

Cálculo da altura da maré em determinado local e tempo disponível para o trajeto dependendo do calado do navio

Felipe Ford Fernandes da Silva (FATEC BS) Felipe.ford45@gmail.com

Daphne Tuerk Vilanova (FATEC BS) Daphne.jdd@gmail.com

Rosemeire Neves Flores (FATEC BS) Rosemeire.neves1974@hotmail.com

Resumo:

Este trabalho tem o propósito de facilitar o cálculo da altura do nível do mar sob a influência das alterações das marés em canais, onde, dependendo do calado do navio deve-se esperar pelo melhor momento para poder entrar ou sair do canal, com o menor risco de o navio encalhar, assim como calcular o tempo disponível para tal trajeto utilizando a ferramenta Excel.

Palavras chave: Altura da maré, Calado, Profundidade, Navegação.

Calculation of tidal height at a given location and time available for the journey depending on the draft

Abstract:

This project has the purpose of facilitating the calculation of sea level height under the influence of tidal changes in channels, where, depending on the draft of the ship, one must wait for the best moment to be able to enter or leave the channel with the lowest Risk of the ship aground, as well as calculate the time available for the same route using the excel tool.

Key-words: Height of the tide, Draft, Depth, Navigation.

1. Introdução

A superfície dos mares não tem um comportamento estático. Devido às atrações da Lua e do Sol, a massa de água se movimenta no sentido vertical, dando origem às marés e, também, horizontalmente, provocando as correntes de maré, conforme Figura 01. Quando o navio se encontra em locais de grande profundidade, o conhecimento preciso da altura da água em relação ao fundo do mar não tem maior significado. Entretanto, em águas rasas, é este conhecimento que permitirá definir em que ocasiões e quais as áreas, portos ou canais onde um navio pode navegar com segurança (Marinha do Brasil, 2019).



