

**MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE NÁUTICA (APNT)**

ALEX FERNANDO SILVA SOUZA

ESTABILIDADE APLICADA À EMBARCAÇÃO “ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY”

RIO DE JANEIRO

2015

ALEX FERNANDO SILVA SOUZA

ESTABILIDADE APLICADA À EMBARCAÇÃO “ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY”

Monografia apresentada como parte dos requisitos para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Náutica – APNT, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Prof. Henrique Vaicberg

RIO DE JANEIRO

2015

ALEX FERNANDO SILVA SOUZA

ESTABILIDADE APLICADA À EMBARCAÇÃO “ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY”

Monografia de apresentação obrigatória
para conclusão do Curso de Aperfeiçoamento
para Oficiais de Náutica da Marinha Mercante,
ministrado pelo Centro de Instrução Almirante
Graça Aranha.

PROFESSOR-ORIENTADOR (trabalho escrito): _____

NOTA: _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Professor-Orientador: Henrique Vaicberg
Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

Professor(a)
Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

Professor(a)
Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

A Deus, pela graça de ter me permitido concluir este trabalho.
Ao amor demonstrado por minha querida esposa Thais, que sempre
esteve ao meu lado. Obrigado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre olhou por mim e me deu forças nas horas mais difíceis.

A minha esposa Thais, que esteve comigo desde o início dessa jornada e sempre me deu forças para continuar, me apoiando, escutando e incentivando.

Um agradecimento especial faz-se mister: ao Professor Adilson da Silva Coelho e ao CLC Sidnei Esteves Pereira por ter concedido o uso de suas brilhantes publicações Módulo De Estabilidade – EST – Unidade de Estudo Autônomo e Estabilidade para Embarcações Mercantes, respectivamente, sem as quais esta obra estaria incompleta.

Ao meu orientador, Professor Henrique Vaicberg, pela dedicação, interesse e conhecimento oferecido para tornar possível a realização desta monografia.

Aos meus professores, orientadores e chefes, que me ensinaram e contribuíram para meu conhecimento pessoal e profissional.

Ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha pela oportunidade de realizar o curso de aperfeiçoamento para oficiais de náutica.

À minha família e a todos que, de alguma forma, acreditaram em mim e me apoiaram.

“Não há sucesso sem grandes privações.”
(SÓFOCLES)

RESUMO

A presente monografia debaterá sobre o tema estabilidade em embarcações, contendo noções básicas dos conceitos e dará ênfase a sua utilização em embarcações offshore, com maior foco em uma embarcação do tipo AHTS. Este possui também o objetivo de criar um material didático, com conteúdo simplificado e direto para oferecer um conhecimento básico sobre o cálculo de estabilidade utilizando o caderno de estabilidade de bordo.

Palavras-chave: Estabilidade. Offshore. Momento. Deslocamento.

ABSTRACT

This monograph will discuss on the topic stability in vessels containing basics of the concepts and emphasize its use in offshore vessels, with greater focus on a vessel type AHTS. This also has the goal of creating a didactic material, with simplified and direct content to provide a basic understanding of the stability calculation using the ship's stability booklet.

Keywords : Stability. Offshore. Moment. Displacement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – AHTS <i>Fire Fight</i>	17
Figura 2 – Pontos Notáveis da Estabilidade na Seção Transversal	25
Figura 3 – Metacentro.....	26
Figura 4 – Centro de gravidade	29
Figura 5 – Altura metacêntrica transversal.....	31
Figura 6 – GM positivo – equilíbrio estável.....	33
Figura 7 – Equilíbrio Indiferente	34
Figura 8 – Equilíbrio Instável.....	35
Figura 9 – Planos da estabilidade estática longitudinal.....	37
Figura 10 – Compasso devido à movimentação longitudinal de pesos.....	41
Figura 11 – Tabela de Cálculos de estabilidade	49
Figura 12 – <i>Print screen, autoload</i> condição L1	61
Figura 13 – Relatório autoload condição dos tanques para L1.....	61
Figura 14 – Gráfico de estabilidade intacta para condições L1	61
Figura 15– <i>Print screen, autoload</i> condição L2	64
Figura 16 – Relatório autoload condição dos tanques para L2.....	64
Figura 17 – Gráfico de estabilidade intacta para condições L2.....	67
Figura 18 – Navio Haidair	67
Figura 19 – Navio Haidair	68
Figura 20 – Navio Haidair	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Representação dos critérios mínimos de segurança para navios offshore, conforme resolução IMO MSC.206(85)	57
Gráfico 2 – Carregamento Bram Titan com 10% de consumíveis	57

