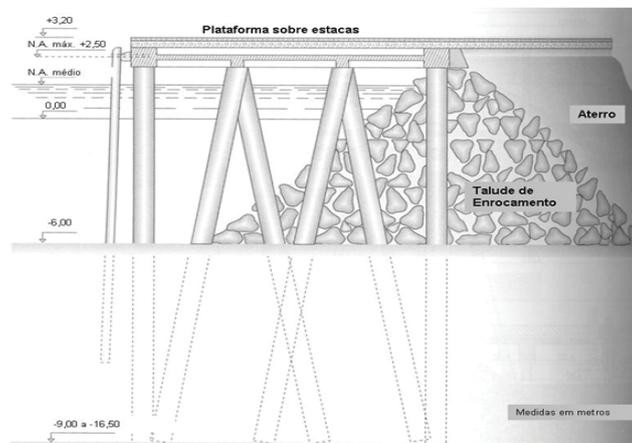


Figura 2 - Seção transversal típica de uma obra de acostagem com paramento aberto (ALFREDINI E ARASAKI, 2009).

Estruturas de acostagem com paramento aberto são consideradas leves e tem sido utilizadas em larga escala nos portos do país. A possibilidade de se obter calados mais profundos nos berços de atracação por meio de avanço da plataforma principal para água consiste em uma grande vantagem deste tipo de solução, uma vez que não há o avanço do aterro da retroárea por debaixo do cais. Isto acaba demandando menor volume de dragagem e aterro e minimiza os impactos ambientais decorrentes da implantação da obra sobre a água.

Visando a melhor absorção dos esforços horizontais, este tipo de estrutura pode ser executada com plataforma de alívio. Trata-se do avanço da própria plataforma principal sobre a retroárea, proporcionando um alívio das cargas horizontais nas estacas, já que as cargas passam a ser transmitidas também para o terrapleno.

Cais de Peso ou Gravidade

Os cais de peso ou de gravidade (Figura 3) se caracterizam por utilizarem primordialmente o peso próprio da estrutura para estabilização da



obra. São estruturas pesadas, com a base do maciço apoiada diretamente sobre o terreno de fundação. Podem ser construídas por meio de muralhas de blocos de pedra, de elementos celulares ou de caixões de concreto preenchidos com areia.

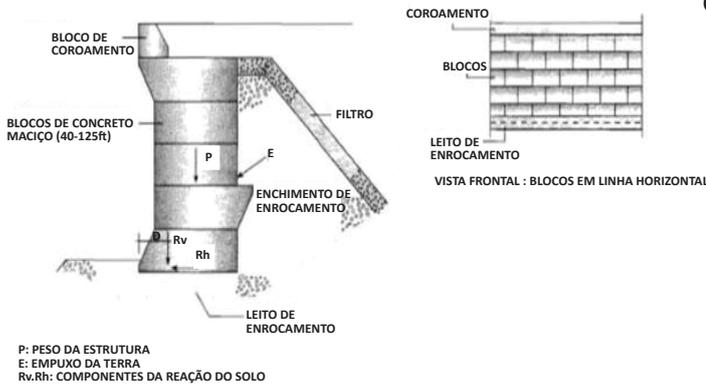


Figura 3 - Seção transversal típica de cais de gravidade em muralha de blocos (ALFREDINI E ARASAKI, 2009).

Este tipo de solução é de simples execução e foi largamente utilizada até meados do século passado. Com o passar do tempo vem caindo em desuso por ser considerada uma solução anti-econômica, principalmente nos casos onde são necessários berços de atracação com calados mais profundos.

Devido à sua alta durabilidade, existe ainda uma grande quantidade de portos em funcionamento que dispõem de berços de atracação com este tipo de solução. Por conta disso, trata-se de uma solução que atualmente demanda muito mais projetos de reforços do que de novas obras.

Cais em Cortina de Estacas-Pranchas

Trata-se de um tipo de obra de acostagem leve, com paramento fechado, na qual o fechamento frontal é executado com estacas-pranchas de madeira, metálicas ou de concreto.

Para obtenção de maiores calados, este tipo de solução é executada normalmente com uma ou mais linhas de apoio na parte superior, de modo

que a estabilidade não seja somente obtida pela ficha das estacas-pranchas. Estes apoios superiores podem ser obtidos por meio de plataformas de alívio (Figura 4) ou com tirantes ancorados no solo ou em blocos de estacas inclinadas (cavaletes), conforme mostrado na Figura 5.