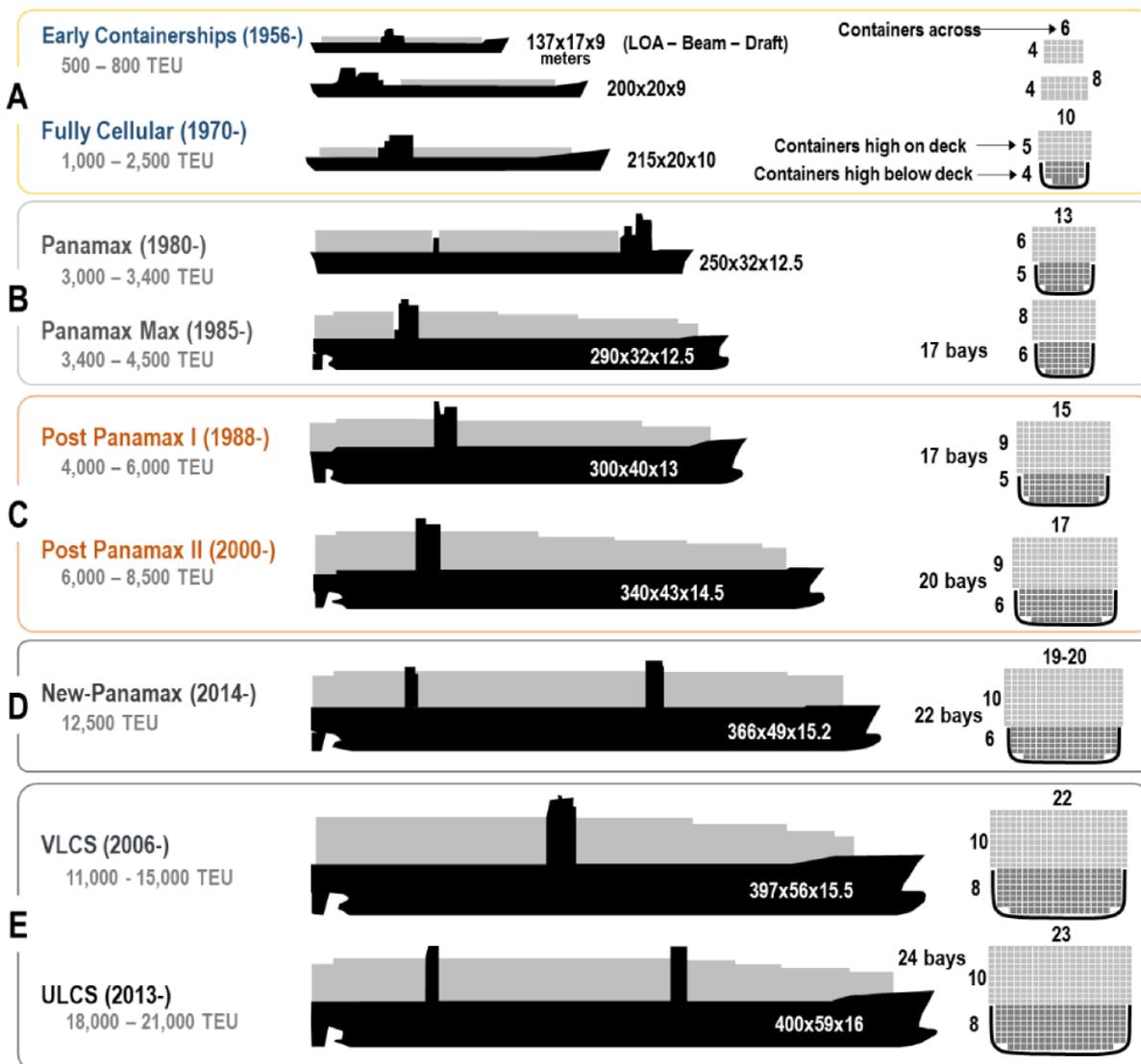
Fonte: VIX operadora portuária, 2019

Figura 01 – Comportamento das marés em relação ao sol e a lua

Com a globalização e o crescimento nacional e internacional do comércio mundial, o advento de todos os meios de que se relaciona ao intuito de vida, faz com que os seres vivos com inteligência superior os *homo sapiens sapiens* tenham maiores evoluções conseqüentemente necessitando de mais recursos para sobreviver no planeta. Desde já então os desejos de obter bens físicos e matérias e exploração por meios sociais e políticos de ter a posse. Regimes capitalistas qual regem o globo explorou este lado, criando assim uma demanda conseqüente dos desejos humanos, qual necessita do transporte de bens e mercadorias, e como já utilizado desde os primórdios o modal aquaviário foi escolhido de transportar a maior quantidade de produtos por um preço mais competitivo, a evolução das embarcações mercantis foi probatória. Cada geração de navios subseqüente de contêineres está enfrentando um número cada vez menor de portos capazes de lidar com eles e pressionando a infraestrutura e os equipamentos portuários. As empresas de transporte marítimo são incentivadas a usar os maiores contêineres possível em suas rotas de navegação, uma vez que se beneficiam de economias de escala. (Rodrigue, 2017)

2. Evolução do calado das embarcações

A utilização de embarcações na movimentação de cargas é notória, com o decorrer das épocas o navio que outrora tinha seu limite reduzido comparado aos grandes navios de contêiner, graneleiros, líquidos e etc. Rodrigue (2017) apresenta a evolução dos navios de contêineres em suas respectivas dimensões e capacidade de transporte de carga. Na Figura 02 é possível verificar esta evolução das dimensões e volumes transportados.



Fonte: Rodrigue (2017)

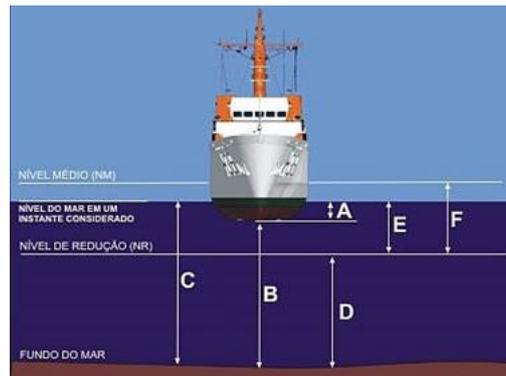
Figura 02 – Nomenclatura e capacidade de navios contêineres

Analisando a operacionalidade expansiva e crescente de movimentação dos navios contêiner é possível destacar o aumento na frota e capacidade de transporte para a economia de escala, consequência da crescente capacidade. A compreensão do cálculo da altura da maré em determinado local e tempo disponível se é sustentada pelo advento desse fator.