LISTA DE QUADRO E TABELAS

Quadro 1 – Critérios mínimos de segurança para navios offshore, conforme resolução IMO MSC.206(85)	55
Tabela 1 – Lista de pesos para cálculo estabilidade Haroldo Ramos condição L1	61
Tabela 2 – Lista de pesos para cálculo estabilidade Haroldo Ramos condição L2	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AHTS – Anchor Handling Tug Supply
- CIAGA – Centro de Instrução Almirante Graça Aranha
- DP – Dynamic Positioning, ou Posicionamento Dinâmico
- FPSO – Floating, Production, Storage and Offloading, ou Unidade Flutuante de Produção, Armazenamento e Escoamento
- FSO – Floating, Storage and Offloading, ou Unidade Flutuante de Armazenamento e Escoamento
- IMO – International Maritime Organization (Organização Marítima Internacional)
- LCB – distância longitudinal do centro de carena da embarcação
- LCF – distância longitudinal do centro de flutuação da embarcação
- LCG – distancia longitudinal do centro de gravidade da embarcação
- Lpp – comprimento entre perpendiculares
- MA – Momento de Adriçamento
- MCC – Momento para Compassar um Centímetro
- ME – Momento de Estabilidade
- MTC – Momento para Trimar um Centímetro
- OSRV – Oil Spill Response Vessel (Navio de combate a derramamento de óleo)
- TPC – Toneladas por Centímetro de Imersão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	EMBARCAÇÃO “ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY” – AHTS	16
2.1	Definição de embarcação AHTS	16
2.2	Características das embarcações AHTS	17
3	METODOLOGIA	21
4	ESTABILIDADE	22
4.1	Conceitos básicos	22
4.2	Pontos notáveis da estabilidade	24
4.3	Denominações dadas às distâncias verticais entre os pontos notáveis	24
4.4	Definição dos pontos notáveis da estabilidade	25
4.4.1	Centro de gravidade (G)	25
4.4.2	Centro de carena (B)	25
4.4.3	Metacentro (M)	25
4.5	TABELA DE DADOS HIDROSTÁTICOS UTILIZADA NOS CÁLCULOS DE ESTABILIDADE	26
4.6	DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO DO CENTRO DE GRAVIDADE	26
4.6.1	Definição	26
4.6.2	Componentes.....	27
4.7	DETALHAMENTO PARA A OBTENÇÃO DO CENTRO DE GRAVIDADE	27
4.7.1	Centro de gravidade de um navio em deslocamento leve	27
4.7.2	Centro de gravidade do óleo e aguada.....	28
4.7.3	Centro de gravidade de carga.....	28
4.7.4	CENTRO de gravidade de tudo que existir a bordo	28
4.8	CENTRO DE GRAVIDADE	28
4.9	Cálculo da altura metacêntrica transversal	30
4.10	ESTADOS DE EQUILÍBRIO DOS NAVIOS	33
4.10.1	Equilíbrio Estável	33
4.10.2	Equilíbrio Indiferente.....	34
4.10.3	Equilíbrio Instável	34
4.10.4	Análise dos estados de equilíbrio.....	35
4.11	Estabilidade estática longitudinal	36