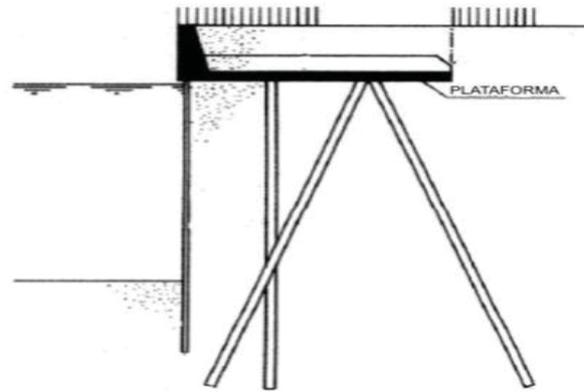


Figura 4 - Cais com cortina de estacas-pranchas com plataforma de alívio (AGERSCHOU et al., 1983).

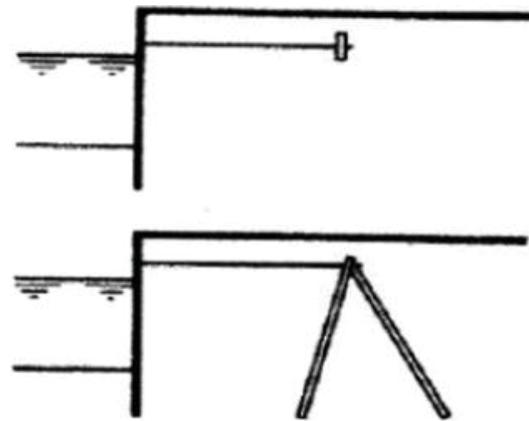


Figura 5 - Cais com cortina de estacas-pranchas com tirantes ancorados no solo e em cavaletes (AGERSCHOU et al., 1983).

Nas estruturas com plataforma de alívio, os carregamentos sobre a plataforma do cais são absorvidos pelo seu estaqueamento, não gerando empuxo sobre a cortina de estacas pranchas. Nas soluções sem este tipo de plataforma, o empuxo do solo que atua sobre a cortina de estacas-pranchas sofre influência direta dos carregamentos acidentais sobre o cais.



Estruturas Transversais à Costa ou à Margem

Este tipo de solução apresenta uma interface entre a retroárea e a obra de acostagem apenas no encontro do acesso da estrutura com o terreno, sendo nos demais aspectos semelhante ao cais de paramento aberto. São típicos os exemplos de píeres estaqueados em estruturas discretas, píeres flutuantes, píeres com rampas de acesso sucessivas, assim como tantas outras combinações possíveis para implantação de um terminal portuário.

Fatores Condicionantes

Na escolha do tipo de estrutura acostável, diversos são os fatores que influenciam e que devem ser cuidadosamente analisados para o sucesso e a economicidade da solução. Portanto, além de atender a todos os requisitos de segurança necessários para a implantação de uma obra de acostagem, deve-se procurar escolher aquela que melhor se adequa aos fatores que condicionam o seu projeto.

Tipo de Carregamento

A magnitude e a direção das cargas aplicadas em obras de acostagem podem variar de acordo com as características de outros fatores condicionantes, entretanto, tipicamente se observa que estruturas portuárias estão sujeitas a cargas horizontais importantes devidas ao empuxo da retroárea, aos esforços de atracação e de amarração.

Por outro lado, as cargas verticais podem ocorrer distribuídas ou concentradas, sendo comuns valores de cargas concentradas elevados. Isto se deve aos robustos equipamentos de movimentação de cargas instalados nas plataformas, como os portêineres.

Em função da representatividade dos carregamentos para o conjunto, a solução ideal em alguns casos pode não ser a adequada em

outros, de modo que a definição prévia do tipo de carregamento é um importante fator na definição do partido estrutural a ser adotado para as obras de acostagem.

Os carregamentos atuantes em uma estrutura podem ser estáticos ou dinâmicos, fixos ou móveis e são classificados em função de sua variação no tempo (permanentes, variáveis e excepcionais).

Os carregamentos permanentes são essencialmente os decorrentes da ação da gravidade (peso próprio) e estão sempre presentes ao longo de toda a vida da obra. Possuem posição e magnitude constantes ou com variações teóricas ao longo do tempo que podem ser desprezadas.

Os carregamentos variáveis se referem às cargas externas cujas magnitudes e posicionamentos são variáveis ao longo do tempo e possuem uma forma ou frequência contínua. Podem ser cargas hidráulicas, empuxos de terra, ações ambientais (correntes, ventos e ondas), esforços de amarração e atracação e sobrecargas em geral.