2. Formatação geral

Para navegar o conhecimento da maré é importante porque lhe permitirá decidir sobre: Possibilidade de passar em locais de pouco fundo; datas, horários e velocidades convenientes para navegar nestes locais; necessidade de parar motores e máquinas refrigeradas à água salgada, em determinados períodos, para evitar que as tomadas d'água, por ficarem no fundo do casco, aspirem lama ou areia (Marinha do Brasil, 2019).

Para decidir quanto aos aspectos da possibilidade de passar em certo local, datas e horários mais convenientes, é preciso observar algumas medidas, como mostra na Figura 03.



Fonte: www.mar.mil.br/dhn

Figura 03 – Interação navio com trecho a navegar

Em qualquer instante, a profundidade (C) é igual à sondagem apresentada na Carta Náutica (D) mais a altura da maré (E), conforme equação (1):

$$C = D + E$$

Nos ecobatímetros - aparelho utilizado para sondagem que se baseia na medição do tempo decorrido entre a emissão de um pulso sonoro, de frequência sônica ou ultrassônica, e a recepção do mesmo sinal após ser refletido pelo fundo do mar, lagoa, ou leito de rio (Demarco, 2019) é normalmente medida a distância vertical (B) entre a quilha do navio e o fundo do mar que, somada ao calado (A) dará a profundidade (C), conforme equação (2):

$$C = B + A$$

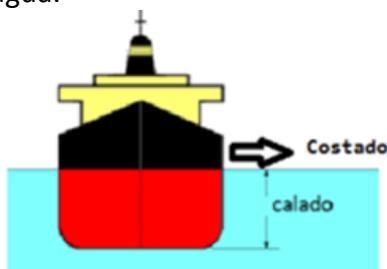
Para decidir quanto à velocidade, é preciso ter em mente que, na maioria dos navios e dentro dos seus atuais limites de velocidade, quando a velocidade aumenta a sua popa afunda e, conseqüentemente, para não tocar no fundo haverá necessidade de maior profundidade, isto é, maior lazeira de água abaixo da quilha, (Pooda, 2018).

Não se pode, também, esquecer que o navio caturra (caturro é o movimento sofrido pelo navio no sentido longitudinal, provocando movimentos ascendentes e descendentes no sentido proa-popa) e pode exigir aumentos na profundidade mínima que o navio necessitaria para passar, sem bater no fundo, em determinado local. Especial atenção deve ser dada a este fator de segurança quando se tratar de navios de boca estreita e compridos, que “enterram” bastante suas proas se sujeitos a ondas, principalmente com mar de través para vante.

As profundidades representadas nas cartas náuticas são sempre “reduzidas”. Isto significa dizer que as profundidades têm origem no plano de referência conhecido como nível de redução (NR) e não na superfície da água. Desta forma, as variações do nível das águas por influência das marés ou em decorrência dos períodos de cheias e vazantes dos rios são subtraídas (Marinha do Brasil, 2019).

Para compreender como é feita a entrada e quais navios podem atracar em um porto, faz-se necessário ter um breve conhecimento sobre o conceito de calado e costado.

Calado é um termo do transporte marítimo, que significa a profundidade em que cada navio está submerso na água, conforme pode ser observado na Figura 04, ou seja, é o espaço ocupado pelo navio dentro da água.



Fonte: Machado, F. Canuto, C. e Vassallo, R.F. (Machado, Canuto e Vassallo, 2018)

Figura 04 – Especificação de Calado e Costado

O entendimento do calado da embarcação em cada condição de carga e de densidade da água (de acordo com a salinidade e temperatura) é imprescindível para estabelecer a sua navegabilidade sobre áreas de baixa profundidade, principalmente nos portos e em canais.