4.12	Planos e pontos notáveis da estabilidade estática longitudinal.....	37
4.12.1	Plano diametral	37
4.12.2	Plano de flutuação.....	37
4.12.3	Plano transversal de meia nau ou plano de seção mestra	37
4.12.4	Plano de base moldada	37
4.13	Empuxo	38
4.14	Centro de gravidade (G)	38
4.15	Cota do centro de gravidade (KG)	38
4.16	Centro de Flutuação	38
4.17	Centro de carena (B)	38
4.18	Metacentro Longitudinal	39
4.19	TRIM ou Compasso	39
4.20	Varição do TRIM.....	39
4.21	Momento para variar o TRIM.....	39
4.21.1	Momento para variar o TRIM de 1 centímetro (MTC ou MCC)	39
4.21.2	Cálculo da variação do TRIM causado por um momento longitudinal M	39
4.22	Alterações do compasso devido à movimentação longitudinal de pesos.....	40
4.22.1	Quando o Centro de Flutuação Coincide com o plano transversal de meio navio...	40
4.22.2	Quando o Centro de Flutuação for à vante do plano transversal de meio navio	40
4.22.3	Quando o Centro de Flutuação for à ré do plano transversal de meio navio	40
4.23	Alterações de calado devido ao embarque de pequenos pesos no calado	42
4.24	Alterações de calado devido ao desembarque de pequenos pesos no calado....	43
4.25	Alterações de calado devido ao embarque de peso com a variação do calado em apenas uma das extremidades	44
4.26	Plano de compasso	44
4.27	Cálculo dos novos calados, após manobras de embarque e desembarque de pesos, usando o plano de compasso	45
5	CÁLCULOS UTILIZANDO O CADERNO DE ESTABILIDADE	47
5.1	Aplicação dos cálculos de estabilidade	47
5.2	Cálculo do calado de vante e de ré	48

6	CÁLCULOS UTILIZANDO O SOFTWARE DE ESTABILIDADE.....	58
6.1	Características da embarcação AHTS modelo UT722L	58
7	INCIDENTE, NO ÚLTIMO MÊS, OCORRIDO NO BRASIL ENVOLVENDO EMBARCAÇÃO.....	67
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
	ANEXO A	71
	ANEXO B.....	72
	ANEXO C	73
	ANEXO D	74
	ANEXO E	75
	ANEXO F	76
	ANEXO G.....	77
	ANEXO H.....	78

1 INTRODUÇÃO

Estabilidade em embarcações *Anchor Handling Tug Supply* é o tema da presente pesquisa. Nesse cenário é levantada a questão central: Quais os efeitos do embarque e desembarque de pesos na estabilidade das embarcações *Anchor Handling Tug Supply*?

Serão apresentadas características comuns às embarcações *Anchor Handling Tug Supply* e contrastadas com as condições ideais de navegabilidade afetadas por essas características. Pretende-se detalhar os efeitos e apresentar medidas de solução para minimizar esses efeitos. Ao final será apresentado um breve estudo de duas embarcações, proporcionando aprofundar-se no conhecimento detalhado dos efeitos causados à embarcação alvo, e ao final pretende:

- a) Contribuir com os alunos dos Centros de Formação de Oficiais de Náutica, disponibilizando a pesquisa;
- b) Oferecer aos responsáveis pelo carregamento das embarcações em âmbito profissional de interesse, os resultados da presente pesquisa;
- c) Contribuir com conhecimento específico de estabilidade estática aos profissionais engajados em embarcações AHTS.

Para nortear a presente pesquisa, no capítulo 2 serão apresentadas as embarcações AHTS e suas principais características. No capítulo 3 será apresentada a metodologia que norteará a pesquisa. No capítulo 4 serão apresentados os fundamentos de estabilidade das embarcações. Os cálculos efetuados com o caderno de estabilidade serão estudados no Capítulo 5, no Capítulo 6 será efetuado um estudo específico dos cálculos de estabilidade utilizando o software de carregamento *autoload* em embarcações AHTS de modelo UT 722L e no capítulo 7 será comentado o acidente ocorrido no porto de vila do conde, em Barcarena no estado do Pará. Ao final será apresentada a conclusão da pesquisa.