Os carregamentos excepcionais são oriundos de cargas de caráter fortuito ou anormal, resultantes de acidentes, uso indevido ou condições ambientais e de serviço excepcionais. São ações com baixa probabilidade de ocorrência, ou com curto período de duração. Entretanto, quando ocorrem podem afetar significativamente a segurança da estrutura. A execução de dragagens em profundidades superiores às de projeto é um exemplo de carregamento excepcional. Em situações onde ações inicialmente imaginadas como excepcionais se tornam permanentes ou de longa duração devem ser previstas obras de reforço.

Mais informações a respeito de ações em estruturas portuárias podem ser obtidas na NBR (1) 9782 (ABNT, 1984) e em MASON (1982).

(1) NBR - Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)



Características Topobatimétricas

O levantamento topobatimétrico tem por objetivo o estudo da continuidade da topografia do leito marinho, fluvial ou lacustre e a definição das cotas do terreno sob as águas.

A profundidade disponível após a implantação de uma obra de acostagem e a tendência para assoreamentos dependem das características topobatimétricas locais. Assim, o conhecimento preciso destas características é de vital importância para escolha de uma solução eficiente que não apresente elevados custos de implantação e manutenção dos canais de acesso e dos calados dos berços de atracação.

Características do Solo

O conhecimento do solo local da área destinada à implantação de uma obra de acostagem é determinante para o sucesso da empreitada, pois além de ser o responsável pela fundação das obras, é também um importante carregamento atuante nos casos dos empuxos.

A escolha do local de implantação de um porto leva em consideração diversos fatores, dentre os quais se destaca a preferência por uma área naturalmente abrigada, que propicie maior segurança às embarcações. A execução de grandes obras de melhoramento para criação de abrigos representa custo e por isso são evitadas na medida do possível. Deste modo, as características geotécnicas de regiões portuárias apresentam semelhanças, pois corriqueiramente se encontram em áreas naturalmente abrigadas, que por sua gênese de formação são constituídas de terrenos moles argilosos, com baixa capacidade de suporte. São áreas de depósitos de sedimentos, com espessas camadas de solo compressível, o que demanda complexos estudos para implantação das obras portuárias.

Na determinação de qual estrutura de acostagem implantar deve-se optar por aquela que melhor se adapte aos recalques que ocorrerão,

de modo que a mesma seja capaz de absorver da forma mais eficiente possível os empuxos de terra atuantes, sem que sejam comprometidas a estabilidade do conjunto e a capacidade de carga do leito de fundação.

Dragagens e Derrocamentos

A necessidade de dragagens para implantação de obras de acostagem pode inviabilizar tecnicamente ou economicamente a utilização de determinadas alternativas.

Dependendo do custo e da metodologia disponíveis para dragagem em um determinado porto, soluções de acostagem menos sujeitas a assoreamentos e implantações mais salientes à costa podem se mostrar mais vantajosas. Muitas vezes os serviços de dragagens se tornam muito relevantes na escolha, não somente pelo aspecto financeiro, mas também pelo aspecto ambiental devido à necessidade de disposição do material dragado.

Condições Ambientais

A ocorrência de variações de maré e temperatura, bem como a incidência de ondas, ventos e correntes são as condições ambientais que podem afetar diretamente a escolha da obra de acostagem.

Em regiões com variações de maré de grande amplitude é comum a adoção de estruturas flutuantes para atracação das embarcações, uma vez que, para atender às necessidades de atracação em qualquer condição de maré, o vulto de obras sem utilização de estruturas flutuantes se torna inviável economicamente.

Em locais de clima frio, a estrutura de acostagem deve ser capaz não somente de suportar aos esforços decorrentes da variação de temperatura, mas também de se adaptar a esta condição da melhor forma possível, resistindo inclusive às épocas de gelo e degelo.



Em áreas onde se observa a incidência de ondas, os portos devem ser providos de estruturas de acostagem mais robustas, onde muitas vezes também desempenham o papel de obra para proteção e abrigo. Este é o caso dos molhes / píer, solução na qual em uma das faces se executa enrocamento para proteção e criação de região abrigada e na outra face há o funcionamento de uma estrutura de acostagem propriamente dita.

O vento age nas partes acima d'água das obras de acostagem, navios e equipamentos, enquanto as correntes atuam nas partes submersas. Ambas as ações dependem fundamentalmente de suas direções de propagação em relação ao posicionamento do cais. As ações dos ventos e das correntes são preponderantes na determinação da magnitude dos esforços de atracação e amarração. Deste modo, o tipo de solução escolhida e seu posicionamento deve ser tal que minimize ao máximo estes esforços.

