



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DA ÁGUA NAS
OPERAÇÕES PORTUÁRIAS DO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA
MADEIRA.**

Rogério Freitas Oliveira

ORIENTADOR: Audalio Rebelo Torres Junior

São Luís – MA
2022



ROGÉRIO FREITAS OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DA ÁGUA NAS
OPERAÇÕES PORTUÁRIAS DO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA
MADEIRA.**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica de Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Área de Concentração: Oceanografia Física

ORIENTADOR: Audalio Rebelo Torres Junior

São Luís - MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Freitas Oliveira, Rogerio.

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA DENSIDADE DA ÁGUA
NAS OPERAÇÕES PORTUÁRIAS DO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA
MADEIRA / Rogerio Freitas Oliveira. - 2022.

58 p.

Orientador(a): Audalio Rebelo Torres Junior.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Oceanografia/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São
Luís, 2022.

1. Arqueação. 2. Densidade. 3. Estuário. 4. Portos.
I. Rebelo Torres Junior, Audalio. II. Título.



OLIVEIRA, Rogério Freitas. Influência da variação temporal da densidade da água nas operações portuárias do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira. 2022. 58 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica de Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Área de Concentração: Oceanografia Física

Aprovada em 31/03/2022.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Audalio Rebelo Torres Junior
Universidade Federal do Maranhão - UFMA
ORIENTADOR

Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof. Dr. Valdir Innocentini
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

São Luís

2022



À Deus, primeiramente,
e à minha família, pela paciência,
incentivo, e acima de tudo, pelo amor.



AGRADECIMENTOS

Somente Deus sabe de fato o quanto eu desejei e busquei entrar para este programa de pós-graduação de Oceanografia e, portanto, eu inicio meus agradecimentos a Ele, por ter ouvido e atendido meu pedido e ter agido em meu favor colocando as pessoas certas em meu caminho para que este objetivo tão importante em minha vida fosse atingido. Pessoas essas que tentarei listar aqui.

Portanto agradeço:

À minha mãe, Francilene Freitas Oliveira, e ao meu pai, Jacob Cruz Buna, por terem sido a minha base de vida e as pessoas que além de sempre acreditarem em mim, também me mostraram que somente com estudo, muita dedicação, trabalho e fé podemos alcançar nossos objetivos.

À minha querida esposa, Adilene Veras da Silva Freitas, por todo seu cuidado, companheirismo e apoio incansável em todos os momentos, entendendo o quão essa conquista seria importante para nosso futuro.

Ao meu amado filho, Isaque Freitas da Silva, que mesmo ficando triste por muitas vezes eu precisar abrir mão de brincar com ele, compreendia que era por algo importante.

Aos meus irmãos, Pheterson Oliveira Buna e Welderson Oliveira Buna por me incentivarem a continuar.

Aos amigos e colegas de trabalho da Vale S/A Augusto Cesar Magalhães, Alexandre Ramos Figueiredo, Rafael Oliveira e Paulo Cardoso por acreditarem neste projeto e oferecerem todo o apoio sem o qual nada disso seria possível.

À empresa Hidromares, através de seus diretores Sr. Gabriel Aloí Paschoal e Sr. Gabriel Aloí Paschoal por permitirem acesso às informações oceanográficas do Sistema SISMO®ValePDM, demonstrando assim o compromisso da empresa em contribuir para o desenvolvimento dos estudos em ciências oceânicas no Brasil.

Ao amigo Fábio Silva, um grande programador que teve a enorme gentileza de desenvolver um dos softwares utilizados nas análises dos dados deste estudo.



Ao meu orientador e como não chamar de grande amigo prof. Dr. Audalio Rebelo Torres Junior, por toda sua dedicação, cuidado e paciência durante o período orientação, por muitas vezes levantar meu ânimo e me fazendo voltar a acreditar que era possível concluir este trabalho, quando muitas vezes pensei em desistir.

À Universidade Federal do Maranhão, que através do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia possibilitou o meu crescimento profissional.

Agradeço aos professores participantes da banca examinadora que dividiram comigo este momento tão importante e esperado.

E por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.



“Eu não sei como eu posso parecer ao mundo,
mas para mim, eu pareço ser apenas como uma
criança brincando na beira do mar, divertindo-me
e encontrando um seixo mais liso ou uma
concha mais bonita do que o ordinário, enquanto
o grande oceano da verdade permanece todo
indescoberto diante de mim.”

Isaac Newton



OLIVEIRA, Rogério Freitas. Influência da variação temporal da densidade da água nas operações portuárias do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira. 2022. 56 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão.

Orientador: Audalio Rebelo Torres Junior

Linha de pesquisa: Dinâmica de Sistemas Costeiros e Oceânicos

RESUMO

Devido à grande movimentação de cargas, os portos têm sido forçados a investir constantemente em estudo de melhoria operacional e controle de processos para que possam responder à alta competitividade do mercado internacional, assim como garantir a segurança de suas operações. Dentre os investimentos está o controle das variações de capacidade de embarque de grandes navios com carga total, devido às alterações ambientais. Desta forma, o objetivo desta pesquisa é analisar os impactos que a variação da densidade da água de um porto pode causar em suas operações e as possíveis formas de monitorar com maior eficácia essa variável. Para realização deste estudo contamos com a colaboração da VALE S/A, para os fornecimentos dos registros dos valores de densidade utilizados nas arqueações de navios durante o período de novembro/2020 a agosto/2021. Através da análise dos relatórios de cada arqueação realizada dentro do período mencionado, é possível obter a informação do valor da densidade da água do estuário. Os dados foram tratados e processados com uso dos programas Power B.I e Matlab. Nos resultados observados foi possível realizar uma estimativa de possível impacto financeiro do TPM em virtude da variabilidade de precisão das medições por densímetro analógico quando comparado com os valores via densímetro digital – SISMO®ValePDM. Assim conclui-se que, adotando a medição de densidade através dos dados de salinidade, temperatura e condutividade como referência para cálculos de arqueação dos navios, resultaria numa maior precisão da declaração de carga embarcada por navio e para o ano estudado, a diferença de valores poderia resultar em um aumento de produtividade do porto da ordem de aproximadamente 1.100.000,00 toneladas de minério de ferro.

Palavras-Chaves: Densidade. Estuário. Portos. Arqueação



OLIVEIRA, Rogério Freitas. Influence of the temporal variation of water density in the port operations of the Maritime Terminal Ponta da Madeira. 56 f. Thesis (Master). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Federal University Maranhão, São Luís, Maranhão, Brazil, 2022.

Advisor: Dr. Audalio Rebelo Torres Junior

Line of research: Coastal and Oceanic Systems Dynamic.

ABSTRACT

Due to the large movement of cargo, ports have been forced to constantly invest in studies of operational improvement and process control so that they can respond to the high competitiveness of the international market, as well as guarantee the safety of their operations. Among the investments is the control of variations in the loading capacity of large ships with a full load, due to environmental changes. In this way, the objective of this research is to analyze the impacts that the variation of the water density of a port can cause in its operations and the possible ways to monitor this variable more effectively. To carry out this study, we have the collaboration of VALE S/A, for the supply of records of the density values used in the tonnage of ships during the period from November/2020 to August/2021. Through the analysis of the reports of each tonnage carried out within the mentioned period, it is possible to obtain information on the value of the density of water in the estuary. The data were treated and processed using the Power B.I and Matlab programs. In the observed results, it was possible to estimate the possible financial impact of the TMPM due to the variability of precision of measurements by analog densimeter when compared with the values via digital densimeter - SISMO®ValePDM. Thus, it can be concluded that, adopting density measurement through salinity, temperature and conductivity data as a reference for ship tonnage calculations, would result in greater accuracy of the declaration of cargo shipped by ship and for the year studied, the difference in values could result in an increase in port productivity of approximately 1,100,000.00 tons of iron ore.

Keywords: Density. Estuary. Ports. Draft Survey.



Sumário

1. Introdução	12
2. Questão científica e objetivos	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. Setor portuário e regiões estuarinas	15
4. Área de estudo	21
4.1. Terminal Marítimo de Ponta Da Madeira (TMPM)	23
5. Materiais e métodos	25
5.1. Aquisição de dados	25
5.2. Procedimentos para arqueação de navio	27
5.3. Influência da densidade na produção portuária do TMPM	37
5.4. Levantamento e análise dos dados	37
6. Resultados e discussões	39
6.1. Análise de variação dos componentes x por estação climática	39
6.2. Estimativa de impacto econômico na receita do porto	53
7. Conclusão e recomendações	57
8. REFERÊNCIAS	58

1. Introdução

O Brasil é um dos maiores países exportadores de commodities do mundo. Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura desde o ano de 2020, o país ocupa o primeiro lugar em exportação de soja e milho, assim como a posição de segundo maior exportador de minério ferro, respondendo por aproximadamente 23% da demanda global (UNCTAD, 2020).

Mesmo sob os efeitos da crise econômica mundial, provocada pela pandemia por COVID-19, essas commodities praticamente não sofreram alteração em suas demandas, Fernando Serra (2020), gerente de Estatística e Avaliação de Desempenho da ANTAQ, afirma:

“Minério de ferro, soja e milho, bem como os insumos para o plantio das safras. Essas cargas possuem grande peso no resultado do crescimento na movimentação. Elas não sofreram com a Covid-19, pois os contratos de exportação são feitos no longo prazo, fazendo com que os embarques dessas mercadorias sejam contínuos, mesmo com a situação de crise” (ANTAQ, 2020).

Segundo Santos (2010), a crescente globalização da economia mundial tem sido marcada por um significativo aumento das trocas comerciais a nível internacional, impulsionando o setor marítimo e portuário, levando à construção de navios de porte cada vez maiores, especialmente para o transporte de commodities embarcadas a granel, tanto para navegação de cabotagem quanto de longo curso com o propósito de minimizar o custo por unidade transportada.

Os relatórios da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (2021) afirmam que em 2020 foram movimentados aproximadamente de 1,151 bilhões de toneladas nos portos nacionais. No ranking dos principais perfis de cargas movimentadas por estes portos, em milhões de toneladas (Mt) estão:

- Granel sólido com 688,9 Mt (60%);
- Granel líquido com 289,5 Mt (25%);
- Contêineres 118,2 Mt (10%); e
- Carga geral solta com 54,2 Mt (5%).

Percebe-se então que 85% do total de cargas movimentadas pelos terminais portuários do Brasil pertence à categoria conhecida como Granel (sólido e líquido).

Devido ao crescente aumento da demanda comercial, os terminais portuários necessitam, constantemente, adequar-se às crescentes demandas do mercado externo como, por exemplo, o recebimento de navios cada vez maiores e otimização de seus processos operacionais.

Deste modo, as empresas portuárias têm se dedicado ao investimento em estudos e implantação de novas tecnologias que possam auxiliar na otimização dos seus processos operacionais.

Neste estudo iremos abordar como a produtividade dos portos instalados em regiões estuarinas pode ser influenciada pela variação temporal da densidade da água, bem como, analisar a necessidade de implantação de sistemas de monitoramento desta variável ao longo do tempo e espaço

Neste trabalho, os objetivos (geral e específicos) são encontrados no capítulo 2, assim como a questão científica. No capítulo 3 há uma breve discussão sobre o setor portuário. A área de estudo deste estudo está descrita no capítulo 4.

No capítulo 5 foram descritos os métodos adotados no trabalho (aquisição e tratamento dos dados). No capítulo 6 encontramos os resultados e as discussões obtidas após o tratamento e análise dos dados. Por fim, a conclusão do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros estão descritas no capítulo 7.

2. Questão científica e objetivos

As exigências de mercado em escala mundial por aumento de produtividade e eficiência de suas operações, têm forçado as empresas portuárias a investirem cada vez mais em estudos e implantação de novas soluções tecnológicas que favoreçam a otimização de suas atividades e o fortalecimento de sua competitividade, assim como garantir a segurança de suas operações.

Dentre os investimentos está o controle das variações de capacidade de embarque de grandes navios com carga total, devido às alterações ambientais, como por exemplo, a variação da densidade da água em portos situados dentro de estuários.

Assim, torna-se importante a análise dos impactos que as alterações ambientais podem causar nas operações portuárias e as possíveis formas de monitoramento mais eficazes destas variações.

2.1. Objetivo geral

Analisar o comportamento da variação da densidade da água no Terminal Marítimo de Ponta de Madeira, situado em região estuarina do Maranhão.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar quais os possíveis impactos que a variação da densidade da água pode causar nas operações portuárias com navios graneleiros de grande porte;
- Demonstrar a importância da existência de sistemas de monitoramento contínuo desta variável;
- Compreender o comportamento das oscilações temporais dos valores da densidade da água do Estuário de São Marcos, em especial nos berços de atracação de navios do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira;
- Averiguar a eficácia do método utilizado atualmente de coleta para amostragem de água para mensuração da densidade para fins de cálculo de arqueação de navios
- Analisar a relevância da aplicação de um sistema de monitoramento em tempo real dos parâmetros oceanográficos físicos (temperatura, salinidade, densidade, variação de nível) na manutenção das condições de navegabilidade, manobrabilidade e fluviabilidade dos navios que atracam no porto.

3. Setor portuário e regiões estuarinas

O setor portuário exerce fundamental importância na balança comercial do Brasil. De acordo com os dados do Ministério Indústria, Comércio Exterior e Serviços – MDIC, os portos foram responsáveis pela movimentação de 94,4% das mercadorias importadas e exportadas no Brasil em 2019. Em 2020 houve um crescimento de 4,2%, em relação a 2019 (ANTAQ, 2021).

De acordo com informações contidas no relatório anual de produtividade portuária da ANTAQ (2021), o produto mais movimentado nos portos brasileiros nos últimos anos, foi o do tipo minério de ferro, com 356 milhões de toneladas transportadas pelo modal aquaviário em 2020. O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, localizado na região conhecida como Complexo Portuário de São Luís, no Estado do Maranhão, foi o porto que mais embarcou navios com esse tipo de produto, embarcando 42,5% de toda produção nacional de minério de ferro.

O TMPM fica localizado na região do Complexo Estuarino de São Marcos, no Maranhão. Os portos localizados em estuários, além de se caracterizarem como área de navegação restrita, estão sujeitos aos resultados da interação entre a variação do nível da maré e dos aportes de águas fluviais (ALFREDINI; ARASAKI, 2009).

Embarcações de médio e grande porte que atracam em terminais portuários como os de Ponta da Madeira estão sujeitos a fatores naturais que podem afetar significativamente sua capacidade de transporte de carga, assim como de navegação. As condições de navegabilidade que podem sofrer modificações são:

- a mudança de sentido e velocidade das correntes marítimas; e
- o valor da densidade da água que circula pelos berços e canais de navegação.

O terminal portuário instalado dentro da área de um estuário, pode ter suas condições operacionais afetadas significativamente devido à mudança frequente na densidade da água que banha os berços de atracação e canal de navegação. Entre as condições operacionais que podem ser afetadas podemos citar

- Precisão da determinação de carga movimentada através de aplicação do método de Arqueação (*Draft Survey*);
- Efeito Squat;
- Planejamento Operacional de um navio graneleiro;
- Estabilidade e Navegabilidade do navio.

a. Precisão da determinação de carga movimentada através de aplicação do método de Arqueação;

O método de arqueação de navio será melhor descrito no item 5.2 deste trabalho. Este método é reconhecido e utilizado internacionalmente como meio auxiliar de mensuração da quantidade de carga embarcada a granel em navios mercantes.

“O cálculo de Arqueação é internacionalmente aceito no comércio marítimo internacional de carga a granel como o método mais conveniente, prático, seguro e econômico para a mensuração do peso total da carga embarcada ou desembarcada em um navio graneleiro” (SGS, 2003).

A realização do cálculo de arqueação fundamenta-se no princípio de Arquimedes, onde a área de estudo da hidrostática descreve que todo corpo imerso em um fluido em equilíbrio, dentro de um campo gravitacional, fica sob a ação de uma força vertical, com sentido oposto a este campo, aplicada pelo fluido, cuja intensidade é igual a intensidade do peso do fluido que é ocupado pelo corpo. Esta força é denominada força de empuxo. Assim:

“Chama-se empuxo à força resultante da soma de todas as componentes verticais das pressões exercidas pelo líquido na superfície imersa de um navio. Portanto, um navio em repouso é submetido à ação de duas forças verticais. O peso do navio, agindo verticalmente para baixo, e o empuxo, agindo verticalmente para cima. Como o navio não tem movimento para cima nem para baixo, conclui-se que o empuxo é igual ao peso do navio; como ele está em equilíbrio, os pontos de aplicação destas forças” (ICN, 2008).

No estudo da hidrostática, para o cálculo da força de empuxo aplicada sobre o um corpo de formato regular, utiliza-se a seguinte equação, (HALLIDAY *et al.*, 2014):

$$E = d_F \cdot V_{FD} \cdot g$$

Onde:

$$E = \text{Empuxo (N)}$$

$$d_F = \text{Densidade de fluido } \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$V_{FD} = \text{Volume do fluido deslocado (m}^3\text{)}$$

$$g = \text{Aceleração da gravidade } \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

Analisando a equação acima, observa-se que a componente densidade (d_F) age de forma diretamente proporcional sobre o resultado para do módulo da força de empuxo sobre um corpo imerso em meio líquido.

Segundo Reinking *et al.*, (2012) uma mudança de 1% na densidade da água resultará em uma mudança de calado entre 0,5% a 1%, dependendo do formato do

casco do navio. A densidade da água é uma função da salinidade e temperatura, entre um porto de água doce e mar aberto, a densidade pode aumentar em média em 2,3%.

Desta forma, essa variável precisa ser cuidadosamente analisada e monitorada para que a realização de um cálculo de arqueação seja realizada com boa precisão (acurácia).

Para um navio manobrando em um porto de águas salobras, como em estuários, aplicar correções do calado da embarcação torna-se mais desafiador pois a densidade da água depende de formas imprevisíveis de interação entre água doce dos rios e águas salina das marés (REINKING *et al.*, 2012).