2. EMBARCAÇÃO “ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY” - AHTS

2.1 Definição de embarcação AHTS

As embarcações *Anchor Handling Tug Supply*, ou embarcações de manuseio de âncoras, reboque e suprimento, são embarcações multitarefas, que surgiram da necessidade de rebocar e instalar sistemas de ancoragem das unidades marítimas flutuantes não propulsadas, como mono boias, FPSO, FSO e plataformas semi submersíveis. Estas embarcações também realizam operações de suporte às plataformas de exploração e produção de petróleo.

Os AHTS's (“*Anchor Handling Tug Supply*”), são embarcações polivalentes, especializadas em operações do tipo “*offshore*”, sendo utilizadas em operações de manobras de âncoras e no posicionamento de plataformas, reboques oceânicos de grandes estruturas e embarcações, a grande maioria de movimentações oceânicas de plataformas de petróleo e FPSO's são realizadas pelos AHTS, além de socorro e salvamento, combate a incêndios, transporte de suprimentos e cargas múltiplas, tais como equipamentos para perfuração e prospecção de petróleo, tubulações, contêineres, correntes, possuindo ainda tanques específicos para transporte de combustível, água potável, “*drill water*”, cimento, barita, betonita, “*slops*”, entre outros. (LOPES, 2015)¹

A grande maioria de embarcações em operação de apoio marítimo no território nacional e no que tange ao universo de conhecimento do autor, possuem a peculiaridade de terem a superestrutura e praça de máquinas posicionadas próxima à proa, “por ante a vante do plano transversal de meia nau”. Com isso, pode-se observar que, em condição de deslocamento leve, naturalmente, devido a esses pesos, estas embarcações terão a tendência de “embicar”, ou calado maior pela proa. Objetivando atingir-se a condição de águas parelhas, pesos adicionais terão de ser adicionados de sorte a equilibrar os calados.

A história e a evolução deste tipo de embarcação estão diretamente ligadas ao desenvolvimento da atividade de extração de petróleo em plataformas *offshore*.

Esta tendência demanda diretamente o uso de embarcações cada vez maiores capazes de operar com maior segurança em condições de mar e tempo adversas onde navios de apoio de menor porte não teriam possibilidade ou teriam grandes dificuldades de operar, pois sofreriam muito mais com o efeito das ondas.

Embarcações que fazem o manuseio de âncoras sofrem uma influência especial desta tendência de operação em águas cada vez mais profundas. Os tambores dos guinchos de manuseio têm que ser capazes de armazenar milhares de metros de cabo conforme as profundidades crescem, o que significa que além de um grande espaço ser ocupado, o peso de tanto cabo é

¹ Disponível em: <http://brasilsobranoelivre.blogspot.com.br/2015/09/marinha-planeja-incorporar-seis.html>

muito grande e passa a existir uma necessidade de guinchos cada vez mais potentes. Logo, enquanto as operações se estendem a águas cada vez mais profundas, o setor de serviços de apoio *offshore* torna-se crescentemente mais complexo e mais caro. Cada embarcação nova parece ser maior e mais sofisticada do que as que vieram antes. (MARQUES e OLIVEIRA, 2015)²

2.2 Características das embarcações AHTS

A *International Convention on Load Lines* 1966, Capítulo 03, Regulamento 27 [9], divide navios em grupos denominados como “A” e “B” aonde o AHTS é classificado como navio do tipo B.

Como é de domínio publico, não somente embarcações AHTS, mas quase todas as embarcações engajadas em atividades de apoio marítimo utilizam propulsão redundante, de passo variável e que operem dentro de tubulões conforme afirma (SANTOS e ALMEIDA, 2006)

[...] É requisito básico nas embarcações *AHTS*, a utilização de sistemas de propulsão redundantes, ou seja, pelo menos dois sistemas de propulsão independentes para o caso de pane em um motor ou quebra de um eixo ou hélice a embarcação não fique a deriva.

A utilização de propulsores de passo variável é outro requisito básico por aumentar bastante a capacidade de manobra da embarcação além de elevar o nível do posicionamento dinâmico e permitir o uso de geradores de eixo.