Qualquer embarcação pode navegar entre um calado máximo quando ela está completamente carregada e um calado mínimo quando está totalmente descarregada.

O costado é a parede lateral do barco, que vai desde a linha de flutuação até a borda superior do navio.

Quanto maior o calado, a intensão é que o navio seja mais largo e em consequência disso, transportar maior quantidade de cargas. Já quando se refere aos portos (cais), está se referindo à profundidade do porto.

Sendo assim, navio possui calado enquanto os portos possuem profundidade.

Já é uma tendência mundial o aumento do tamanho das embarcações. Navios de grande porte exigem modificações na estrutura portuária, em principal no que diz respeito ao calado, (Santos, 2013). Cada centímetro a menos na profundidade do canal significa deixar de receber essas embarcações.

O maior navio que já atracou em um porto brasileiro foi o *Cape Sounio*, da armadora *Zim*, com capacidade de carregar 11 mil TEUS (*Twenty-foot Equivalent Unit*) em (Porto e Navios, 2019).

Os portos brasileiros ainda não têm capacidade para receber a visita dos gigante dos mares. Assim sendo, na Tabela 01 a seguir estão descritos os principais portos brasileiros e o tráfego de embarcações com calado máximo.

Principais Portos Brasileiros	Calado máximo suportado
Porto de Santos (SP)	13,50 metros
Porto de Itaguai (RJ)	20 metros
Porto de Paranaguá (PR)	16 metros
Porto de Rio Grande (RS)	14 metros
Porto de Suape (PE)	14,5 metros

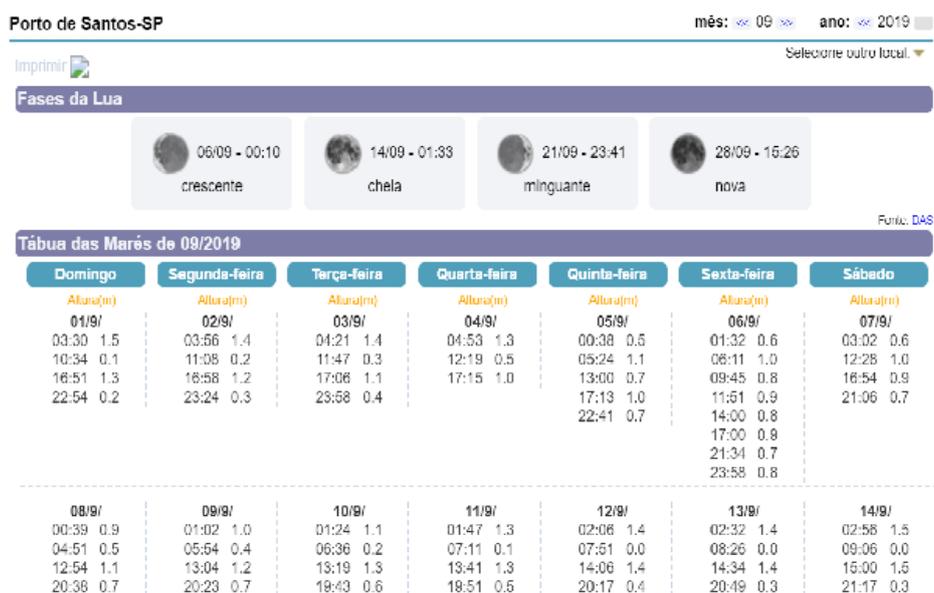
Fonte: Porto e Gente, 2016 (adaptado)

Tabela 01: Principais Portos Brasileiros e o calado máximo suportado

O Porto de Santos está, progressivamente, se preparando para atender essa nova demanda. Este será o caminho para aumentar sua competitividade. Santos permanece como o porto mais influente no quesito de movimentação de contêineres na América Latina.