Considerando que um navio se caracteriza como um objeto de grande dimensão e de formato irregular, incorre um certo aumento de complexidade para a determinação do empuxo aplicado sobre sua área imersa quando atracado em um berço de um terminal portuário, e por conseguinte na determinação da quantidade de carga a granel por transportada em seus porões.

Durante a realização de uma arqueação de um navio operando granel sólido ou líquido, além da determinação do empuxo, também se faz necessário realizar cálculos de interpolações, momentos de imersão, conversão de valores para diferentes densidades, análise de dados hidrostáticos da própria embarcação, esforços estruturais etc.

b. **Efeito Squat**

O efeito Squat é o fenômeno hidrodinâmico pelo qual uma embarcação, sob a influência de um fluxo de água em alta velocidade por baixo de seu casco em regiões de águas rasas, cria uma área de baixa pressão, fazendo com que o navio aumente seu nível de imersão (calado) além do que seria normalmente esperado. Esse efeito é causado quando a água que normalmente flui sob o casco encontra resistência devido à proximidade do casco com o leito.

A redução da área de fluxo faz com que a água se mova mais rapidamente abaixo da quilha e, de acordo com o princípio de Bernoulli, a velocidade crescente causa baixa pressão, de modo que o navio é “puxado” para baixo, aumentando, portanto, significativamente o seu nível de imersão.

Para o cálculo do Efeito *Squat* utiliza-se a seguinte equação:

$$v^2 + 2gh = \text{const}$$

Onde v é a velocidade do fluxo sob a estrutura do navio, g é a aceleração gravitacional e h é a altura da coluna d'água, ou o próprio calado médio da embarcação. Segundo Dibble e Michell (1998), este fenômeno depende principalmente dos seguintes fatores:

- velocidade do navio através da água;
- geometria de seu casco;
- profundidade do local de navegação;
- velocidade de fluxo do fluido,
- movimentos verticais induzidos por ondas (*heave, pitch, roll*); e
- inclinações laterais causadas pelo vento.

Apesar de não constar na descrição da fórmula de cálculo, observa-se que a intensidade do efeito Squat pode ser afetada diretamente pela variação da densidade do líquido, neste caso, a água estuarina que banha o porto. E por conseguinte influenciar na precisão do cálculo de arqueação, podendo resultar em erro na mensuração da carga operada no navio.

Um estudo publicado por Isbester (1993) descreve que, quando um navio está atracado em um berço de águas rasas, com fluxo de água causado por correntes de maré abaixo da quilha acima de 2,5 nós, o navio sofrerá imersão, portanto aumento de calado.

Durante a realização de leitura de calados para fins de cálculo de arqueação, quando há corrente intensa entre uma “folga” abaixo de quilha (UKC) menor ou igual a duas vezes o calado médio do navio, a leitura pode apresentar erro devido ao efeito Squat (DIBBLE; MITCHELL, 2009).

c. Planejamento Operacional de um navio graneleiro

A capacidade de transporte de carga de um navio graneleiro é geralmente determinada pelo seu *Porte Bruto*. Pela definição clássica, porte bruto refere-se ao peso máximo que um navio pode transportar com segurança além do seu peso de construção ou *Light Ship*. Seu valor inclui a soma dos pesos dos combustíveis utilizados, água lastro, número de passageiros e tripulação e suprimentos (SGS, 2005).

Dentro dos passos existentes no planejamento de operação de um navio graneleiro, os terminais portuários solicitam previamente, ao seu imediato e comandante, o envio de um documento denominado “Plano de

Embarque/Desembarque de Carga". Este documento segue o padrão de elaboração estabelecido pela IMO – Organização Marítima Internacional, através de sua resolução A.862 (20), adotada em novembro de 1997, com a criação do Código Internacional de Prática para Carregamento e Descarregamento Seguros de Navios Graneleiros, ou simplesmente *BLU Code*, abreviação em inglês para *Bulk Load and Unload Code*.

Este código estabelece diretrizes obrigatórias, para os países signatários da ONU, para que as operações com graneis ocorram com o máximo de segurança possível.

A figura 01, apresenta o modelo padrão de Plano de Embarque & Desembarque de Navios Graneleiros de acordo com as normas do *BLU Code*.

Part 2: Appendix 2 of the BLU Code. (Loading or unloading plans)

LOADING OR UNLOADING PLAN Version No. 1		Date 12/05/2020	Vessel YUAN BAO JIN IMO Number: 9806902		Voyage No. 06								
Load/unload Port: PONTA DA MADEIRA, BRAZIL		Cargo(es): IOKN	Assumed storage factor of Cargo(es): 0.32MP/T	Ballast pumping rate 9000MP/H	Dock water density: 1.019 T/M³	Max draught: available (HW) 23.0+TIDE Max air draught in berth 22.4M							
To / from Port: CHINA MAIN PORT		No. of loaders/ Dischargers: 1	Load / 16000T/H discharge rate		Min draught: available (LW) 23.0+TIDE	Max sailing: 23.8M arrival draught 11.45M							
Grade: IOCK Quantity: 390400T Percentage: 72.2 % MAX WEIGHT CAP.		<table border="1"> <tr> <td>7. IOKN 67815MT 72.2 % MAX 68500MT</td> <td>6. IOKN 65340MT 68.8 % MAX 66000MT</td> <td>5. IOKN 53545MT 56.4 % MAX 56920MT</td> <td>4. IOKN 44000MT 46.3 % MAX 56920MT</td> <td>3. IOKN 54700MT 57.6 % MAX 56920MT</td> <td>2. IOKN 56000MT 59 % MAX 58420MT</td> <td>1. IOKN 49000MT 59.7 % MAX 53500MT</td> </tr> </table>					7. IOKN 67815MT 72.2 % MAX 68500MT	6. IOKN 65340MT 68.8 % MAX 66000MT	5. IOKN 53545MT 56.4 % MAX 56920MT	4. IOKN 44000MT 46.3 % MAX 56920MT	3. IOKN 54700MT 57.6 % MAX 56920MT	2. IOKN 56000MT 59 % MAX 58420MT	1. IOKN 49000MT 59.7 % MAX 53500MT
7. IOKN 67815MT 72.2 % MAX 68500MT	6. IOKN 65340MT 68.8 % MAX 66000MT	5. IOKN 53545MT 56.4 % MAX 56920MT	4. IOKN 44000MT 46.3 % MAX 56920MT	3. IOKN 54700MT 57.6 % MAX 56920MT	2. IOKN 56000MT 59 % MAX 58420MT	1. IOKN 49000MT 59.7 % MAX 53500MT							
Totals: Grade: IOCK 390400Tonnas		Total: Tonnas											

Pour No.	Hold No.	Tonnas	Cargo	Ballast operations	Time required (hours)	Comments	Calculated values				Calculated values			Observed values		
							Draught		Maximum		Air draught	Mean Draught mid	Trim	Draught		
							End	Aft	SM*	SP*				End	AR	Mid
Arrival Draft							11.00	11.45	87	88	21.70	11.22	0.45			
1	4	11000	GO NO 4&5A 4000+4000		0.89		11.25	11.27	87	88	21.45	11.28	0.02			
2	8	16000	GO&EQ NO 5A 4000+8000		1		11.08	12.12	85	83	21.82	11.60	1.04			
3	2	13000	PO NO 1F&3F 3800+3800		0.81		11.77	11.93	86	84	20.93	11.85	0.16			
4	5	12500	PO NO 4&5A 3500+3500		0.78		11.83	12.47	84	82	20.87	12.15	0.84			
5	1	12000	PO NO 1F 8750		0.75		12.11	12.92	85	83	20.59	12.37	0.51			
6	7	17000	PO NO 4&8 3500+8000		1.08		11.76	13.91	59	58	20.64	12.84	2.15			
7	3	13500	PO NO 3F 7500		0.84		12.27	13.95	59	55	20.43	13.11	1.68			
8	5	12500	PO NO 4 7000		0.78		12.21	14.80	56	52	20.49	13.41	2.39			
9	1	12000	PO NO 1E 8700		0.75		13.00	14.26	57	58	19.70	13.83	1.26			
10	7	17000	PO NO 6 9500		1.08		12.43	15.86	52	84	20.27	14.05	3.23			
11	3	13500	PO NO 1A&3F 3800+3800		0.84		12.77	15.89	50	44	19.93	14.33	3.12			
12	8	16000	PO NO 5A&8 7800+1400		1		12.58	16.79	45	48	20.12	14.69	4.21			
13	2	13000	PO NO 1A 7300		0.81		13.15	16.75	44	38	19.55	14.95	3.60			
14	4	11000	PO NO 4 6200		0.89		13.46	16.89	43	37	19.24	15.18	3.43			
15	1	12000	MT 1F&1A PO NO 3F 1600		0.75		14.41	16.40	47	40	18.29	15.41	1.99			
16	5	12500	PO NO 4 7000		0.78		14.37	16.99	43	38	18.33	15.68	2.62			

Figura 01: Plano de Carga – Padrão BLU Code com destaque do campo Dock Water Density.

Fonte: O Autor

Analisando a figura 01, observa-se que é dado em destaque *Dock Water Density* (Densidade do berço de atracação). Isto configura-se como informação essencial para a elaboração do plano de carga/descarga do navio, pois é com o uso desta informação que o imediato poderá calcular, com uso de softwares específicos, a capacidade máxima de carga que o navio poderá receber sem que seu calado ultrapasse a profundidade máximo do berço.

O *BLU Code* determina ainda que devem ser fornecidas ao navio todas as informações disponíveis sobre a densidade e os contaminantes existentes na água no local de atracação.

d. Estabilidade e Navegabilidade do navio

Sendo de flutuabilidade a propriedade de um corpo que permanecer na superfície de um líquido, ela depende da igualdade entre o seu próprio peso e o empuxo do líquido. Tal propriedade é diretamente afetada pela variação da densidade do líquido, neste caso, a água do estuário na qual o navio está inserido.

A flutuabilidade varia com o peso específico do meio líquido, em geral em cálculos de flutuabilidade nava, utiliza-se como referência padrão a densidade da água salgada em alto mar, cujo valor é de acordo com a Convenção Internacional de Linhas de cargas – LL66, é igual a 1025 kg/m^3 ou $1,025 \text{ t/m}^3$ (ICN, 2008).

Modificações expressivas no valor da densidade da água podem alterar significativamente a flutuabilidade do navio, e por conseguinte sua capacidade de carga. A principal de forma de monitorar a estabilidade é pela observação do nível de imersão da embarcação através da leitura de suas marcas de calado, as quais são escala verticais grafadas em alto relevo em posições específicas na proa, popa e meia-nau tanto a bombordo quanto a boreste do navio.

Analisando o fluxograma a seguir (figura 2) observa-se com clareza o quanto a flutuabilidade e a estabilidade são fatores decisivos para o planejamento operacional de uma operação de embarque de cargas em um navio.

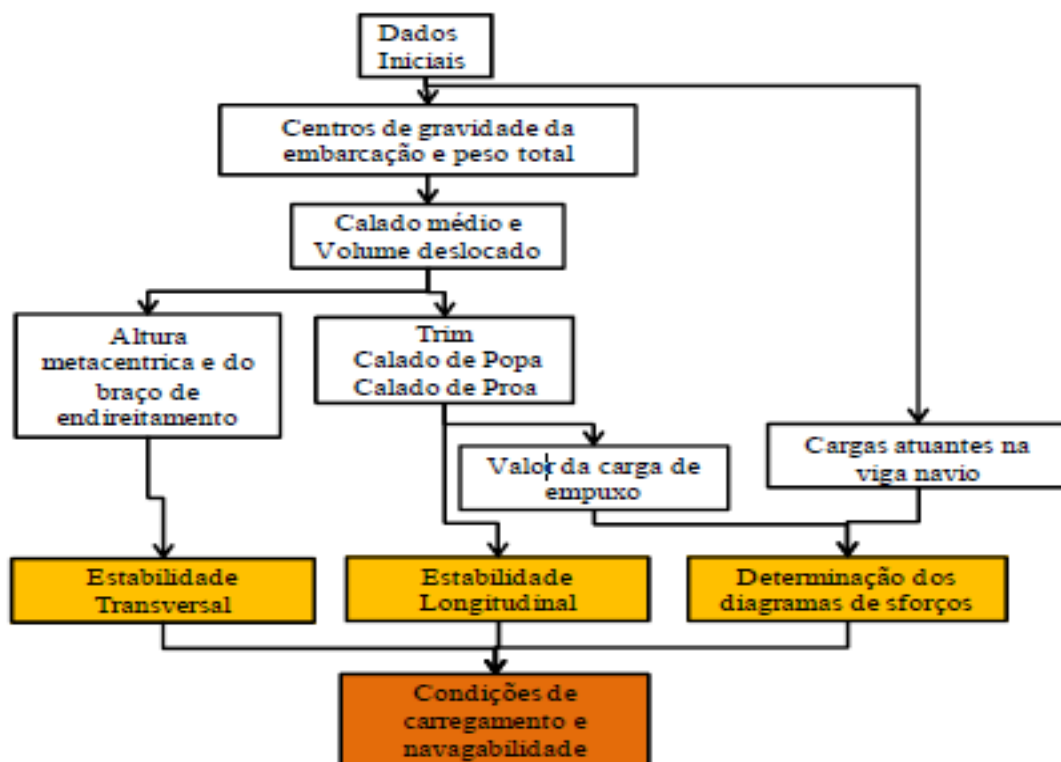


Figura 02: Fluxograma de cálculo de carregamento de navio,
Fonte: Filho, A. J. B. (2010)

4. Área de estudo

Para realização do estudo proposto neste trabalho foi escolhido o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM) situado na área norte do Complexo Estuarino de São Marcos (CESM).

O CESM é uma extensa zona estuarina situada a oeste de São Luís (MA), considerado o maior complexo estuarino da costa Nordeste do Brasil, com cerca de 100 km de extensão e aproximadamente 23.600 km², sendo delimitado a oeste pelo continente, a leste pela Ilha do Maranhão, e ao sul pela foz do Rio Mearim. (RIOS, 2001; DHN, 2013) (Figura 03).

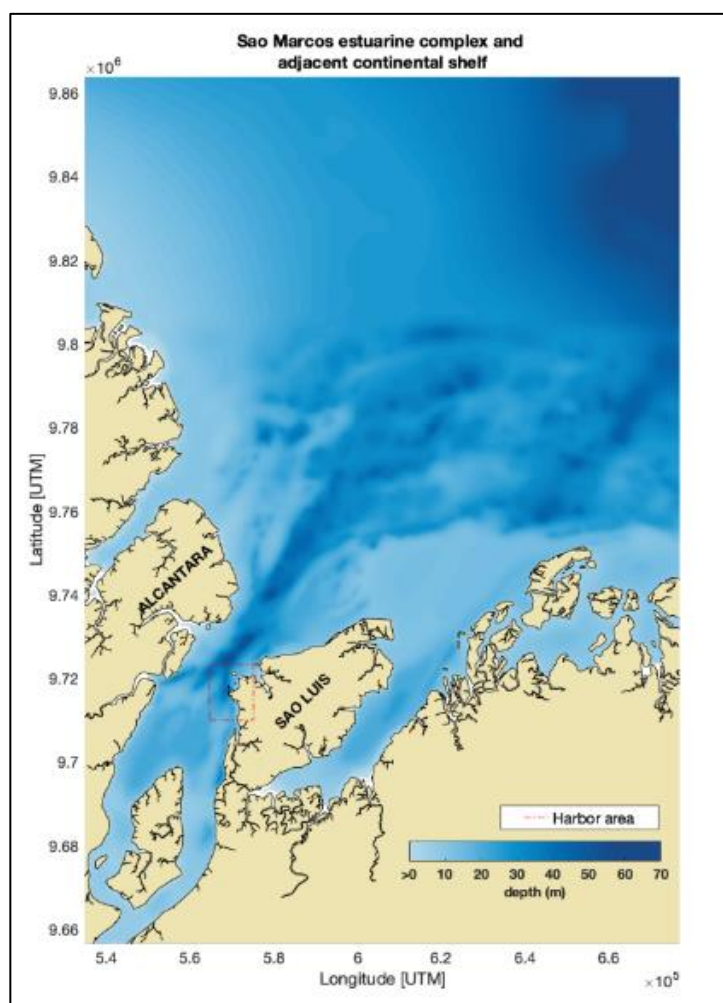


Figura 03: Complexo Estuarino de São Marcos -CESM

O CESM apresenta uma característica marcante que é a presença do regime de maré com periodicidade semi-diurna e amplitude de macro maré, com alturas podendo atingir 6,5 m e influenciam áreas distantes de até 150 km do litoral (DILLENBURG et al., 2009).

A variação periódica do nível do mar determina a presença de fortes correntes de enchente ao longo de todo o ciclo anual, atingindo valores acima de 3 ms⁻¹ em áreas adjacentes ao Terminal Marítimo Ponta da Madeira (PEREIRA; HARARI, 1995).

O CESM recebe as maiores contribuições da bacia hidrográfica do rio Mearim, que contém uma área de aproximadamente 99.000 km², que corresponde a cerca de 30% do território do estado. Os principais afluentes que compõem a bacia do Mearim são o próprio rio Mearim, rio Pindaré, rio Grajaú, rio das Flores e o rio do Corda (SECID, 2014).

Segundo Jenneerjhan et al. (2010), os valores estimados para a vazão na região do CESM, são na ordem de 10 km³/ano provenientes das descargas dos Rios Pindaré, Grajaú e Mearim.

O clima da região do CESM, é tropical chuvoso (classificação climática de Köppen), apresentando elevadas temperaturas e com duas estações climáticas bem distintas:

- Estação chuvosa (balanço hídrico positivo);
- Estação seca (balanço hídrico negativo).

A estação chuvosa se inicia em janeiro e termina em junho, e a estação seca compreende os meses de julho a dezembro, como mostrado na figura 4 (ALVARES et al., 2013; SAMARITANO et al., 2013).