A implantação de obras de acostagem em meios agressivos deve ser cuidadosamente avaliada, uma vez que a possibilidade de corrosividade pelo solo, água do mar e/ou ataque ácido de micro-organismos sobre os materiais de construção deve ser eliminada ou pelo menos minimizada por ocasião da escolha da solução. Uma alternativa comum para minimizar tais efeitos é prever manutenções periódicas planejadas.

Especialização do Porto e Embarcação Tipo

As estruturas das obras de acostagem podem ser contínuas ou discretas. Esta denominação se refere à incorporação ou não à plataforma principal de elementos componentes da estrutura, tais como acessos, bases de equipamentos e acessórios de amarração e atracação.

Quanto mais bem definida for a embarcação tipo⁽²⁾ e a especialização do porto, maior será a possibilidade de se projetar uma obra de acostagem

otimizada. Deste modo, um porto que visa atender especificamente a um determinado tipo de carga e embarcação possibilita que a obra seja executada em estruturas discretas, onde cada elemento desempenha uma função específica.

Nestes casos de obras em estruturas discretas observa-se que há uma maior segurança, pois eventuais acidentes ficam restritos a determinadas estruturas. Entretanto, o principal benefício é a redução da envergadura das obras, uma vez que neste tipo de obra há uma redução das dimensões dos elementos estruturais, o que ocasiona uma sensível redução do consumo de material de construção.

Licenciamento Ambiental

O licenciamento ambiental de obras de acostagem pode se tornar determinante na escolha do tipo de obra a implantar. Obras sobre a água sempre são passíveis de licenciamento ambiental, sendo muito mais rígida a legislação quando se trata da execução de obras que interferem no fluxo das mesmas.

Sob o ponto de vista ambiental, a utilização de estruturas estaqueadas, onde o fluxo d'água é permitido por baixo das mesmas, leva vantagem sobre soluções onde são executados aterros e enrocamentos sobre a água.



(2) Embarcação Tipo: definição da aplicação ou modalidade da embarcação.



Considerações Finais

Neste artigo foi efetuada uma análise, sob o ponto de vista da engenharia, dos tipos de obras de acostagem, podendo-se observar o quão complexa é uma implantação portuária. O conhecimento mais aprofundado dos tipos de obras de acostagem é muito importante para que as construções sejam compatíveis com as necessidades e suas condicionantes, de modo que se propicie economicidade e funcionalidade às instalações projetadas, tanto na construção quanto na utilização das estruturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGERSCHOU, H., LUNDGREN, H., SORENSEN, T., ERNST, T., KORSGAARD, J., SCHIMIDT, L. R., CHI, W. K. Planning and design of ports and marine structures. Salisbury: John Wiley & Sons Ltd., 1983. 320 p.

ALFREDINI, P., ARASAKI, E. Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2009. 726 p.

ALMEIDA, M. S. S., MARQUES, M. E. S. The behaviour of Sarapuí soft organic clay. Cingapura: International Workshop on Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils, v.1, pp 477-504, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ações em estruturas portuárias, marítimas ou fluviais - Procedimento. NBR 9782. Rio de Janeiro: 1984.

LEVANTAPORTOS. Levantamento da infra-estrutura portuária e do emprego de recursos tecnológicos nos portos brasileiros. Rio de Janeiro: Convênio MT-FRF no 009/2004, Fundação Ricardo Franco, Instituto Militar de Engenharia e Instituto de Pesquisas Hidroviárias. Relatório final, AMORIM, J. C., MATTOS, S. A., CAMPOS, C. M. O., ACETTA, D., NETO, G. C., CASAROLI, L. F. R., MOREIRA, A. S., PUCCI, L. C., BRAGA, M. A. A., 2005.

MARQUES, M. E. S., LACERDA, W. A. Caracterização geotécnica de um depósito argilo fluvio-marinho em Navegantes, SC. Curitiba: Geosul, III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, pp 219-231, 2002.

MASON, J. Obras portuárias. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1982. 282 p.

MASSAD, F. Solos marinhos da baixada santista - características e propriedades geotécnicas. 1.ed. São Paulo: Oficina de textos, v.1, 2009. 247 p.

SEP, Secretaria Especial de Portos. Atribuições e Competência. Conteúdo oficial do sítio disponível em <http://www.portosdobrasil.gov.br/sobre-a-sep#documentContent>>. Visualizado em 05 Ago 2010.