Por se tratar de uma embarcação que realiza operações de reboque que demandam grande tração estática, os propulsores são projetados para operarem dentro de um tubulão que proporciona um maior desempenho.

A forma do casco tem como objetivo proporcionar grande resistência, pois esta estrutura deve suportar grandes pesos, além de forças da natureza como ondas e maus tempos, mas nunca perdendo o equilíbrio de estabilidade e a resistência estrutural.[...]

Além dos propulsores principais este tipo de embarcação normalmente possui outros propulsores laterais no sentido transversal conhecido como “bow thrusters” e “stern trusters”, podendo inclusive ser dotado também de um propulsor retrátil chamado de “swing-up azimuth thrusters”. Estes “thrusters” são utilizados durante as manobras, sendo de extrema importância para as operações. É importante frisar que o “swing-up azimuth thruster” só deve ser utilizado em profundidades satisfatórias conforme o manual do fabricante, uma vez que, este equipamento fica abaixo da quilha quando em operação.

Os lemes utilizados por estas embarcações são em sua maioria do tipo “Flap rudder”, também conhecidos como “Becker”. Esses modelos de lemes são compensados. Os “flaps”

² Disponível em: http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/Fabio2X/relat1/Index.htm
Visitado em 19 set 2015

proporcionam uma maior sustentação a um mesmo ângulo de ataque, em comparação a lemes convencionais. (SANTOS e ALMEIDA, 2006)

Podem ser dotadas do sistema fire fighting de apoio e combate a incêndio em plataformas e navios. Este sistema deverá dispor de uma bomba centrífuga de alta vazão localizada na praça de máquinas e canhão de água localizado a 1 metro de altura do tijupá da embarcação. Esse equipamento pode ser visto na figura 1.

Figura 1 - AHTS Fire Fight³



Fonte: <http://www.oceanica.ufrj.br>

Possui um sistema adequado de reboque. A função mais importante que o AHTS é a grande capacidade de rebocar estruturas flutuantes, por meio de um guincho de reboque. Esta característica é mensurada pelo valor de *Bollard Pull* da embarcação. O *Bollard Pull* é a tração estática, ou seja, é a capacidade de reboque do arranjo de propulsão, em toneladas, é um requisito inicial de extrema importância.

O guincho de reboque permitirá o reboque de estruturas flutuantes e também capacitará à realização de operações de manuseio de âncoras utilizando cabos de aço ou por amarras. O sistema deve ser capaz de resistir aos esforços da operação satisfatoriamente.

Para que a operação de ancoragem seja realizada com eficiência, a embarcação depende de um Sistema de Ancoragem constituído de uma série de equipamentos de alta capacidade. Os equipamentos utilizados para esta embarcação são: guinchos de ancoragem, guinchos auxiliares, rolo de popa, guindaste principal, guindastes secundários, pinos

³Disponível em:

http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2014/Alex+Aloisio/relat1/Texto_arquivos/image142.jpg. Acessado em: 23 out 2015.

hidráulicos e *sharks jaws*. Para que a operação seja bem sucedida, a embarcação conta com o sistema de posicionamento dinâmico a fim de garantir a precisão no lançamento.

Os guinchos são responsáveis pelo controle das amarras e cabos de aço ou poliéster durante a operação.

O rolo de popa é usado para permitir que uma âncora, um cabo ou uma estaca torpedo seja lançado sem haver muito atrito na superfície de contato do cabo com o navio. À medida que ocorre o lançamento, o rolo de popa gira auxiliando a movimentação e diminuindo assim os riscos de ocorrer algum dano na estrutura a ré.

O guindaste principal auxiliará na movimentação de cargas a bordo, isto eliminará grande parte do risco existente nas operações de manipulação de cabos e carga de convés. Além do guindaste principal, normalmente existe outro guindaste, esse auxiliar, com capacidade menor, próximo à popa.

O *Shark Jaw* é usado quando se deseja travar os cabos, seja em uma operação de lançamento ou em uma operação de recolhimento da linha de ancoragem.