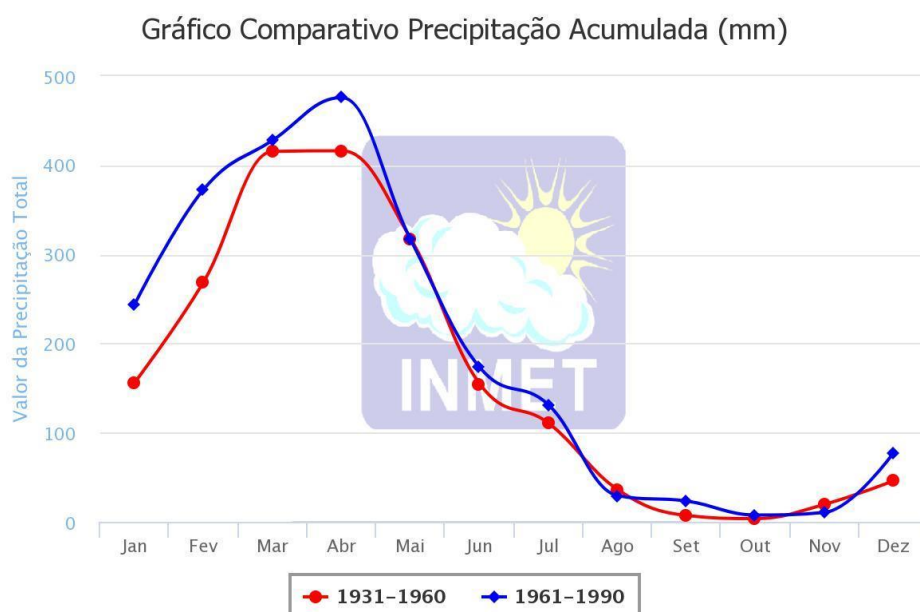


Figura 4. Precipitação acumulada da região de São Luís do Maranhão dos anos 1931 a 1990 [Fonte: Santos, 2018 *iput* INMET, 2018]

A média anual de precipitação pluviométrica entre 1981 e 2016 é de 2115 mm na estação 82280, localizada em São Luís - MA, com valores anuais oscilando entre 884 e 3981 mm. No período chuvoso, a média mensal é de 315 mm, com os registros máximos observados nos meses de fevereiro, março e abril, enquanto no período seco, a média mensal é de 39 mm, com os menores registros de pluviosidade ocorrendo em setembro e novembro.

O Complexo Estuarino de São Marcos é considerado um dos mais importantes do litoral brasileiro devido ao grande número de empreendimentos presentes na região, tais como Companhia Vale, Alumar, Petrobrás, VLI e TEGRAM, representando, desta forma, um dos maiores setores de exportação do mundo em termos de movimentação de carga. Isso se deve muito ao fato de seu canal apresentar grandes profundidades, margens baixas e pequenas elevações na Ilha do Maranhão (AMARAL et al., 2010; DHN, 2013; MÍLEN et al., 2006).

Figueiredo, ao citar MILEN, A. F. et al. 2006, destaca que a existência de um complexo portuário em São Luís torna a cidade um polo de atração para indústrias que utilizam o transporte marítimo, a Vale S/A e a Alcoa são exemplos de empresas que se instalaram na cidade, atraídas, dentre outros fatores, pela potencialidade portuária.

4.1. Terminal Marítimo de Ponta Da Madeira (TMPM)

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (Figura 6) está inserido dentro de uma área denominada Complexo Estuarino de São Marcos (CESM). Segundo Alfredini e Arasaki (2009), regiões com estuários são frequentemente escolhidas para comportarem instalações portuárias pois muitas vezes, possuem as condições naturais ideais para o recebimento de navios como:

- área abrigada das ações de forte correntes marítimas e ondas;
- boa profundidade natural;
- áreas adequadas para o fundeio e manobras destas embarcações.

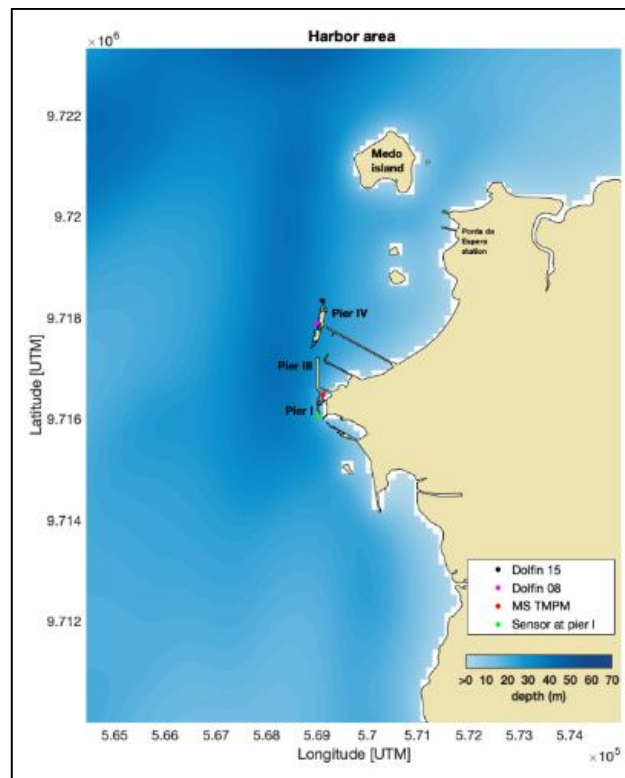


Figura 6. Terminal Marítimo de Ponta da Madeira

Miranda et al. (2012) denomina estuários os ambientes de transição entre o continente e o oceano, onde ocorre o encontro de rios e mar, que resulta na diluição mensurável da água salgada.

O Terminal Marítimo Ponta da Madeira (TTPM), ocupa atualmente o primeiro de lugar entre os portos do Brasil com maior volume de carga movimentada por ano (ANTAQ, 2020).

Graças a alguns fatores naturais - aspecto geológico e geomorfológico e variações adequadas de marés (MÍLEN et al., 2006), e antrópicos (realização de dragagens de aprofundamento e de manutenção ao longo do canal de navegação e nos berços de atracação), o TTPM é um dos poucos portos do mundo com condições de operar os maiores navios graneleiros do mundo.

Conhecido como Valemax ou Chinamax, os maiores navios graneleiros do mundo têm a capacidade de transportar até 408 mil toneladas de minérios de ferro em uma única viagem, fator esse que permite expressivo ganho em economia de escala por unidade de tonelada embarcada.

O porto de TTPM é composto por cinco berços de atracação de navios, dedicados exclusivamente para embarque de minério de ferro proveniente do complexo Carajás.

Os berços de atracação de navios do TMAPM estão situados em regiões de intensa dinâmica de sedimentos (FIGUEIREDO, 2018), esses berços, também chamados de Piers são denominados como segue (ALFREDINI, 2018):

- Píer I – Com profundidade estabelecida em 25 metros, sendo 23 metros operacionais;
- Píer III sul - Com profundidade estabelecida em 24 metros, sendo 21 metros operacionais;
- Píer III Norte - Com profundidade estabelecida em 22 metros, sendo 18 metros operacionais
- Píer IV Sul - Com profundidade estabelecida em 25 metros, sendo 23 metros operacionais;
- Píer IV Norte - Com profundidade estabelecida em 25 metros, sendo 23 metros operacionais



Figura 07: Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TMAPM
Fonte: Magalhães, A.C. R, (2018)

5. Materiais e métodos

5.1. Aquisição de dados

Durante as operações de carregamentos de navios graneleiros no TMAPM são realizadas as chamadas Arqueação. Entre outros objetivos, a arqueação serve para determinar, por meios de cálculos hidrostáticos, a quantidade oficial de carga embarcada em cada navio. Para realização destes cálculos é necessário a coleta de amostras de água do berço onde o navio se encontra para mensuração da densidade.

Ao final de cada arqueação é emitido um laudo técnico denominado *Draft Survey Report*, com todas as informações das condições hidrostáticas dos navios para aquele dado momento da operação de carga, assim como o registro do valor da densidade da água local. Todas essas informações são armazenadas em um banco de dados do próprio porto para fins de consultas futuras.

Para realização deste estudo contamos com a colaboração da VALE S/A, empresa proprietária e gestora do TPM, para os fornecimentos dos registros dos valores de densidade utilizados nas realizações de arqueação de navios durante o período de novembro/2020 a agosto/2021. Ao todo foram analisados o total de 495 arquivos, cada um referente a realização de uma arqueação.

5.1.1. Alguns conceitos importantes:

Calados (Drafts) – Distância vertical entre a superfície da água até a quilha de uma embarcação.

Marcas de Calado: Marcações numéricas existentes em portos específicos no costado de um navio. Sua função é indicar o nível de imersão do navio, ou seja, a distância entre a linha d'água até a parte mais baixa do casco da embarcação (quilha). Existem ao todo seis marcas de calado em um navio.

Água de Lastro – No caso de navios, é a água utilizada dentro do navio com a finalidade de proporcionar a estabilidade mínima necessária para que uma embarcação possa navegar com segurança.

Tabela hidrostática – Tabela que contém as principais características hidrostáticas do navio.

Linhas de Carga: Marcações especialmente posicionadas a meia-nau da embarcação a fim de indicar o limite máximo permitido para imersão em diferentes tipos de águas em que o navio pode ser carregado. A posição destas marcações leva em consideração principalmente determinadas faixas de valores de densidade comuns para determinadas regiões do globo terrestre.

Disco de Plimsol: A linha Plimsoll é uma marca de referência localizada no casco de um navio que indica a profundidade máxima em que a embarcação pode imergir com segurança quando carregada com plena capacidade de carga. Essa profundidade varia de acordo com as dimensões do navio, tipo de carga, época do ano e as densidades de água encontradas no porto e no mar. O principal objetivo desta

marcação é a garantia da reserva de flutuabilidade do navio. (NOAA – Ocean Service, 2021)

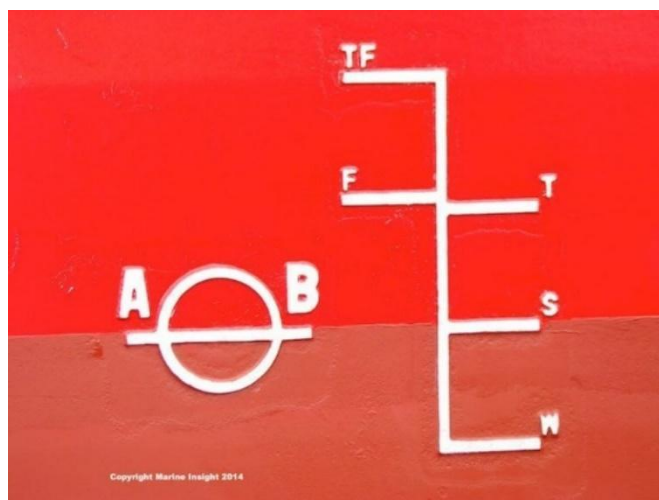


Figura 8 – Linhas de Carga e Disco de Plinsol
Fonte: Marine insight, 2021.

O significado das letras na Figura são descritos abaixo:

- TF (Tropical Fresh water) = água doce tropical, outra carga que não madeira.
- F (Fresh water) = água doce, outra carga que não madeira.
- T (Tropical) = água salgada tropical, outra carga que não madeira.
- S (Summer) = água salgada no verão, outra carga que não madeira.
- W (Winter) = água salgada inverno, outra carga que não madeira.

5.2. Procedimentos para arqueação de navio

Para realização da quantificação da carga embarcada em um navio graneleiro por meio do cálculo de arqueação é necessário seguir algumas etapas, como segue:

Passo 01 - Realizar a leitura dos calados (escalas métricas que informam o nível de imersão) do navio nos dois bordos da embarcação. Com auxílio de um barco de apoio, realizar checagem de calados, a fim de obter os valores médios de imersão do navio nas áreas de proa, meia-nau e popa.

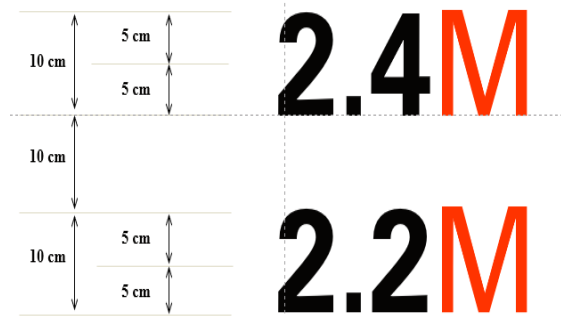


Figura 9: Realização de leitura de calados (drafts) por arqueadores de navios para verificação do nível de imersão da embarcação.

Fonte: SGS, 2003

Passo 02 - Realizar sondagem dos tanques de água de lastro e itens dedutíveis (óleo combustível, óleo diesel, lub oil, água potável, entre outros). Esses valores deverão ser abatidos do valor total do deslocamento calculado.

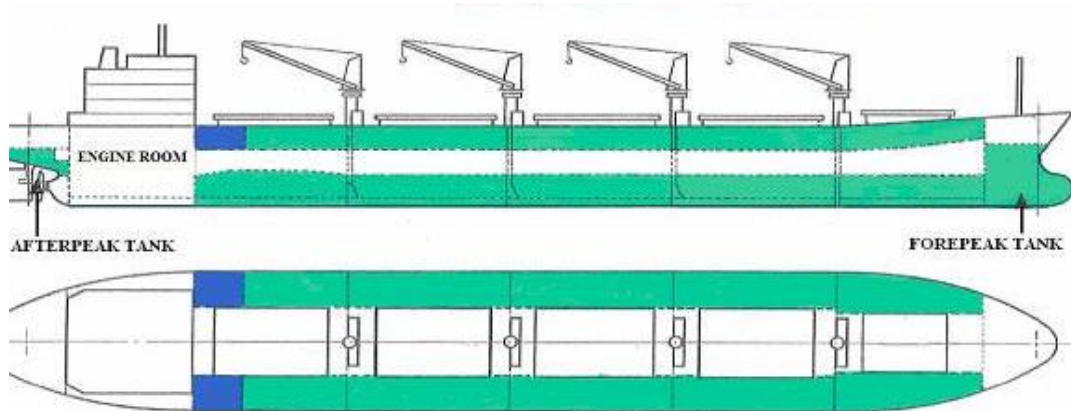


Figura 10: Diagrama indicativo os tanques de consumíveis em um navio graneleiro

Fonte: Marine insight, 2021.

Passo 3 - Obtenção dos dados hidrostáticos do navio. Para realização de uma arqueação é necessário conhecer as particularidades do navio, uma vez que cada embarcação possui diferentes características hidrostática devido ao seu tamanho, design, estaleiro de construção, sociedade que o classificou, entre outras. Estes ficam disponíveis ao arqueador no livro de bordo denominado *Stability Book*, ou simplesmente **Tabela hidrostática**.

Passo 4 - Checar a densidade da água. Uma vez que os dados obtidos pela consulta da tabela hidrostática do navio referem-se a uma embarcação flutuando em água salgada, cuja densidade de referência é geralmente definida em $1,025 \text{ kg/m}^3$. Se, na prática, a embarcação flutuar em água de densidade diferente, uma correção de volume de deslocamento deve ser aplicada, conforme descrito no passo seguinte.

Deve-se tomar cuidado, pois a densidade da água circundante pode diferir por vários motivos, desde a superfície até os níveis mais baixos. O nível da superfície pode ter uma densidade diferente devido a contaminação com carga derramada durante o seu manuseio ou devido às chuvas abundantes recentes. A água abaixo da superfície pode ser estratificada em diferentes camadas de densidade em locais de maré, rios e estuários por causa dos movimentos de enchente e vazante (UK P&I Club, 2008). Portanto, uma amostra deve ser coletada com o equipamento adequado, como um recipiente de amostragem o qual deve ser pesado o suficiente para afundar quando vazio e com mecanismos de fechamento/abertura da entrada de água, de forma que a água coleta seja exatamente do ponto da coluna d'água desejada (SGS, 2003).

As posições de amostragem irão depender em grande parte das circunstâncias locais e do calado do navio. Em circunstâncias normais, geralmente é suficiente coletar uma amostra em execução na margem da embarcação a meia-nau. Para navios grandes, com mais de 90.000 TPB e comprimento total acima de 200 metros, é aconselhável coletar pelo menos três amostras de água (Figura 11), sendo uma a meia-nau, uma próxima à marcação de ré (AP) e outra próxima à marcação de proa (FP), (SGS, 2003).

A média das três medições de densidade será usada para os cálculos seguintes.

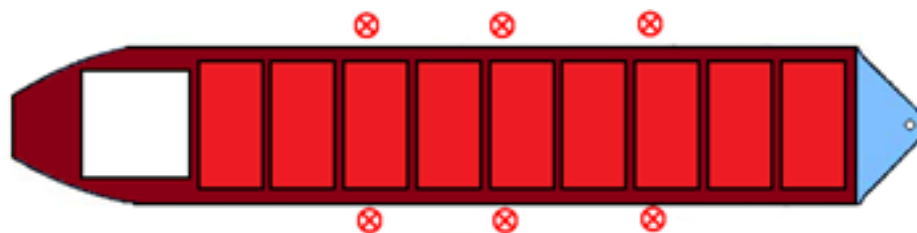


Figura 11. Pontos de coleta de amostras de água do mar para medição da densidade.
Fonte: o autor (adaptado)

Para se realizar a conversão do valor da massa do deslocamento água para o valor correspondente ao da densidade local aplica-se a seguinte fórmula:

$$Deslocamento\ Real = \frac{Deslocamento\ Corrigido\ Trim \times Densidade\ Local}{Densidade\ de\ referência}$$

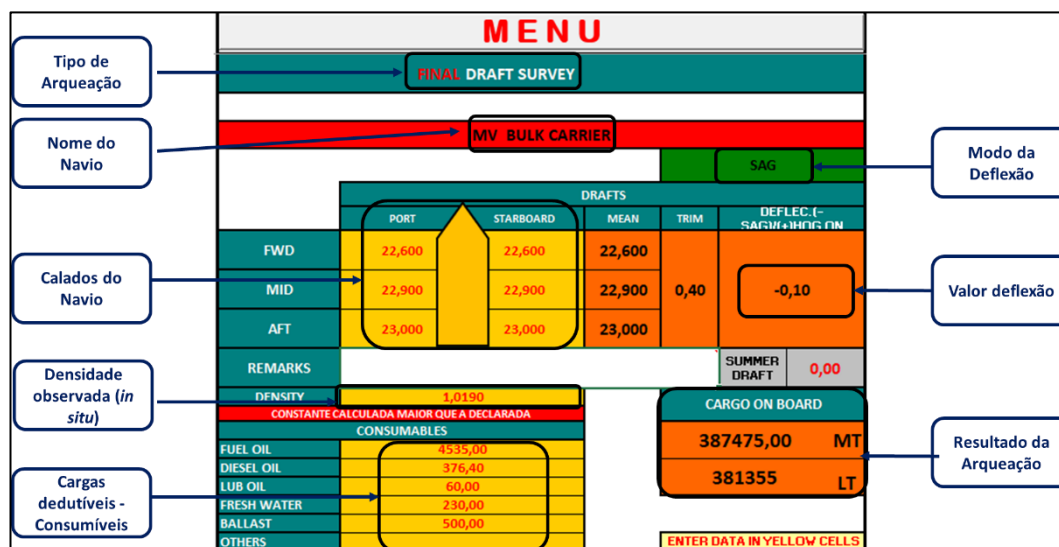
Onde:

Deslocamento Corrigido Trim: Quantidade de massa d'água deslocado pelo peso do navio (com ou sem carga) considerando apenas valores de sua tabela de informações hidrostáticas.