3. Material e método:

Foi utilizada nesse trabalho tábua das marés que fornece o comportamento das marés de uma região (Santos) num período de tempo. A variação das marés obedece a um regime parecido com uma onda senoidal onde os picos e vales mudam conforme o alinhamento do sol e a lua e a época do ano, por isso deve ser consultado as tabelas da publicação tabuas das marés, como mostra a Tabela 02.



Fonte: INPE – previsão oceânica, 2019

Tabela 02: Tabela da Maré do Porto de Santos

Outro requisito necessário para o desenvolvimento é a profundidade crítica do local a ser navegado, onde na Figura 05, é exibida uma visão aérea do porto de Santos, com suas identificações e extensão.



Fonte: Porto de Santos, 2018

Figura 05 – Canal de Santos

Para poder tratar a informação de forma conveniente se faça necessário ter a medida do calado do navio em estudo. Com base nas informações é possível analisar a viabilidade da entrada do navio no canal e em que horário isso seria seguro.

A seguir tem-se a Tabela 03 (Porto de Santos, 2019) com os calados máximos para o canal de

navegação do porto de Santos.

Calados Máximos de Operação no Canal de Navegação (Zero DHN)		
Barra até Entrepósito de Pesca (Trecho I)	13,50m	Julho 2018
Entrepósito de Pesca à Torre Grande (Trecho II)	13,50m	Julho 2018
Torre Grande até Armazém 06 (Trecho III)	13,50m	Julho 2018
Armazém 06 até o Terminal Alamoá (Trecho IV)	13,50m	Julho 2018
Terminal Alamoá até o final do Trecho IV (Trecho IV)	12,70m	Setembro 2017

Fonte: (Porto de Santos, 2019)

Tabela 03: Calados Máximos para o Porto de Santos

Dê posse das informações necessárias, iniciou-se a construção desses dados na ferramenta computacional Excel, parametrizada da seguinte forma:

Especificação da profundidade média do canal de Santos;

A tabela da maré contendo: dia, mês e ano, bem como horário da maré e sua respectiva altura.

Gerando assim a profundidade do canal conforme o horário da maré, como mostra a Figura 06 a seguir:

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL						
PORTO DE SANTOS	profundidade média do canal	13,5				
Tabela da Maré na cidade em estudo em um determinado dia						
02/set	hora	03:56	11:08	16:58	23:24	
	altura	1,4	0,2	1,2	0,3	
	Profundidade	14,9	13,7	14,7	13,8	

Figura 06 – Característica do Canal de Santos em função da maré

Para o estudo em questão fora fixada as diferentes gerações de navios criados desde 1956 até os dias atuais, sendo especificado o comprimento aproximado, o calado médio e a quantidade média de TEU de transporte por cada embarcação, conforme Figura 06 (Santos, Santos e Lopes, 2015)

TIPOS DE EMBARCAÇÕES POR GERAÇÕES				
Geração	Período	Comp.	Calado	TEU
Primeira	1956-1970	135m	7,5	500
		200m	9	800
Segunda	1970-1980	215m	10	2000
Terceira	1980-1988	250m	11	3000
		290m	12	4000
Quarta	1988-2000	305m	13	5000
Quinta	2000-	336m	14	8000

Figura 07 – Embarcações por gerações

Para complementar os dados na planilha se faz necessário o registro da maré, nesse estudo

ficou estabelecido o registro de uma semana de maré para fazer a previsão dos acessos pelo tipo de embarcação, conforme Figura 08.

Maré da cidade de SANTOS em setembro/2019								
01/set	hora	03:30	10:34	16:51	22:54			
	altura	1,5	0,1	1,3	0,2			
02/set	hora	03:56	11:08	16:58	23:24			
	altura	1,4	0,2	1,2	0,3			
03/set	hora	04:21	11:47	17:06	23:58			
	altura	1,4	0,3	1,1	0,4			
04/set	hora	04:53	12:19	17:15				
	altura	1,3	0,5	1,0				
05/set	hora	00:38	05:24	13:00	17:13	22:41		
	altura	0,5	1,1	0,7	1,0	0,7		
06/set	hora	01:32	06:11	09:45	11:51	14:00	17:00	21:34
	altura	0,6	1,0	0,8	0,9	0,8	0,9	0,7
07/set	hora	03:02	12:28	16:54	21:06			
	altura	0,6	1,0	0,9	0,7			

Figura 08 – Registro da Maré em uma semana do ano

Com base nesses dados é possível gerar o gráfico de uma determinada embarcação e analisar o melhor horário para navegar no canal de forma segura. Esse estudo permite que seja criada uma agenda de navegação precisa e administrar a gestão da atracagem do porto e também sua saída.