Cada *Shark Jaw* deverá possuir um par de pinos hidráulicos, posicionados a ré de cada *Shark Jaw*. Os pinos hidráulicos deverão ser capazes de realizar movimento de rotação em ambas as direções para facilitar a passagem de cabos ou amarras.

A síntese sistema de posicionamento dinâmico envolve as expectativas, operacionalidade e custo, no caso, na necessidade de atender a expectativa específica possuir capacidade de manter seu posicionamento, onde equipamentos selecionados devem apresentar baixos custos e consumo de combustível.

O sistema de posicionamento dinâmico é composto por equipamentos de controle de navegação e sensores que captam as informações da posição do navio e ajustam a direção e potência dos propulsores automaticamente, mantendo o navio dentro de uma região, chamada região de passeio. A direção e a potência dos propulsores devem ser tais que permita a embarcação suportar as forças de onda, vento e corrente.

Atualmente, as embarcações são classificadas de acordo com o nível de redundância do sistema em quatro níveis: DP0, DP I, DP II e DP III. (Segundo a *American Bureau of Shipping* - USA)

Alguns AHTS podem possuir também características OSRV – *Oil Spill Response Vessel*, que se destinam ao recolhimento de óleo derramado em regiões oceânicas. Por isso, deve dispor de um sistema de recolhimento de óleo eficaz capaz de proporcionar uma melhor resposta ao derramamento, contando com equipamentos específicos e de alta tecnologia para, por exemplo, detectar, aspirar e armazenar o óleo derramado.

Os principais equipamentos existentes a bordo de um AHTS que possuem características de OSRV são: Barreira de contenção, sarrilho, compressor de ar (*Power pack*), bomba de sucção (*skimmer*) e embarcação de apoio.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa, a respeito da estabilidade das embarcações “*Anchor Handling Tug Supply*”, pode ser classificada, de acordo com Vergara (1998), quanto aos fins: pesquisa descritiva, explicativa e aplicada. Pode-se considerar a pesquisa como descritiva, na medida em que, a partir da base de dados pesquisada o autor buscará mostrar de que forma o embarque e desembarque de pequenos pesos interfere na estabilidade deste tipo de embarcação, contudo não se restringe a mostrar de que forma esse efeito interfere na estabilidade, mas também explicar de que maneira isso impacta no carregamento da embarcação, o que também a classifica como explicativa. Desta forma considerando-se que o pesquisador é Oficial de Náutica e trabalha como responsável pelo carregamento deste tipo de embarcação pode-se classificá-la também como pesquisa aplicada. Por fim, quanto aos meios, segundo a graduação proposta por Vergara (1998, p. 46), considera-se como pesquisa bibliográfica, documental e estudo de caso. Bibliográfica na medida em que o autor utilizará livros, artigos e trabalhos científicos existentes na Biblioteca do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (CIAGA). Pesquisa documental, pois o autor obterá documentos de acesso restrito existentes na intranet do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha – CIAGA e estudo de caso, pois o autor utilizará como caso uma embarcação em que o mesmo periodicamente costuma embarcar.

A pesquisa será baseada em uma metodologia do tipo qualitativo e para fundamentar a pesquisa o autor buscará bibliografias de autores relacionados ao tema, utilizando informações telemáticas, periódicos e trabalhos científicos.

4. ESTABILIDADE

4.1 Conceitos básicos

Estabilidade – é a propriedade que a embarcação possui de retornar a sua posição de equilíbrio após cessar as forças que nela incidiram e que a deslocaram de sua origem.