Densidade de referência: Valor de densidade padrão da tabela de informações hidrostáticas.

Passo 5 - Realizar cálculo de arqueação. De posse de todas as informações necessárias, os dados obtidos são inseridos em um programa utilizado para realização e emissão do laudo completo do cálculo de arqueação. O principal produto desta atividade é a declaração oficial da quantidade de carga que será transportada pelo navio após sua desatracação no referido porto de embarque.

A seguir, a título de exemplo, apresenta-se algumas das telas principais do programa de arqueação utilizado no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira.



The screenshot shows a software interface for draft survey calculations. It includes a menu bar at the top, a main data entry area with various tables, and a results section on the right. The interface is color-coded with yellow for input fields and orange for calculated results.

MENU						
FINAL DRAFT SURVEY						
MV BULK CARRIER						
SAG						
DRAFTS						
	PORT	STARBOARD	MEAN	TRIM	DEFLEC. (- SAG/2 + WHS FIN)	
FWD	22,600	22,600	22,600	0,40	-0,10	
MID	22,900	22,900	22,900			
AFT	23,000	23,000	23,000			
REMARKS						
DENSITY 1,0190						
CONSTANTE CALCULADA MAIOR QUE A DECLARADA						
CONSUMABLES						
FUEL OIL 4535,00						
DIESEL OIL 376,40						
LUB OIL 60,00						
FRESH WATER 230,00						
BALLAST 500,00						
OTHERS						
ENTER DATA IN YELLOW CELLS						
SUMMER DRAFT 0,00						
CARGO ON BOARD						
387475,00 MT						
381355 LT						

Figura 12: Exemplo de programa utilizado para realização de cálculo de arqueação de navios. Fonte: Autor

5.2.1. Valores de densidade registrados em arqueações de navios no TMPM

A obtenção destes dados foi possível graças à colaboração da Gerência de Operações de Embarque do porto de TMPM, por meio da Equipe de Inspectores de Embarque de Navios, os quais dentre outras funções, atuam também como Arqueadores (*Draft Surveyor*).

Através da análise dos relatórios de cada arqueação realizada dentro do período mencionado, é possível obter a informação do valor da densidade da água do estuário.

O valor da densidade, para efeito do cálculo de arqueação, é obtido através de observação direta, por meio da aplicação de um método relativamente simples,

mas que segue exatamente ao padrão internacional recomendado pelo *Code of Uniform Standard and Procedures for performance of Draught Survey of Coal Cargos*, elaborado pelo *United Nations Economic Commission for Europe - UNECE* (1992):

- i. Com auxílio de recipiente de metal especial (Figura 13), projetado para coleta de líquido, são retiradas três amostras de água de mar (estuário) em pontos específicos na proa, meia-nau e popa do navio a uma profundidade de aproximadamente a metade do calado médio da embarcação no momento da leitura (SGS, 2003).



Figura 13- Coleta de amostra de água para análise de densidade
Fonte: O autor

- ii. Utilizando um aparelho de densímetro de bulbo de vidro, da marca Zeal, (especificações: 0,990 / 1,040 kg / L no ar a 15 °C 330 mm de comprimento com 0,0005 divisões, calibrado para água do mar e para líquido com média tensão superficial) é realizada a mensuração por observação direta do valor da densidade da amostra d'água (Figura 14).



Figura 14 – Densímetro de vidro Zeal para *Draft Survey*
Fonte: Zeal, 2022

De acordo com o que estabelecido no procedimento operacional para arqueações no porto de TMPM, as amostras de água são coletadas a uma profundidade equivalente a 50% do calado de meia-nau do navio no momento da arqueação.

Considerando que os berços de atracação, Píer I, Píer IV Sul e Píer IV Norte, utilizados como locais deste estudo, recebem navios com calado médio de saída a plena carga da ordem de 23 metros, pode-se estimar que a grande maioria das amostras analisadas foram retiradas a um nível entre 11 a 12 metros de profundidade.

Os valores de densidade utilizados como parte integrante do cálculo de arqueação são inseridos no Software GPV – *Draft Survey*. Após a conclusão desta atividade e emitidos os documentos recebidos referente às carga dos navios, os dados utilizados são armazenados no *Sistema Integrado de Gestão Portuária- GPV Portos* (Figura 15). Acessando este bando de dados, com a autorização da Vale S/A foi possível extrair as informações de todas as arqueações realizadas no porto ao longo do ano de 2021.

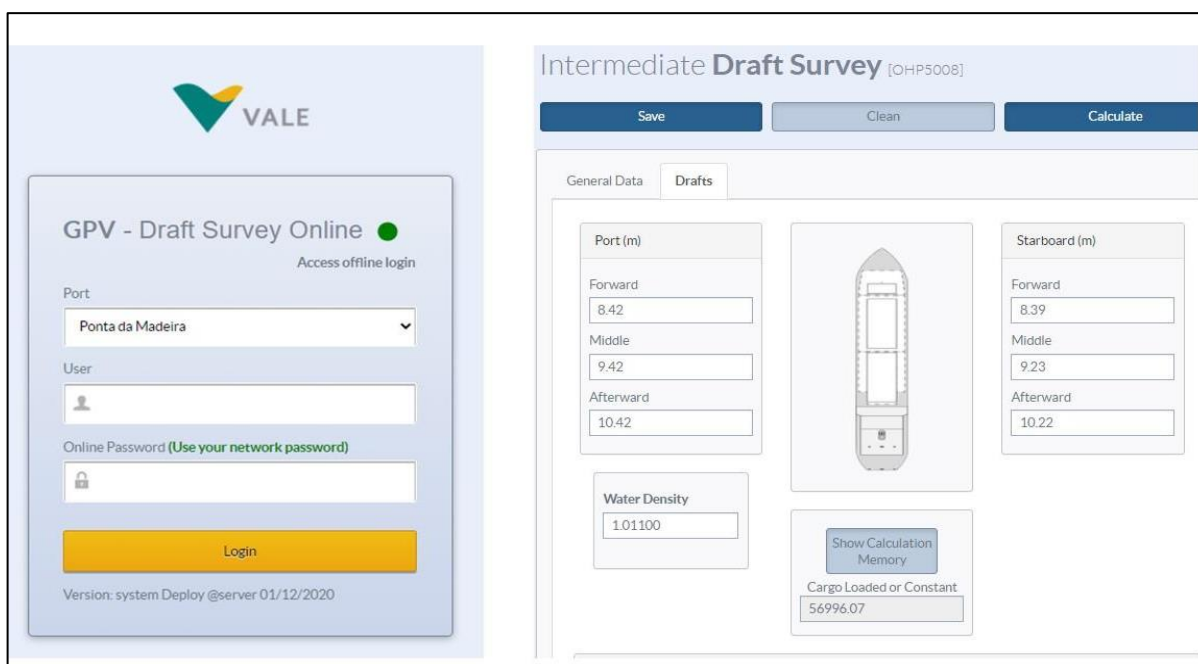


Figura 15 – Interface do Programa de Arqueação de Navio – Draft Survey Offline
Fonte: O Autor

Visto que, em cada um dos 495 arquivos do tipo TXT, com os registros de arqueação, existem diversas informações, como por exemplo, características hidrostáticas e hidrodinâmicas da embarcação, assim como registros de fatos do próprio carregamento, foi necessário realizar um filtro dessas informações para que fosse possível extrair apenas aquelas referente aos objetivos deste estudo.

Desta forma foi desenvolvido um software especificamente para este projeto: **Arqueação Offline Trabalho Mestrado** (Figura 16). Com o auxílio deste software foi possível a obtenção exclusiva dos registros das análises de densidade por arqueação realizadas durante o período de análise.

Arqueação Off Line - Versão 1.0 - Trabalho de Mestrado | Desenvolvido por: Fábio Maurício | 22/08/2021 / 15:52:17

CONSULTA DADOS POR PIER

Filtro
 Pier
 PIER I

PESQUISAR | LIMPAR PESQUISAR

PIER I

Total Densidade Geral **72,4061300000001**
 Total Geral Arqueação **7.115.332,72000**

DADOS DE VIAGENS - ARQUEAÇÕES POR PIER

Item	CodigoViagem	TipoArqueacao	DataArqueacao	HoraArqueacao	Pier	Densidade	ValorArqueacao	NomeNavio
1	201911436	Initial	26/10/2019	17:36	PIER I	1,022	526,75	AKAGISAN
2	201911436	Intermediate	26/10/2019	19:00	PIER I	1,025	247035,97	AKAGISAN
13	201911709	Initial	26/08/2019	02:00	PIER I	1,018	450,45	ALPHA BRAVERY
14	201911709	Intermediate	26/08/2019	18:30	PIER I	1,018	156333,08	ALPHA BRAVERY
15	201911709	Final	26/08/2019	21:45	PIER I	1,0185	156333,08	ALPHA BRAVERY
25	201912328	Initial	22/10/2019	12:20	PIER I	1,019	550,14	ALPHA CENTURY
135	201810731	Initial	12/05/2018	04:02	PIER I	1,016	500,43	ANANGEL HAILI
136	201810731	Intermediate	13/05/2018	03:35	PIER I	1,013	155216,92	ANANGEL HAILI
137	201810731	Final	13/05/2018	15:00	PIER I	1,014	155216,92	ANANGEL HAILI
141	201812466	Initial	11/11/2018	09:05	PIER I	1,021	500,45	ANANGEL HAILI
142	201812466	Intermediate	12/11/2018	07:38	PIER I	1,021	208666,67	ANANGEL HAILI
178	201810057	Initial	04/03/2018	08:58	PIER I	1,022	175,46	
179	201810057	Intermediate	05/03/2018	04:58	PIER I	1,022	272234	
180	201810057	Final	05/03/2018	15:30	PIER I	1,022	272234	

Registro nº 1 - do total de: 71

EXPORTAR EXCEL | Emitir Relatório | Fechar

Figura 16 - Programa Extrator de Dados de Densidade
 Fonte: O Autor

5.2.2. Valores de Densidade obtidos do SISMO® – Sistema de Informações Meteo-Oceanográficas

Em novembro de 2020 foram implantados no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira alguns aparelhos que exercem a função de “Densímetro Digital”, a qual tem a função de efetuar mensuração contínua, em intervalos mínimos de 5 minutos, dos níveis de densidade da água dos berços de atracação. Estes aparelhos são parte integrante do projeto do sistema informatizado de monitoramento contínuo das variações meteo-oceanográficas nos berços de atracação do TMPM - **SISMO®Vale PDM**.

O sistema SISMO®ValePDM, desenvolvido pela empresa Hidromares, é formado por duas estações oceanográficas (Figura 17), cada delas equipada com um perfilador acústico de correntes horizontal (ADCP - Acoustic Doppler Current Profiler), modelo SL500, marca SonTek (Figura 18A).

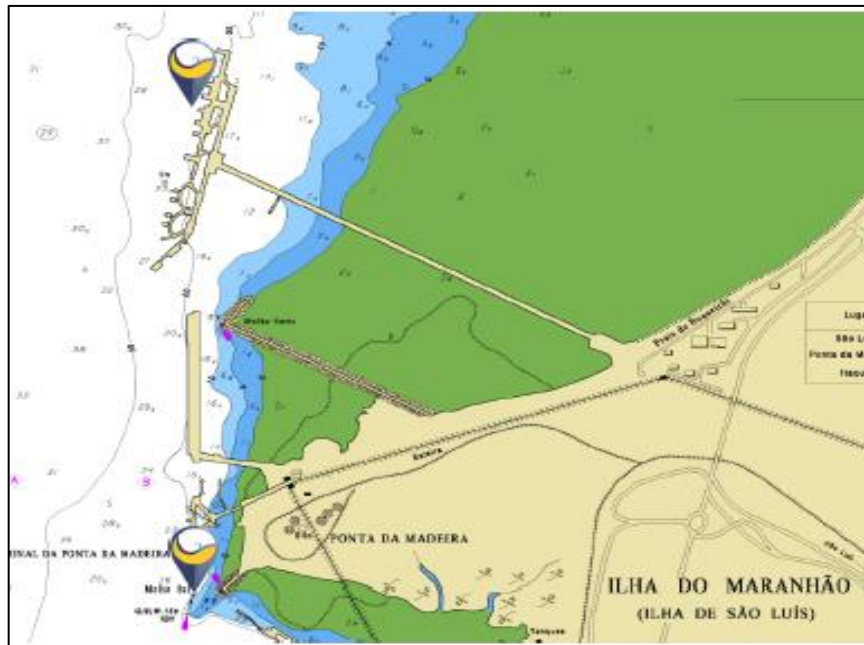


Figura 17: Indicações da localização dos sensores para leitura da densidade da água do mar no Terminal da Ponta da Madeira. Projetada sobre a carta náutica nº413.

Os ADCP's instalados coletam dados de intensidade e direção das correntes ao longo de uma secção horizontal, com extensão de até 120 metros a partir do ponto de instalação do sensor (Figura 18B). Deste modo, são capazes de observar variações espaciais da intensidade e direção das correntes. Cada ADCP é também equipado com um sensor de pressão e um transdutor vertical para monitoramento do nível do mar (MAGALHÃES, 2018).

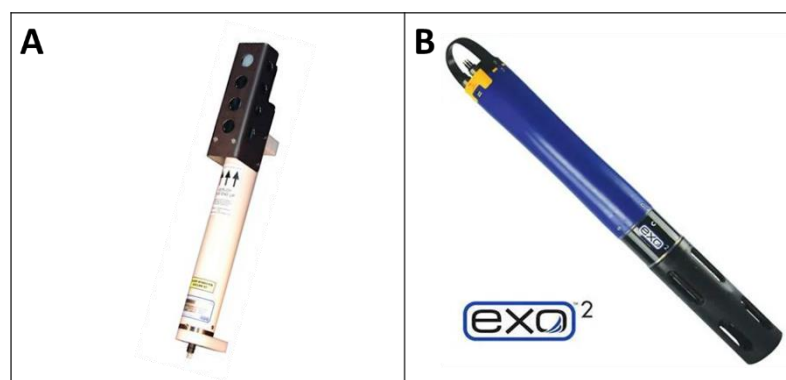


Figura 18: Sensores componentes do Sistema SISMO® para leitura de densidade: (A) CTD SBE 37-SMP MicroCAT com grade de proteção; (B) EXO2 Sonda Multiparâmetro – YSI.

Para a mensuração contínua da densidade em TPM foram instalados 4 sensores capazes de realizar leituras das condições de temperatura, salinidade, condutividade e pressão da coluna d'água, distribuídos da seguinte forma:

- **Pier I – Dolphin 01:** Dois sensores SBE-37 SMP MicroCAT (Sea-Bird Scientific, CA, USA), sendo um instalado a profundidade de – 1m do Nível de Redução (NR) do porto e outro a -8m do NR, fixado no pilar do referido Dolphin (figura 17).
- **Pier IV - Dolphin 08:** Este dolphin foi escolhido por estar situado no centro dos berços Sul e Norte deste pier, onde também foram instalados dois sensores, sendo o primeiro um EXO2-Wiped (YSI, USA) e um outro SBE-37 SMP localizados a -1m e a -8m do NR respectivamente, (figura 17).

Segundo informações dos manuais dos fabricantes, os dados técnicos destes sensores pertinentes a este estudo são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 1: Ficha técnica EXO2 Sonda Multiparâmetro – YSI.

Sensor: EXO2 Multiparameter Sonde - YSI			
Parâmetro	Range	Resolução	Precisão
Condutividade (Wiped)	0 a 100 mS/cm	0,0001 a 0,01 mS/cm	±1%
Temperatura	-5 a 35°C	0,001 °C	±0,01°C
Profundidade	até 100m	0,001m	±0,04% Faixa completa
Salinidade	0 a 70 ppt	0,01 ppt	±1,0% da leitura ou 0,1 pp
Pressão Barométrica	375 a 825 mmHg	0,1 mmHg	±1,5 mmHg de 0 to 50°C

Fonte: HidroMares, 2021

Tabela 2: Ficha técnica Sensor CTD SBE 37-SMP MicroCAT
MicroCat -SBE 37-SMP - (Interface RS-232 ou RS-485)

Faixa de medição	
Condutividade	0 to 7 S/m (0 to 70 mS/cm)
Temperatura	*-5 a 45 °C
Pressão	100m (capacidade de profundidade)
Precisão inicial	
Condutividade	± 0.0003 S/m (0.003 mS/cm)
Temperatura	± 0.002 °C (-5 to a 35 °C); ± 0.01 °C (35 °C a 45 °C)
Pressão	± 0.1% faixa completa
Resolução	
Condutividade	0.00001 S/m (0.0001 mS/cm)
Temperatura	0.0001 °C
Pressão	0.002% faixa completa

Os dados coletados por estes sensores são transmitidos para servidores em nuvem, e em seguida são processados e avaliados pelo SISMO®DQ®: software de avaliação da qualidade dos dados desenvolvido pela empresa HidroMares. Desta forma, apenas os dados avaliados de alta qualidade são disponibilizados para visualização, garantindo a tomada de decisões baseadas em dados confiáveis (DE CAROLI, 2018).