4. Resultados:

Uma vez gerado os gráficos, é possível tomar uma boa decisão sob se o navio pode ou não atravessar o canal ou o seu melhor momento para fazê-lo, uma vez que todas as informações estão disponíveis no gráfico. Tem-se o exemplo de uma semana completa para verificar as possibilidades de navegabilidade de acordo com o calado e a profundidade, como é mostrado a seguir na Figura 09.

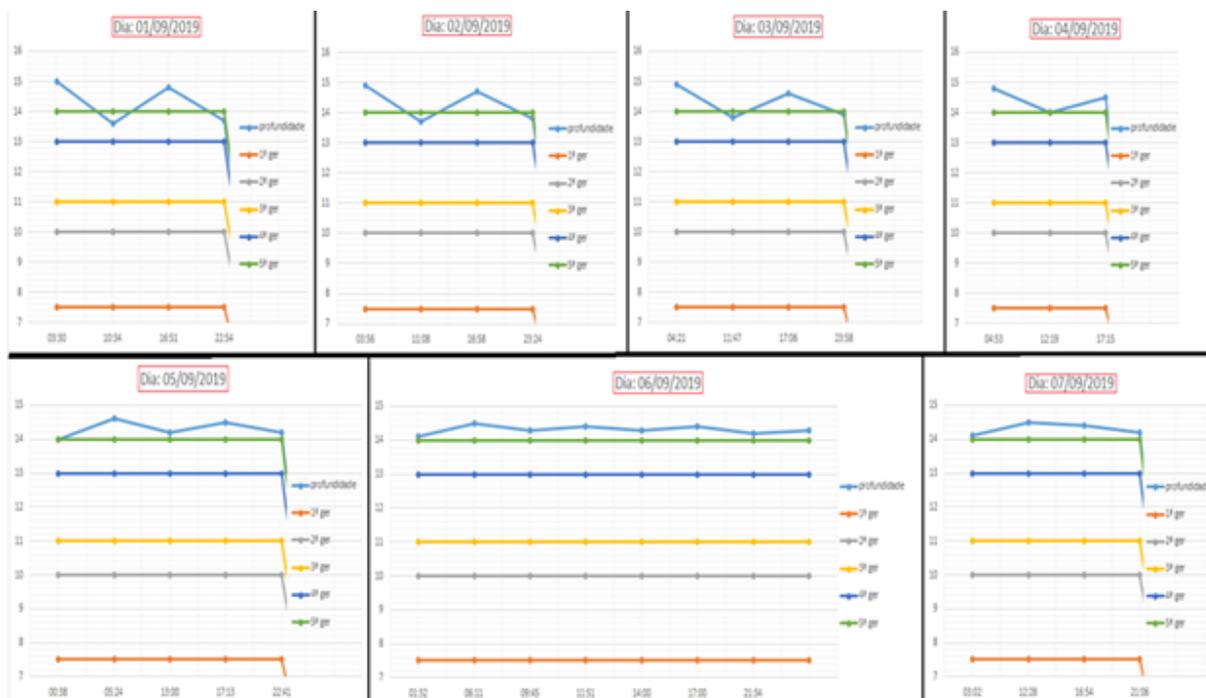


Figura 09 – Gráfico de uma semana completa comparando profundidade e calado

Através dos gráficos fica claro que todo e qualquer calado com até 13m podem entrar ou sair do canal de Santos ao longo do dia todo com completa segurança.