A coleta e leitura dos dados registrados pelo Sistema SISMO®ValePDM pode ser realizada tanto via endereço de web quanto por via do aplicativo SISMO®APP, sendo necessário a concessão de acesso fornecido pela HidroMares. A título de exemplo, a imagem a seguir apresenta os registros valores de densidade coletados no período de 07/08/2021 a 22/08/2021.

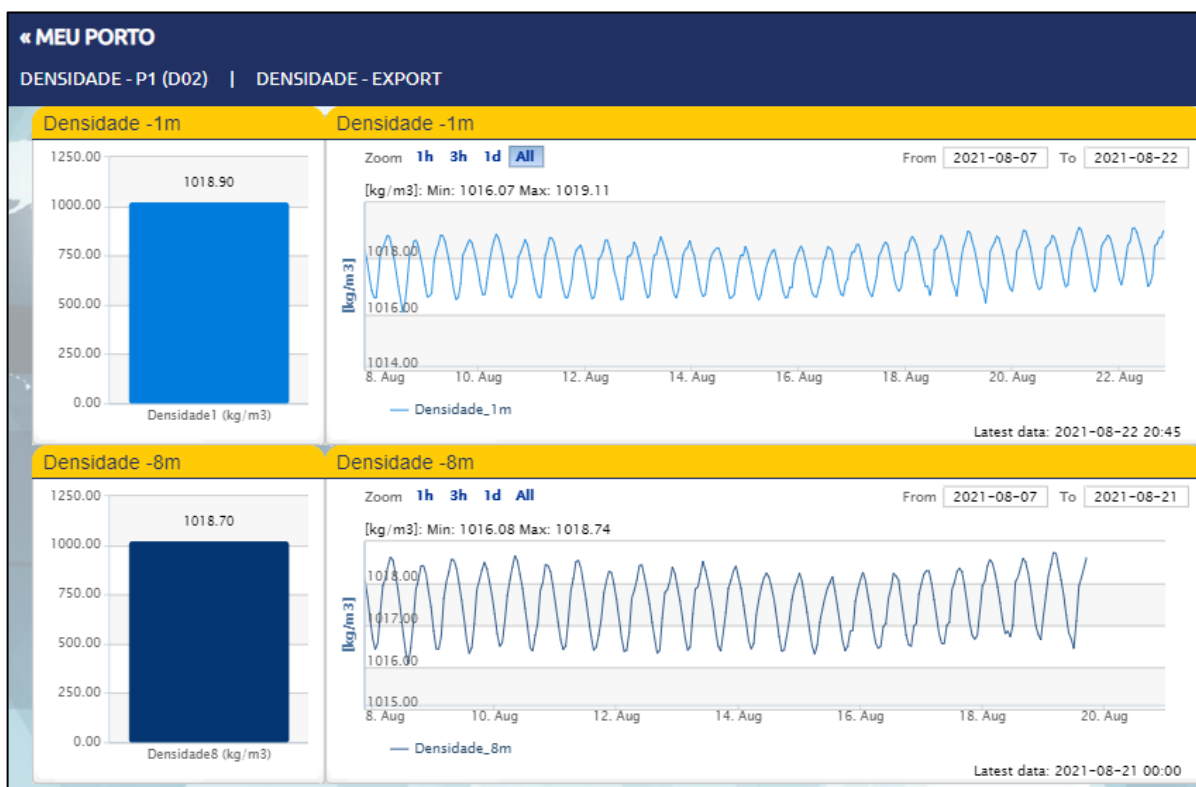


Figura 19: Página visualização de dados do SISMO®ValePDM no SISMO®Web.
Fonte: Hidromares (2021)

O painel de informações coletadas pelos sensores do SISMO®ValePDM, além de permitir a visualização em tempo real dos valores de densidade da água e de outros parâmetros oceanográficos, de acordo com o perfil de acesso do usuário, é possível também efetuar o download dos registros desejados, estratificando-os por período, local, intervalo de medição e parâmetro desejado.

5.3. Influência da densidade na produção portuária do TMPM

A quantidade de carga total que um navio graneleiro desatraca do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira transporta é oficialmente declarado, assim como em vários outros portos do Brasil e do mundo, a partir do cálculo de Arqueação, o qual como já foi dito acima, fundamentado no princípio de Arquimedes, ou princípio do empuxo, é o método internacionalmente aceito para determinação da quantidade de carga transportada em navios graneleiros.

Desta forma, por utilizar este fundamento da física hidrostática, o resultado de uma arqueação é diretamente afetado pela variação da densidade da água, a qual o navio entra-se em flutuação enquanto atracado. Ou seja, o comportamento da variação da densidade da água neste terminal portuário interfere na produção de toda cadeia logística de minério de ferro da empresa.

Assim, este trabalho concentra-se na análise de todos os fatores que interferem no comportamento da densidade da água local. Da mesma forma, compara os resultados das arqueações realizadas no ano de 2021 com aplicação método atualmente em vigor para mensuração do valor de densidade para efeito de cálculo de arqueação, com os valores registrado pelo novo sistema digital (SISMO®) de leitura contínua de densidade e suas variáveis como: temperatura, salinidade, condutividade e pressão da coluna d'água.

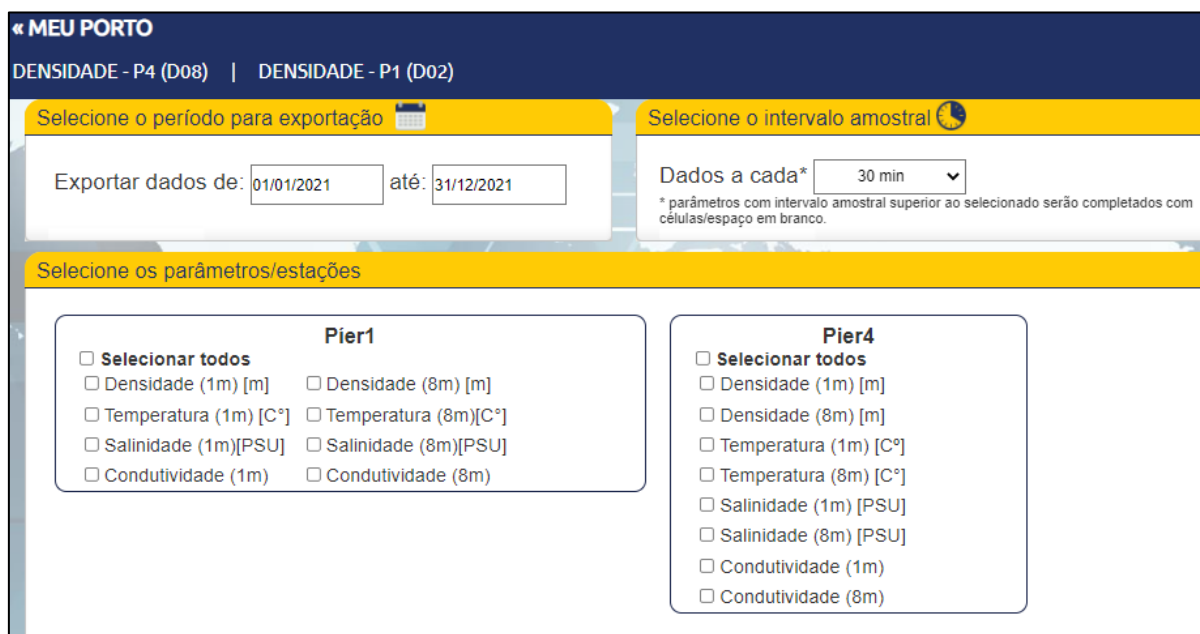
5.4. Levantamento e análise dos dados

Segundo relatório de produtividade portuária emitido pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ, em 2021 o Porto de Ponta da Madeira movimentou o equivalente a 182 milhões de toneladas de minério de ferro. Visto que, essas cargas foram transportadas em 766 navios do tipo graneleiro, o método de medição aplicado foi o Arqueação.

Apesar de atualmente o TMPM dispor da ferramenta SISMO®, um moderno sistema de monitoramento oceanográfico capaz de mensurar de forma contínua as variações de temperatura, salinidade e condutividade da água, e apresentar como resultado o valor da densidade em qualquer momento, o mesmo ainda não é utilizado para fins de cálculo de arqueação, prevalecendo portanto o método de tradição de observação do valor da densidade da água do mar por meio da coleta de amostra e uso de densímetro analógico do tipo bulbo de vidro (Figura 14).

A seguir, serão apresentadas as análises realizadas comparando os valores de densidade obtidos pelas duas ferramentas: densímetro digital SISMO® e densímetro analógico convencional (bulbo de vidro).

Para análise dos valores registrados a partir das arqueações com uso densímetro analógico, foram observados os registros de arqueações realizadas no período de janeiro a novembro de 2021. Para o desenvolvimento deste estudo foram solicitados e concedidos pela HidroMares, com a autorização por escrito da VALE S/A, os registros de densidade, salinidade, condutividade e temperatura da água nos berços Píer I e Píer IV do TMPM, para as profundidades de -1m e -8m do Nível de Redução do Porto, referentes ao período de 01/01/2021 a 31/01/2021. Estes dados foram coletados por intervalo de tempo de 30 minutos por registro e armazenados em planilha Excel para serem, em seguida, analisados.



The screenshot displays the SISMO®Web control panel interface. At the top, it shows the title 'MEU PORTO' and two tabs: 'DENSIDADE - P4 (D08)' and 'DENSIDADE - P1 (D02)'. Below the tabs, there are two main sections for data selection. The left section, titled 'Selecione o período para exportação', includes a date range selector with 'Exportar dados de:' followed by a date input field showing '01/01/2021' and 'até:' followed by '31/12/2021'. The right section, titled 'Selecione o intervalo amostral', includes a dropdown menu for 'Dados a cada*' set to '30 min'. Below these sections, there is a large yellow banner with the text 'Selecione os parâmetros/estações'. Underneath this banner, there are two columns of checkboxes for selecting parameters and stations. The left column is for 'Pier1' and the right column is for 'Pier4'. Each column has a 'Selecionar todos' checkbox and a list of parameters: Densidade (1m) [m], Densidade (8m) [m], Temperatura (1m) [C°], Temperatura (8m) [C°], Salinidade (1m) [PSU], Salinidade (8m) [PSU], Condutividade (1m), and Condutividade (8m).

Figura 20: Seleção dos dados no painel de controle do SISMO®Web para realização do estudo de variação da densidade em TMPM.

Fonte: Hidromares (2021)

Os dados foram tratados e processados com uso dos programas Power B.I (Microsoft) e Matlab (MathWorks Inc) para realização de análises estatísticas e de comportamento temporal e espacial dos parâmetros oceanográficos escolhidos.

Os locais escolhidos para realização do estudo foram: Píer I e Píer IV (berços sul & norte), visto que estes dois locais possuem sensores CTD (*Conductivity Temperature Depth*) do sistema SISMO® instalados, permitindo assim a melhor comparação com os registros obtidos pelo método convencional (Figura 21)

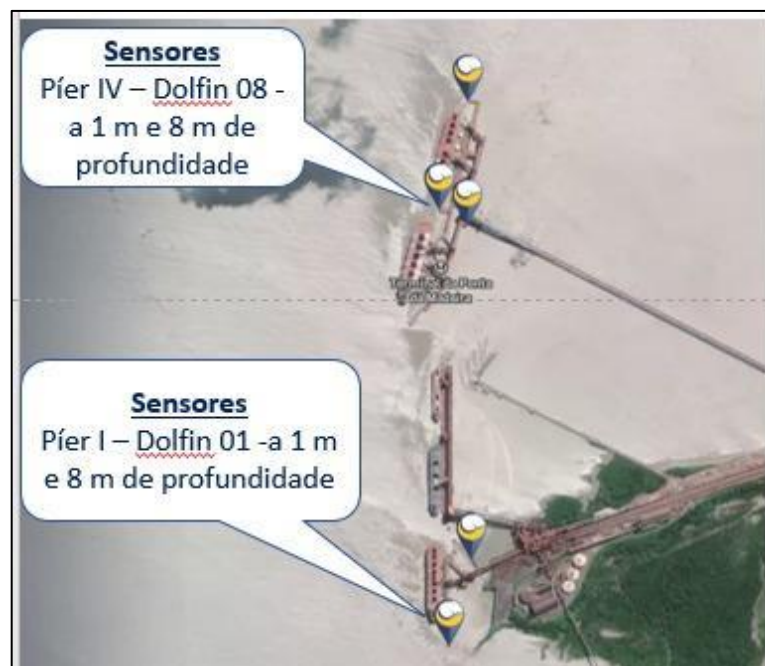


Figura 21: Localização dos sensores CTD – Sistema SISMO

6. Resultados e discussões

6.1. Análise de variação dos componentes x por estação climática

6.1.1. Variação da Densidade no tempo

Para o período de chuvoso (janeiro a junho), de acordo com informações do Sistema de Informações Meteo-Oceanográficas, SISMO®, foram observados os seguintes resultados:

No banco de dados do sensor do Píer I, posicionado no Dolfin nº 01 instalado a -1m do nível de redução (NF), a densidade da água alcançou o valor médio de 17,35 kg/m³, com mínimos de 10,51 kg/m³ e máximo de 21,85 kg/m³. Comportamento bastante similar ao observado para os valores densidade pelo segundo sensor (-8m).

Para o período seco, segundo semestre, os valores registrados a -1 m do NF, assim como a -8m, apresentaram densidade média de 19,23 kg/m³, mínimo de 12,87 kg/m³ e máximo de 22,62 kg³. Estes resultados demonstram os impactos da redução da vazão dos rios adjacentes neste período.

Nota-se também que no Píer IV, por estar mais afastado da foz, a densidade média registrada é significativamente superior aos valores encontrados no Píer I para os dois períodos do ano, visto que este berço está situado mais próximo a zona de mistura do estuário.



As figuras 22 e 23 apresentam o comportamento dos valores médios de densidade observados pelos dois aparelhos, digital e analógico, para os períodos chuvoso e seco em 2021:

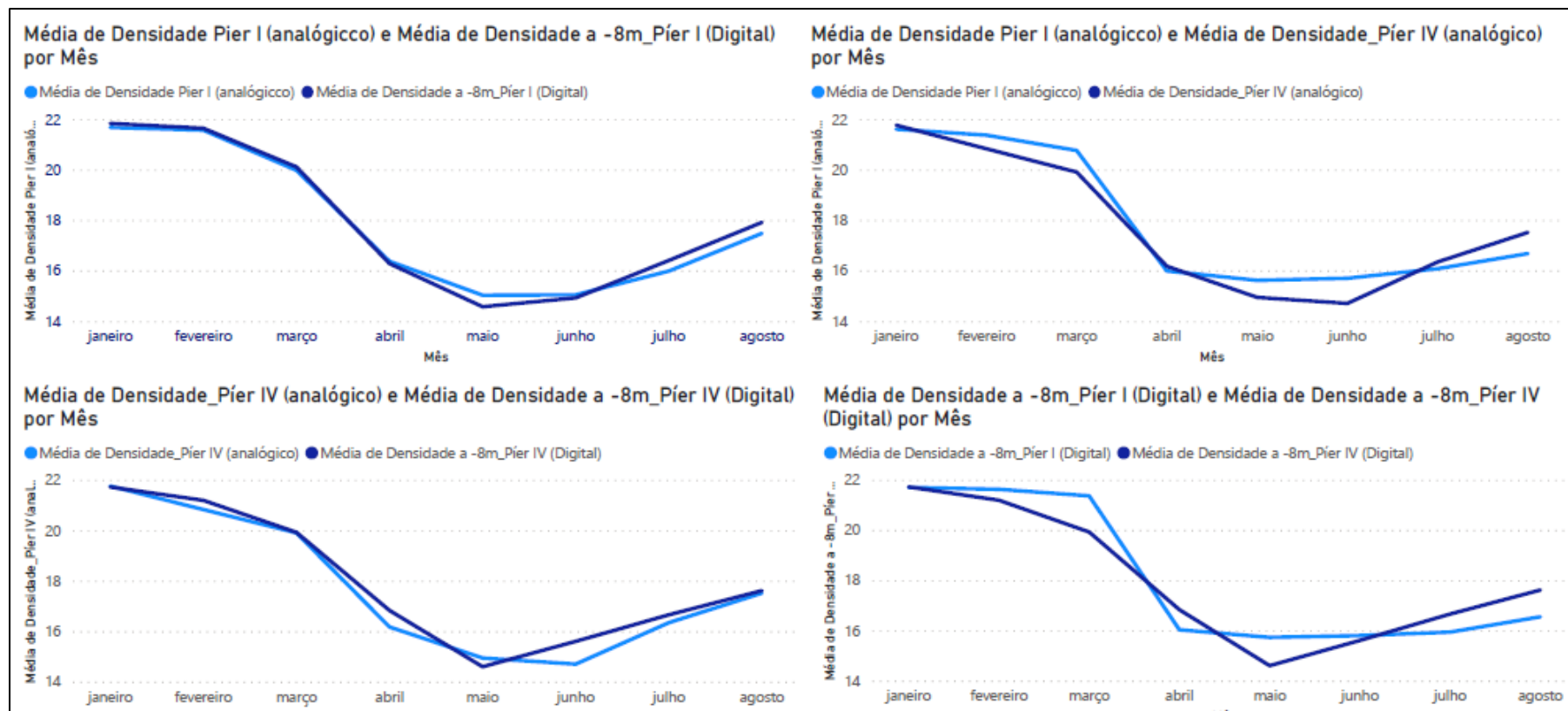


Figura 22. Valores de densidade registra por coleta e análise com densímetro de bulbo (analógico)

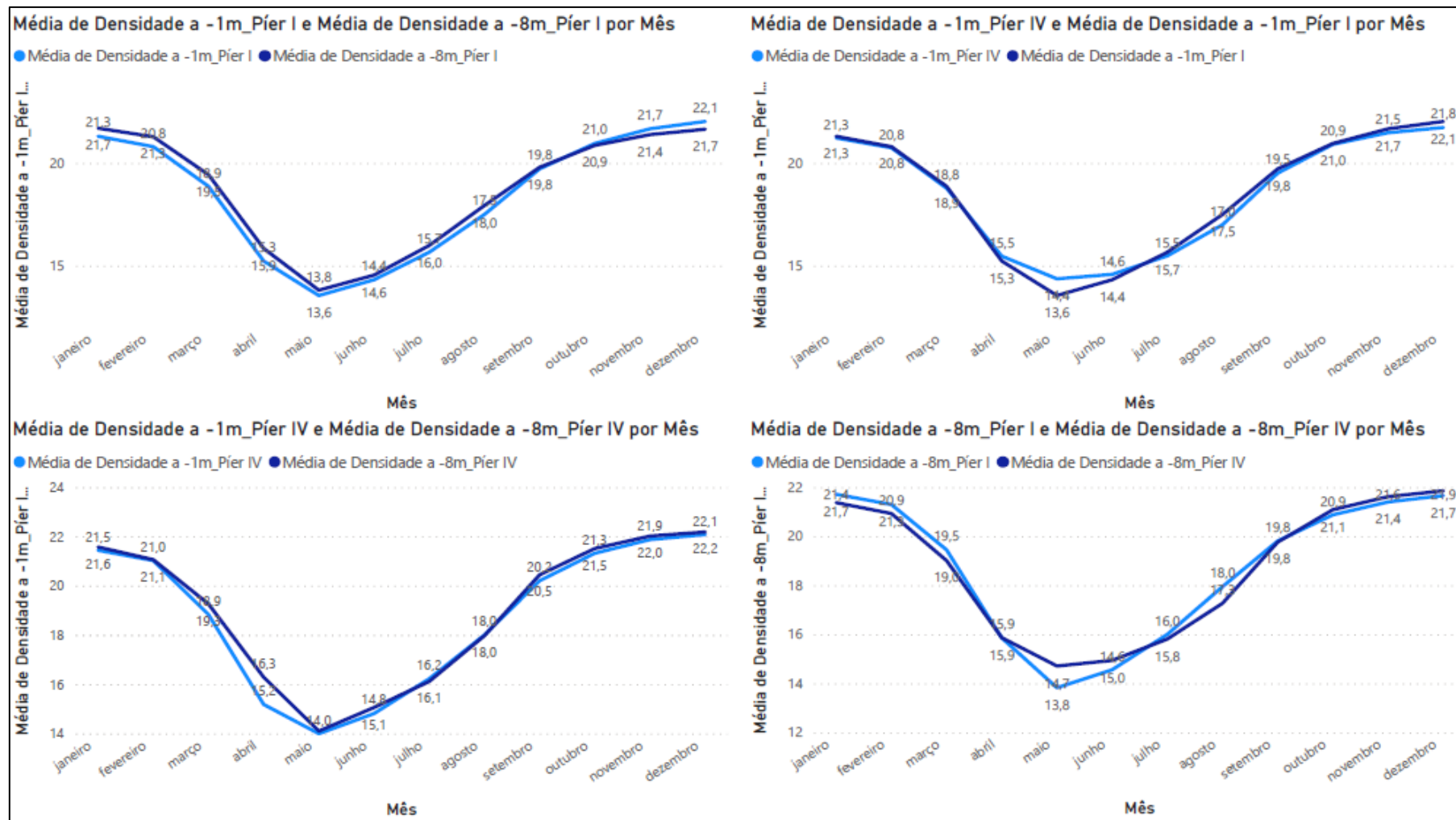


Figura 23. Valores de densidade registrados pelo sistema SISMO® (Digital)

Tabela 3 – Resultados das observações dos valores de densidade para o período de janeiro a outubro de 2021, com valores em Sigma para berços de atracação Píer I e Píer IV.

Variação da densidade por estação climática				
Estação climática	Local	Média do Densímetro Analógico - σ (kg/m ³)	Média do Densímetro Digital (a-1)/ σ (kg/m ³)	Média do Densímetro Digital (a-8)/ σ (kg/m ³)
Período chuvoso	Pier I	18,73	17,35	17,774
Jan a jun de 2021	Pier IV	17,48	17,687	18,317
Período Seco	Pier I	16,94	19,64	16,669
Jul a out de 2021	Pier IV	17,41	19,592	19,741

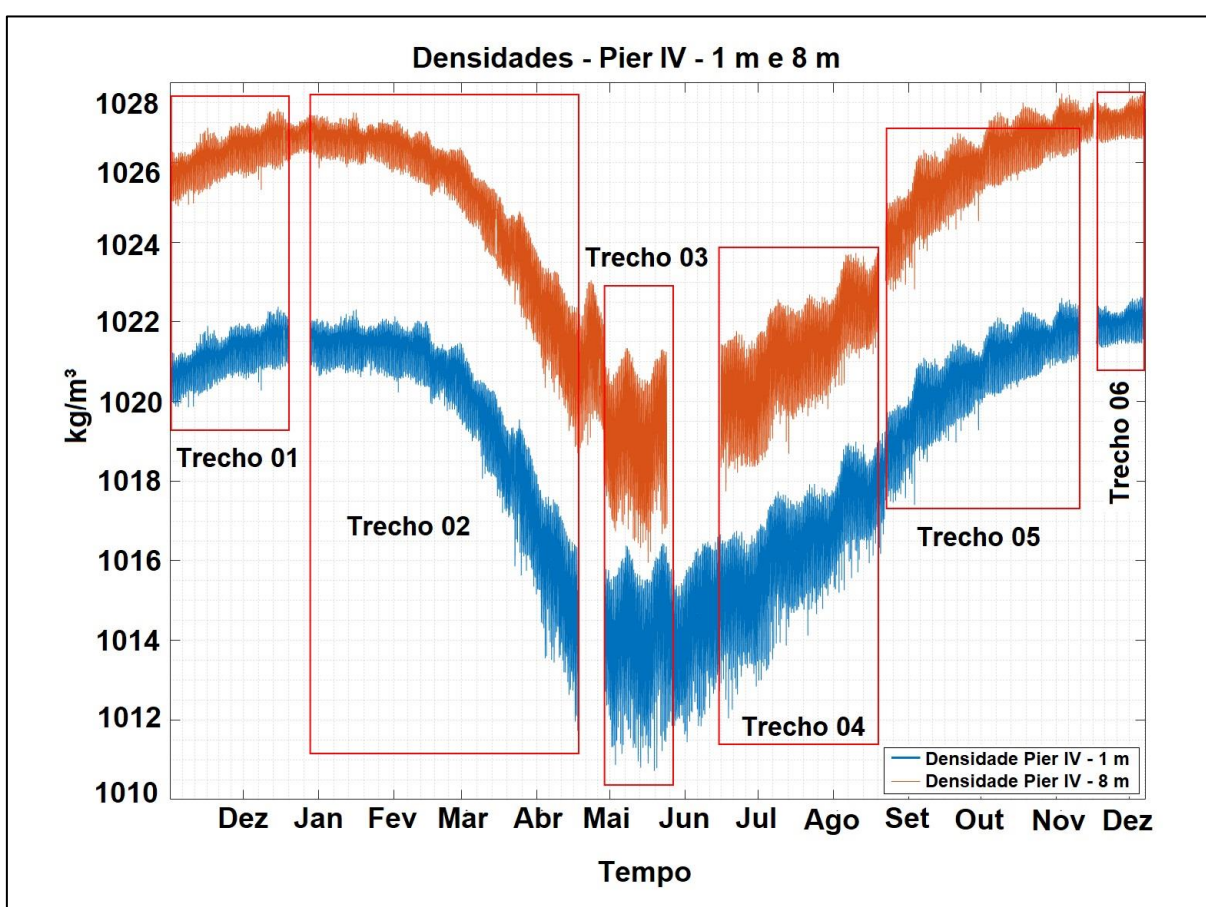


Figura 24. Variação temporal da densidade média no Píer VI (-1m x -8m), gráfico separado em trechos de 01 a 05 livres de falhas de leitura do sensor. Ao lado pode-se analisar a estratificação de cada trecho.

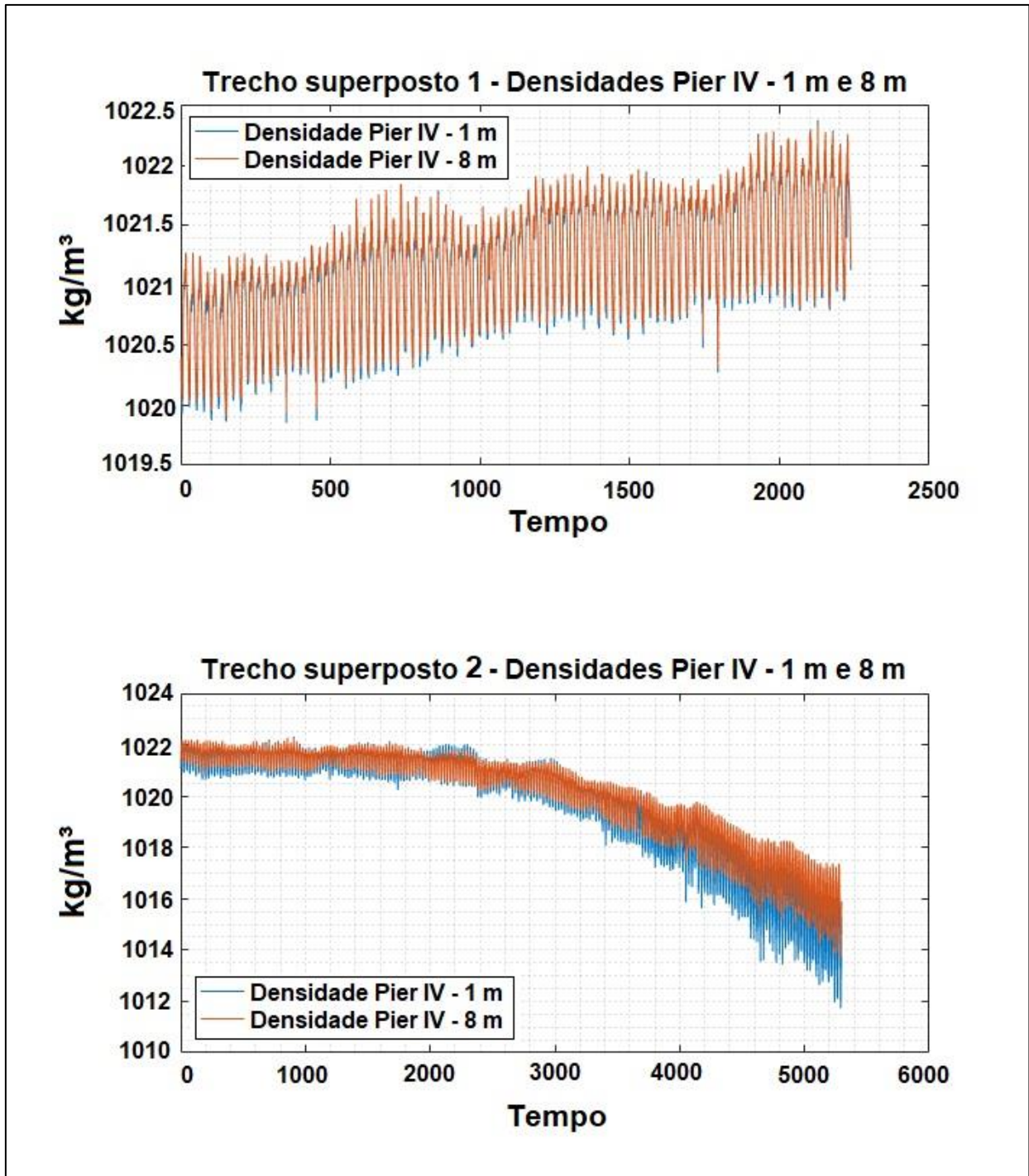


Figura 25. Variação temporal da densidade média no Píer IV (-1m x -8m). Comparativos dos trechos de 01 e 02.

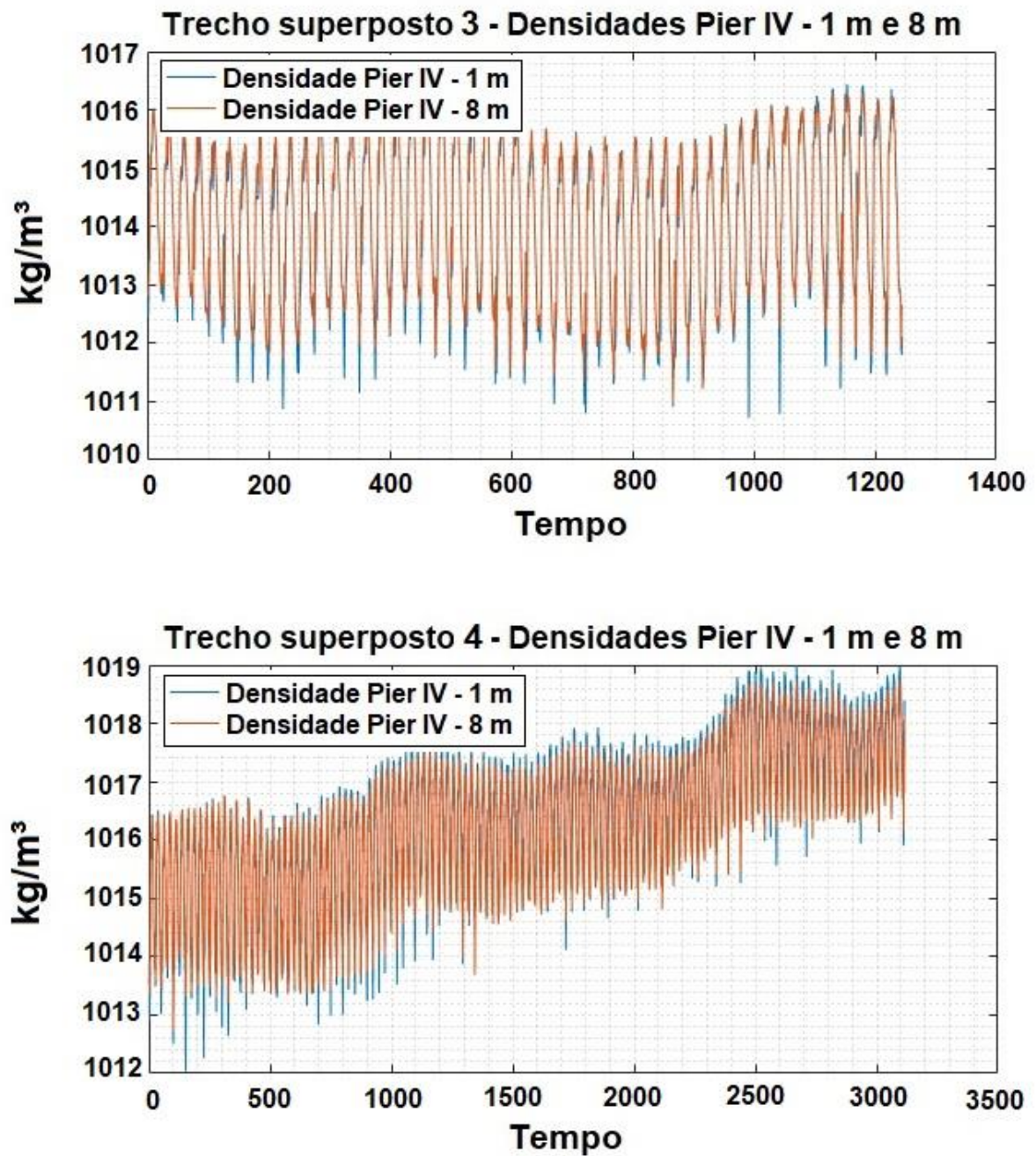


Figura 26. Variação temporal da densidade média no Píer IV (-1m x -8m). Comparativos dos trechos de 03 e 04.