O problema fica evidente para calados superiores a 13m onde deve ser avaliado cuidadosamente a entrada e saída pois, esses ultrapassam o limiar de segurança, como pode ser observado nos gráficos para os navios de quinta geração.

Cabendo destacar que, existe a possibilidade inclusive do mesmo não poder se quer atracar em um determinado dia, como pode ser observado no gráfico do dia quatro de setembro, por exemplo, nos outros dias eles poderiam ter acesso em alguns períodos, mas ainda cabe ressalva pela margem de segurança que propõem pelo menos 0,5m de segurança sobre o limite máximo calculado.

5. Discussão:

A rotina a bordo dos navios é bem dura e com carga horária que costuma passar de 10 horas por dia, qualquer ferramenta que contribua para otimizar o tempo a bordo é bem-vinda. Com esse programa é possível calcular os tempos e as alturas das marés muito mais rápido com segurança e precisão. Inclusive caracterizando com clareza a capacidade do calado suportado no canal em estudo.

Conclusão:

Com os avanços tecnológicos das embarcações a mesma vem aumentando seu tamanho gradativamente, com calados cada vez mais profundos faz-se necessário ter um canal com maior profundidade para uma navegação segura. O estudo propôs um cálculo onde se avalia as condições da maré. A ferramenta Excel se demonstrou eficiência no que foi proposto de calcular as alturas das marés e o tempo para transitar em uma região em função do calado do navio. Contribuindo com a eficiência da navegação. Apresenta o gráfico de maneira bem simples de interpretar e de fácil visualização.

Referências Bibliográficas

Demarco, L.F.W. **Caracterização dos processos sedimentares em trecho do canal de acesso ao Porto de Santos, por meio de métodos acústicos.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – Instituto Oceanográfico. – São Paulo – SP. 2019.

INPE – **previsão oceânica** - <http://ondas.cptec.inpe.br/>_(acessado agosto/2019) – Tábua da Maré.

Marinha do Brasil - <http://www.mar.mil.br/> - (acessado em agosto/2019).

Machado, F. Canuto, C. e Vassallo, R.F. **Reconhecimento de Linha d'água para Medição de Calado utilizando Filtros de Gabor.** XXII Congresso Brasileiro de Automática, João Pessoa, Paraíba, 2018.

Pooda, L. **Avaliação dos critérios de projeto para estruturas de acostagem de navios: Estudo de caso aplicado ao terminal portuário público de Itajaí – SC.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação. Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Joinville. Engenharia Civil de Infraestrutura, 2019.

Porto de Santos - http://www.portodesantos.com.br/wp_porto/wp-content/uploads/2018/03/acesso-aquaviario.png - (acessado em agosto/2019) - Acesso Canal de Santos.

Porto de Santos - <http://www.portodesantos.com.br/outros-links/calado-maximo-operacional/> - (acessado em agosto/2019) – Limiar operacional.

Porto e Gente - <https://portogente.com.br/portopedia/94740-os-10-principais-portos-do-brasil-em-2016> - (acessado agosto/2019) - Calado máximo suportado nos principais portos brasileiros.

Porto e Navios - <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-recebera-maior-navio-em-capacidade-de-cargas-de-sua-historia> - (acessado em agosto/2019)

Rodrigue - **The Geography of Transport Systems** - https://transportgeography.org/?page_id=2232 – (acessado em setembro/2019)

Santos, F.C. **Canais de Acesso aos Portos Brasileiros: Demandas de Infraestrutura pela Evolução dos Navios. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Engenharia e Gestão Portuária.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

Santos, F.S.; Santos, J.H.A. e Lopes, R.A. **Dragagem no Porto de Santos: A ampliação do calado no porto de Santos.** Trabalho de Conclusão de Curso do Pós-Graduação (Latu-Sensu) em Gestão Ambiental Portuária – Universidade Santa Cecília – Santos, SP, 2015.

VIX **operadora portuária** - <https://www.vix.com/pt/ciencia/546762/como-e-por-que-a-lua-influencia-as-mares-explicacao-esta-em-cada-uma-de-suas-fases> – (acessado em agosto/2019).