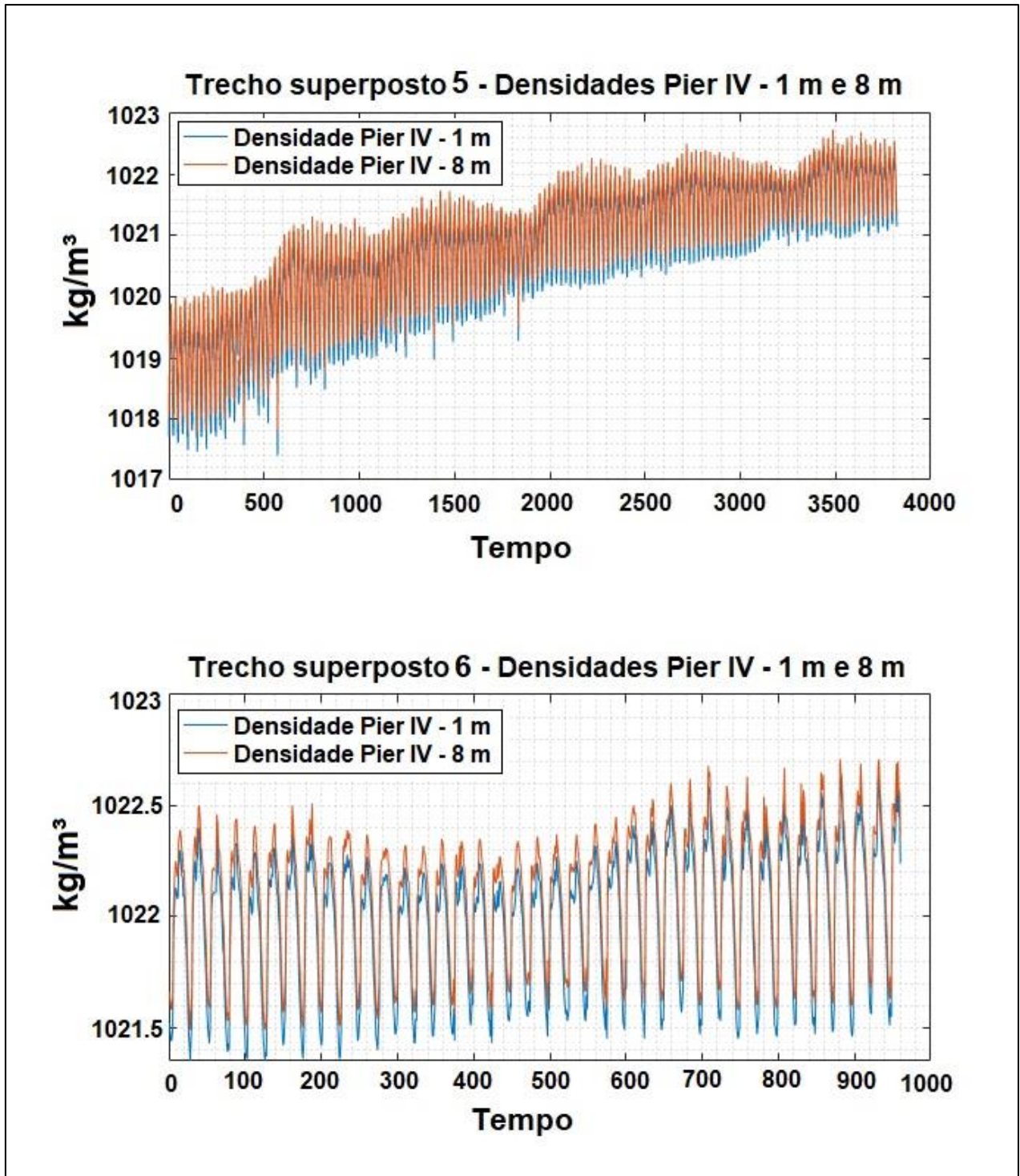


Figura 27. Variação temporal da densidade média no Píer IV (-1m x -8m). Comparativos dos trechos de 05 e 06.

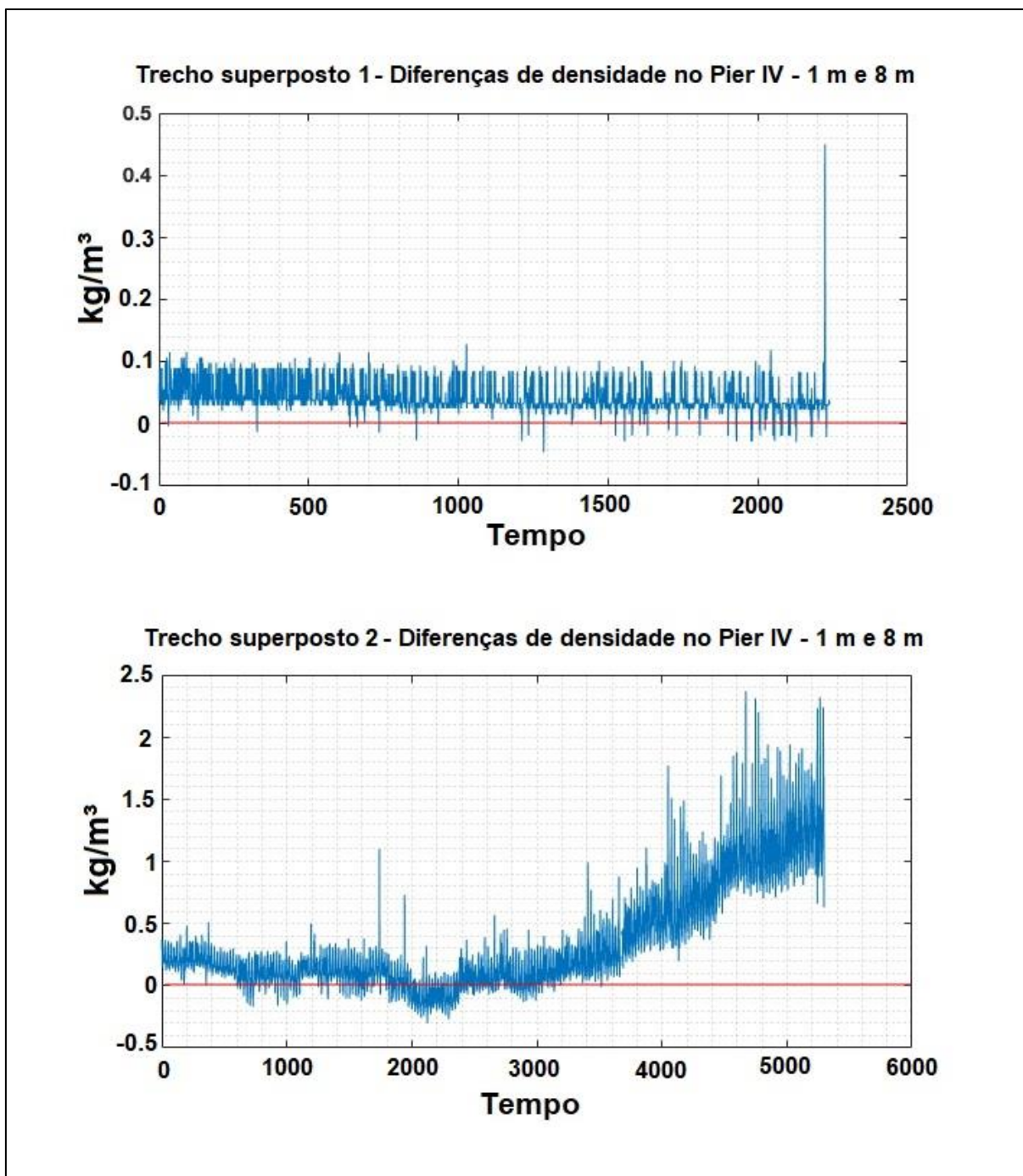


Figura 28. Correlação dos valores de densidade para densímetro digital (SISMO®) entre sensores a - 1m e -8m. (A) Pier I com distribuição gaussiana com $R = 0,9965$ e (B) Pier IV com $R = 0,9845$ - Trecho 1 e 2.

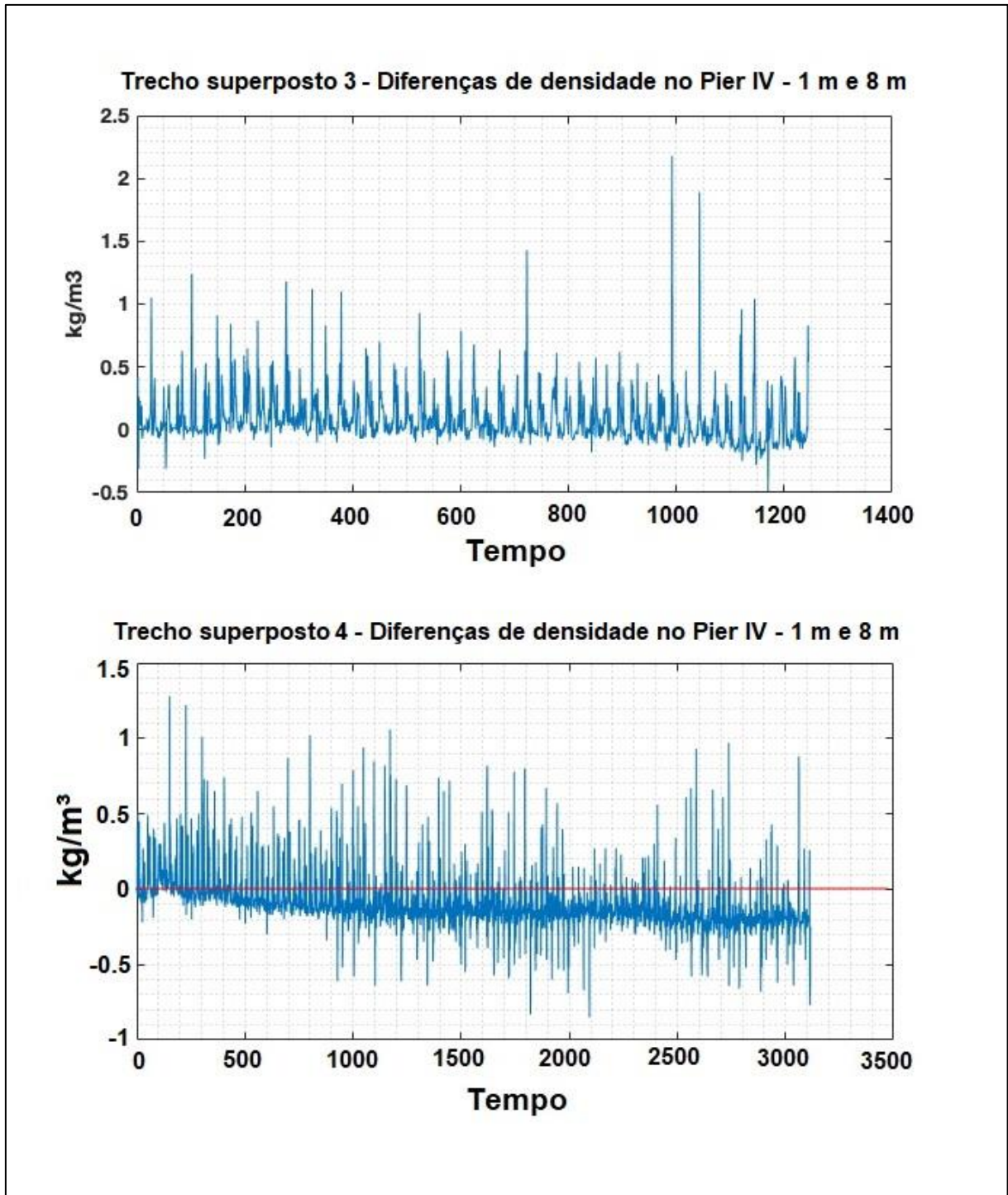


Figura 29. Correlação dos valores de densidade para densímetro digital (SISMO®) entre sensores a - 1m e -8m. (A) Pier I com distribuição gaussiana com $R = 0,9965$ e (B) Pier IV com $R = 0,9845$ - Trecho 3 e 4.

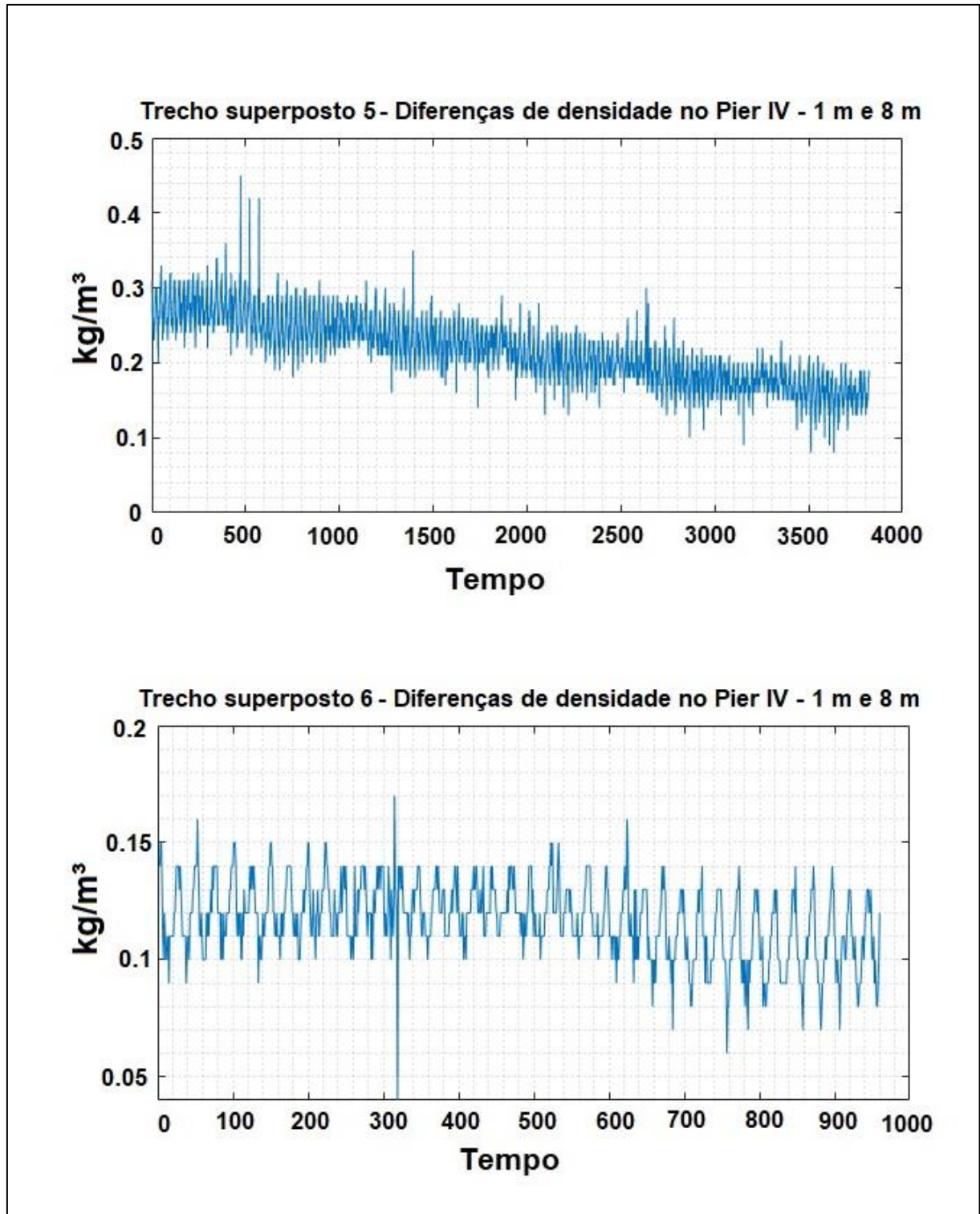


Figura 30. Correlação dos valores de densidade para densímetro digital (SISMO®) entre sensores a - 1m e -8m. (A) Pier I com distribuição gaussiana com $R = 0,9965$ e (B) Pier IV com $R = 0,9845$ - Trecho 5 e 6.

Através da análise da variação dos valores de temperatura para estes mesmo trechos (Figura 31), observam-se os momentos em que a leitura dos sensores apresenta valores de densidade de superfície (-1m) superiores aos de água mais profunda (-8m). Nota-se, por exemplo, que no intervalo do trecho 04, o balanço é negativo. Tal fato pode se dar por uma soma de fatores como a presença de material particulado na água proveniente da operação de carga ou descarga do navio, aumento expressivos da temperatura da água devido ao calor emitido pelo casco do navio quando sua máquina principal estiver em funcionamento, presença de poluentes, entre outros. Desta forma, uma observação em apenas um dos níveis pode não retratar da melhor forma o real valor da densidade para fins de cálculos de arqueação.

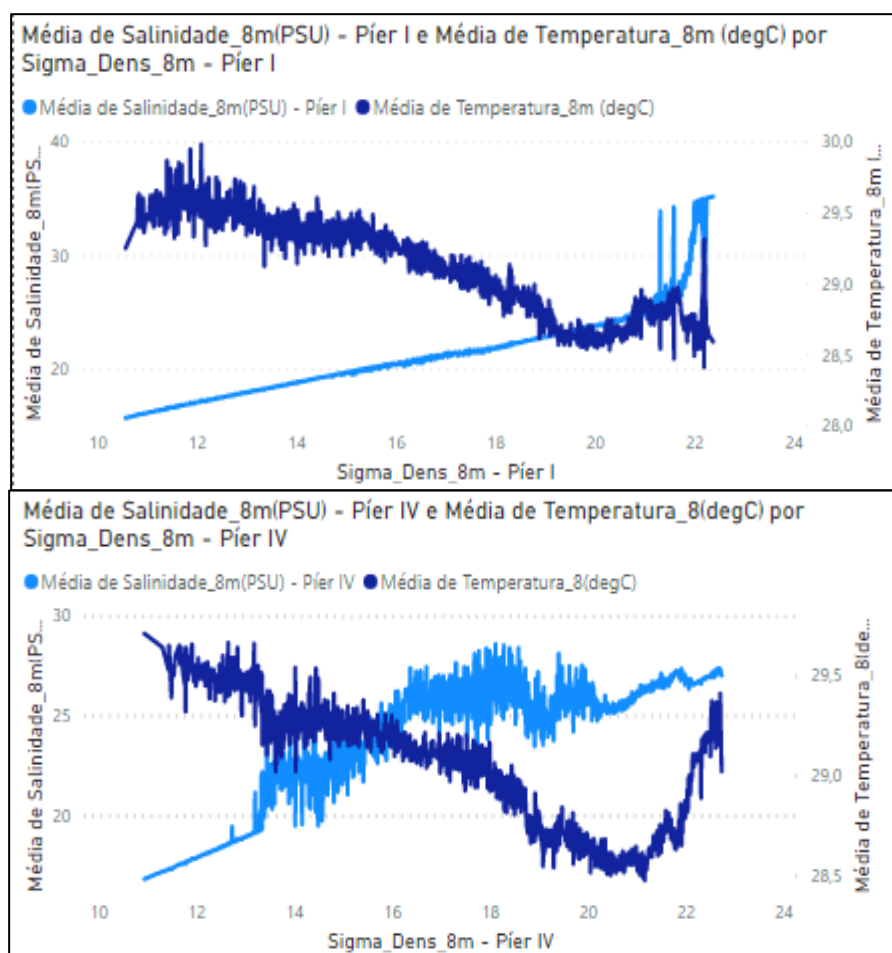


Figura 31. Variação dos valores médios de salinidade e temperatura por faixa de densidade da água a 8 metros de profundidade para os Píer I (esquerda) e IV (direita).

Analisando a variação da temperatura da água no porto ao longo de 2021, foram constatados ainda os seguintes resultados.

Observa-se certa homogeneidade e baixa variação dos valores de temperatura da água independentemente do horário do dia, estação do ano ou posição do sensor (se a -1m ou a -8 do NF). Também não houve variações significativas no berço de atracação.

No entanto, pôde-se observar uma significativa diferença de aproximadamente 2°C ao compararmos os valores médios entre os berços, com águas mais quentes na região Píer I, decorrente da maior influência da descarga fluvial, e águas mais frias na região Píer IV, mais ao norte sob maior influência da maré.

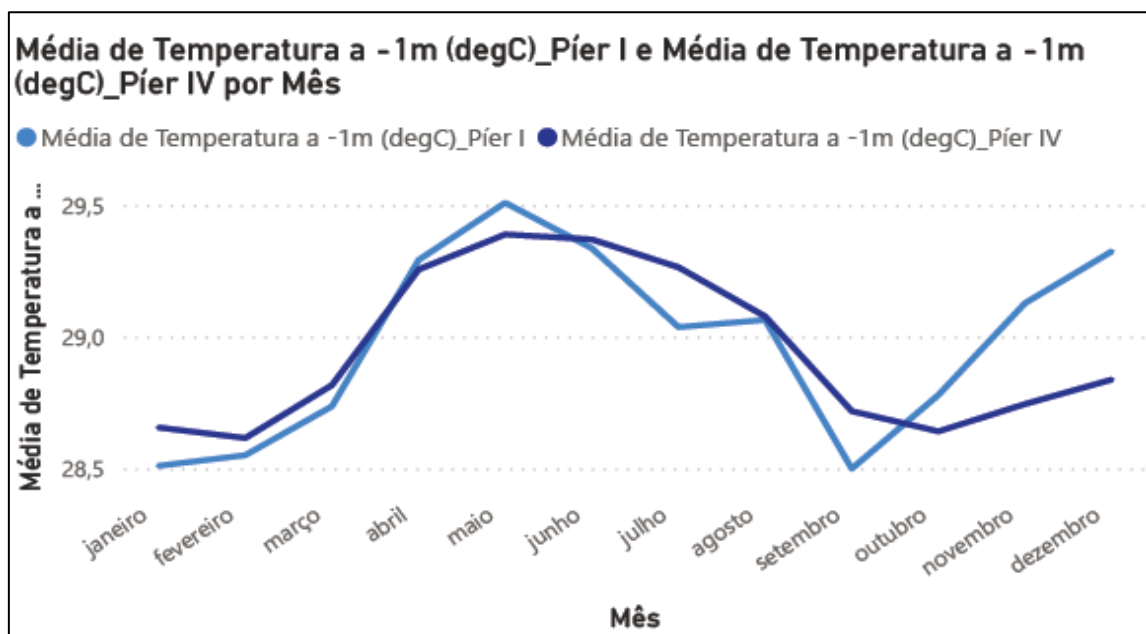


Figura 32. Variação temporal dos valores médios de temperatura de água, a -1m do NR, para os berços Píer I e Píer IV em 2021.

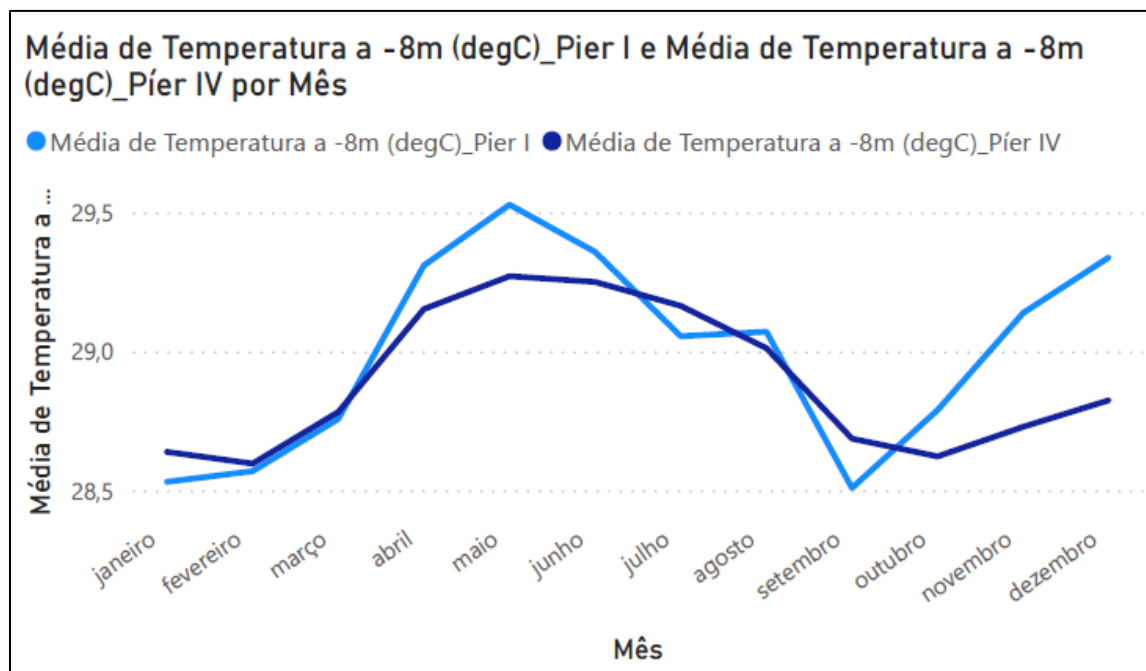


Figura 33. Variação temporal dos valores médios de temperatura de água, a -8m do NR, para os berços Píer I e Píer IV em 2021

Tabela 4 – Resultados das observações de temperatura da água para o período de janeiro a dezembro de 2021, para berços de atracação Píer I & Píer IV (berço Sul e Norte).

Valores de temperatura - médias Ano 2021 (°C)					
	Intervalo	Píer I (- 1m)	Píer I (- 8m)	Píer IV (-1m)	Píer IV (-8m)
1 Semestre - Chuvoso	Diurno	28,98 °C	29,00 °C	27,52 °C	25,39 °C
	Noturno	28,99 °C	29,02 °C	27,47 °C	25,35 °C
2 Semestre - Seco	Diurno	28,88 °C	28,91 °C	27,54 °C	28,21 °C
	Noturno	28,92 °C	28,88 °C	27,66 °C	28,35 °C
	Média Geral	28,94 °C	28,95 °C	27,55 °C	26,83 °C

Fonte: Sistema SISMO®

No que refere à análise do comportamento da salinidade da água, a tabela 5 apresenta o resumo dos resultados observados nos dois períodos climáticos do ano (período chuvoso e período seco).

Tabela 5. Análise do comportamento da variação de densidade por estação climática, berço de atracação e profundidade em 2021 em TMPM.

Variação Salinidade x Por Estação Climática				
Estação Climática	Local	Média Salinidade a -1 m (PSU)	Média Salinidade a -8 m (PSU)	Média do Período (PSU)
	Píer I	22,69	23,087	22,89

Período Chuvoso janeiro a junho 2021	Pier IV	29,140	24,433	26,787
Período Seco (julho - outubro) 2021	Pier I	25,716	23,098	24,41
	Pier IV	30,213	26,513	28,363

- Pier I - Período chuvoso - Salinidade de superfície com média inferior à de águas mais profundas (-8m), com média da coluna d'água em 22,89 PSU. Para o período seco, a salinidade da superfície (-1m) apresentou valores superiores de salinidade a -8m, média da coluna d'água 24,40 PSU.
- Pier IV - Período Chuvoso - Salinidade de superfície, com média superior à de águas mais profundas (-8m), com média da coluna d'água em 26,898 PSU. Para período seco, a salinidade de superfície (-1m) manteve-se superior à de maior profundidade, com média da coluna d'água em 28,30 PSU.

A tabela 6 apresenta o resumo das observações dos valores de salinidade por local e estação climática.

Tabela 6. Estratificação do resultado de salinidade.

Pier I - Salinidade - PSU			Pier IV - Salinidade - PSU		
1º sem (-1m)	Min	15,75	1º sem (-1m)	Min	19,98
	Max	27,8		Max	35,06
	Médio	22,69		Médio	29,14
2º sem (-1m)	Min	18,01	2º sem (-1m)	Min	22,9
	Max	29,54		Max	34,91
	Médio	25,72		Médio	30,21
1º sem (-8m)	Min	15,65	1º sem (-8m)	Min	13,64
	Max	35,16		Max	28,49
	Médio	23,09		Médio	24,43
2º sem (-8m)	Min	15,08	2º sem (-8m)	Min	19,04
	Max	25,68		Max	30,97
	Médio	23,098		Médio	26,51

6.2. Estimativa de impacto econômico na receita do porto

Através da análise e interpretação dos resultados observado, nota-se que os valores de densidade obtidos com uso de densímetro analógico do tipo bulbo de vidro

flutuante, quando comparados com os obtidos via sistema de medida digital SISMO[®], a correlação destes resultados é ordem do 80%, com maior variabilidade para os dados referentes ao primeiro aparelho.

Uma vez que o sistema SISMO[®] realiza a leitura dos fatores salinidade, temperatura e condutividade da água, ele determina a sua densidade e observando que os valores analisados para o ano de 2021 possuem comportamento condizentes com as características naturais do local de estudo, como variação climática, intervalos de maré de enchente e vazantes, estima-se que tal sistema possua grau de acurácia relativamente superior ao modelo de convencional de medição de densidade, o qual é aplicado para fins de cálculo de arqueação de navios e por conseguinte determinação oficial do montante de carga embarcada pelo Terminal Marítimo de Ponta da Madeira.

Com base nestas premissas e nos resultados observados, foi possível realizar uma estimativa de possível impacto financeiro do porto de TPM em virtude da variabilidade de precisão das medições por densímetro analógico quando comparado com os valores via densímetro digital – SISMO[®]:

- **Pier I**

Período de coleta dos dados: 12/11/2020 a 17/08/2021;

Número de amostras: 101;

Diferença média entre Densímetro Analógico e Digital (-1m) = 0,365 kg/m³ (I);

Diferença média entre Densímetro Analógico e Digital (-8m) = -0,015 kg/m³ (II);

Diferença média entre sensores do Sistema Digital = - 0,379 kg/m³ (III);

Média entre (I) & (II) = 0,175;

Valor médio para Densímetro digital a -1m = 17,57 kg/m³;

Valor médio para Densímetro digital a -8m = 17,95 kg/m³;

Média Geral para Densímetro digital = 17,7581 kg/m³ (IV);

Média Geral para Densímetro analógico = 17,9327 kg/m³ (V);

Coeficiente de densidade: 0,99027.

- **Pier IV:**

Período de coleta dos dados: 31/10/2020 a 19/08/2021;

Número de amostras: 228;

Diferença média entre Densímetro Analógico e Digital (-1m) = -0,136 kg/m³ (I);

Diferença média entre Densímetro Analógico e Digital (-8m) = -0,252 kg/m³ (II);

Diferença média entre sensores do Sistema Digital = -0,131 kg/m³ (III);

Média entre (I) & (II) = -0,194;

Valor médio para Densímetro digital a -1m = 18,42 kg/m³;

Valor médio para Densímetro digital a -8m = 19,04 kg/m³ ;

Média Geral para Densímetro digital = 18,7303 kg/m³ (IV);

Média Geral para Densímetro analógico = 18,4175 kg/m³ (V);

Coeficiente de densidade: 1,01698.

Utilizando os resultados acima, juntamente com resultados de produção do Porto de TPM para 2021, disponíveis no relatório nacional de desempenho portuário da ANTAQ, assim aplicando o valor médio U\$ 130,00 por tonelada do minério (valor de venda da commodities em 2021 segundo site Valor Econômico) torna-se possível efetuar a seguintes análise de estimativa de impacto financeiro para as operações do porto, em virtude da diferença de precisão do cálculo de arqueação devido a acurácia do densímetro analógico em comparação com o método de medição digital (tabela 7).

Tabela 7: Estimativa de impacto financeiro por imprecisão da leitura da densidade da água em arqueações de navios em 2021. Fonte: ANTAQ/Valor Econômico

Produção por Berço - Método 02 - Relação entre Densidades - Ano 2021					
Berço	Volume movimentado (t) - Arqueação	Coef. Densidade	Corr. Carga - (t)	Variação de Carga (t)	Impacto Financeiro Estimado (U\$)
Pier I	52.046.000,00	0,990	51.539.381,10	506.618,90	65.860.457,25
Pier 3 Sul	14.491.000,00	1,004*	14.548.964,00	-57.964,00	-7.535.320,00
Pier Norte	32.958.000,00	1,004*	33.089.832,00	-131.832,00	-17.138.160,00
Pier IV Sul	45.902.000,00	1,017	46.681.384,90	-779.384,90	-101.320.036,87
Pier IV Norte	37.488.000,00	1,017	38.124.520,87	-636.520,87	-82.747.713,44
Total	182.885.000,00	N/A	183.984.082,87	1.099.082,87	142.880.773,05

Desta forma entende-se que, adotando a medição de densidade através dos dados de salinidade, temperatura e condutividade obtidos pelos sensores do Sistema SISMO® como referência para cálculos de arqueação dos navios que atracam no TPM no ano de 2021 isto poderia gerar um aumento de receita da ordem de U\$ 142.880.773,00



Vale ressaltar que o valor mencionado de aumento de receita se refere ao período no qual o estudo foi elaborado. Este valor pode alterar, para mais ou para menos, dependendo do valor de mercado da carga na época estudada.

7. Conclusão e recomendações

Notou-se que, fatores como variação da capacidade de carga dos navios, mensuração da quantidade de produto embarcado/desembarcado através a aplicação do método conhecido como Arqueação de Navios, segurança da navegação entre outros, podem ser significativamente influenciados pela variação da densidade da água do estuário.

Além disso, a adoção de medição de densidade através dos dados de salinidade, temperatura e condutividade como referência para cálculos de arqueação dos navios, resultaria numa maior precisão da declaração de carga embarcada por navio e, para o ano estudado, a diferença de valores poderia resultar em um aumento de produtividade do porto da ordem de aproximadamente 1.100.000,00 toneladas de minério de ferro.

Recomenda-se a elaboração de outros estudos que levem em consideração as variações ambientais que podem alterar a capacidade de transporte de cargas ou a navegabilidade das embarcações em regiões portuárias. Como vimos, estudos como esse podem indicar como tornar as atividades portuárias mais eficientes e produtivas.

8. REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. Engenharia Portuária. 2. Ed. São Paulo Sp, Brasil, Ed Blucher, 2018.

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. **Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. [S.l: s.n.], 2009.

AMARAL, R.F.; ALFREDINI, P. 2010. **Modelação hidrossedimentológica no Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, p. 5-14.

ANTAQ, Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Resultado Estatístico Aquaviário 202**. Disponível em: <<http://www.gov.br/antag/pt-br/>>. Acesso em: 13 de março de 2021.

BRASIL. **Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN**. Cartas de Navegação Náutica. Niterói: DHN, 2013.

DE CAROLI, Alexandre. **Implementação do Sistema de Informações Meteo-Oceanográficas em Tempo Real (SISMO®) para Futura Definição de Novas Janelas Operacionais no Terminal Ponta da Madeira**, 2018.

DIBBLE, W, J; MITCHELL. **Draught SurveyS a guide to good Practice, North of England P&I Association**. Second edition, 2009, 49 p.

DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. 2009. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. 1. ed. Heidelberg: Springer, 2009. v. 107. 380p.

FIGUEIREDO, Alexandre Ramos de. **Análise da influência da corrente marítima na remoção dos sedimentos no Terminal Marítimo Ponta da Madeira em São Luís – MA**. 2018. 57 f.

FILHO, A. J. B., **Determinação de carregamentos permitidos de embarcação de navegação interior transportadoras de carga sólida através de programa desenvolvido em LabVIEW**, 2010.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: Gravitação, ondas e Termodinâmica**. Volume 2. 10. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2014.

ICN - Instituto de Ciências Náuticas. **Apostila Arqueação** - Vale do Rio Doce, 2008.

JENNERJAHN T, KNOPPERS A, DE SOUSA W, CARVALHO C, MOLLANHAUE G, HUBNER M AND ITTEKKOT V. **The tropical Brazilian continental margin**. In: Liu K et al. (Eds), Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins, A global synthesis, Berlin: Springer Verlag Heidelberg, p. 427-436. 2010.

MAGALHÃES, Augusto César Rodrigues. **Marés e correntes na otimização de manobras de navios na baía de são marcos, São Luís – MA**. 2018. 58 p.



Marine insight. **The Maritime Industry Guide**. Disponível em: < <https://www.marineinsight.com/>>. Acesso em junho de 2021.

National Ocean Service. **What is a Plimsoll Line?** Disponível em:< <https://oceanservice.noaa.gov/>>.

Acesso em agosto de 2021

MIRANDA, L. B. DE. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. 2. ed. São Paulo SP, BRASIL: EdUSP, 2002. v. 42.

PEREIRA J. E. R.; HARARI J. **Modelo numérico tri-dimensional linear da plataforma continental do Estado do Maranhão**. Bol. Inst. Oceanogr. 43 (1). 1995

REINKING, A. J.; HÄRTING; BASTOS, L. **Determination of sea surface height from moving ships with dynamic corrections**, 2012.

ROMBAUT, Dirk. **Draft Duryey - SGS begium**, December, 2003.

United Nations Economic Commission for Europe – UNECE, **Code of Uniform Standard and Procedures for performance of Draught Survey of Coal Cargos**, 1992.

Santos, E.D.V. **Caracterização do padrão de ondas superficiais de gravidade geradas pelo vento no Complexo Estuarino de São Marcos (MA)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia. Universidade Federal do Maranhão. São Luís – MA, 2018.

SISMO® – HIDROMARES. **Instalação do Sistema de Monitoramento Oceanográfico em Tempo Real. Relatório Técnico Mensal**. 2018.

VALE S/A. Disponível em: www.vale.com.br. Disponível em: Acesso em: 10 de julho de 2021.

Virtuous Tecnologia da Informação. **"Empuxo" em Só Física.**, 2008-2021. Consultado em 15/08/2021 às 22:08.

Zeal. **Draft survel**, 2021. Disponível em <<https://www.zeal.co.uk/draft-survey>>. Acesso em dezembro de 2021.