A estabilidade é estudada sob vários aspectos, dentre eles podemos destacar:

- a) Estabilidade transversal – Estuda o comportamento do navio no sentido transversal, quando ocorrerem bandas.
- b) Estabilidade longitudinal – Estuda o comportamento do navio no sentido longitudinal, isto é no sentido de proa a popa, quando existe o trim.
- c) Estabilidade estática – estuda as forças que afastam a embarcação de sua posição inicial.
- d) Estabilidade dinâmica – estuda a estabilidade sob os efeitos das vagas e influências externas, considerando-se o trabalho necessário para levar a embarcação a uma determinada inclinação.
- e) Calado – é a distância vertical entre a parte mais baixa do navio e a linha d'água.
- f) Calado médio – é a média aritmética dos valores dos calados a vante e a ré.
- g) Comprimento – é a medida linear unidimensional compreendida entre os dois pontos de referência. Unidade: m, Km, pé, etc.
- h) Peso – grandeza originada pelo produto da massa de um corpo com a aceleração local da gravidade.
- i) Volume – Espaço tridimensional ocupado por um corpo. É o número de unidades cúbicas contidas no objeto.

Conhecendo-se o volume de um corpo e o seu respectivo peso específico, basta multiplicá-lo por este para encontrarmos o seu peso ou multiplicá-lo pela densidade para obtermos a sua massa.

- j) Empuxo – Um líquido exerce um empuxo sobre um corpo flutuante ou imerso nele porque a pressão na parte inferior do corpo é maior que a pressão na sua parte superior. A força de empuxo só depende da diferença de pressões entre a face inferior e superior do corpo. Não depende da profundidade, portanto o valor do empuxo é igual ao peso do líquido deslocado.

Princípio de Arquimedes:

“Todo corpo mergulhado num líquido recebe um empuxo deste de baixo para cima igual ao peso do volume de massa líquida deslocada.”

k) Deslocamento – é o peso do navio. Peso da água deslocada. É dado pela expressão:

$$\Delta = \nabla \cdot \delta$$

Onde: Δ - deslocamento.

∇ - volume de carena, ou seja, o volume de água deslocada.

δ - peso específico da água em que o navio flutua.

A densidade média da água dos oceanos é de 1024,12 Kg/m³. Mas nos cálculos de arquitetura naval, nas curvas e tabelas hidrostáticas do navio, considera-se a água salgada como tendo uma densidade relativa de 1025 Kg/m³ e sendo a densidade relativa da água doce a 1. Para efeito de cálculo nesta pesquisa será adotado como peso específico da água do mar o valor de 1.025t/m³ e da água doce o valor de 1.000t/m³.

- l) Deslocamento leve – é o deslocamento em que a embarcação não possui nenhum peso a bordo, isto é, sem água, combustível, tripulação, viveres e qualquer outra carga. Ou seja, somente com o próprio peso que é composto pelo casco, maquinário e equipamentos.
- m) Deslocamento máximo – é o deslocamento em que a embarcação possui todos os pesos possíveis, ou seja, além do seu próprio peso possui toda a água, combustível, tripulação, viveres e carga possíveis de embarcar.
- n) Porte bruto total (TPB) – também chamada de tonelagem de porte bruto é a capacidade máxima de transporte de carga que a embarcação suporta sem afetar a segurança. É a diferença entre o deslocamento máximo e o deslocamento leve. Podendo ser dado pela expressão:

$$\text{TPB} = \Delta \text{ Máximo} - \Delta \text{ Leve}$$

- o) Porte bruto atual ou porte bruto – é a diferença entre o deslocamento atual e o deslocamento leve quando um carregamento não atinge a capacidade máxima.

$$\text{PB} = \Delta \text{ Atual} - \Delta \text{ Leve}$$

- p) Porte líquido – é a parcela do porte bruto total, correspondente a capacidade de peso que a embarcação pode transportar e que gera lucro.

- q) Porte líquido operacional – é a parcela do porte bruto total, correspondente ao peso de todos os materiais e pessoas necessárias para operar a embarcação, não gerando lucro.
- r) Porte comerciável – é a parcela do porte bruto total que falta para completar o deslocamento máximo. Pode ser dado pela expressão:

$$\mathbf{PC = TPB - PB = \Delta \text{Máximo} - \Delta \text{Atual}}$$

- s) Toneladas por centímetro de imersão (TPC) – é a quantidade, em toneladas de peso, necessário que deve ser embarcado ou desembarcado para alterar o caldo médio em 1 centímetro.

4.2 Pontos notáveis da estabilidade

São eles:

G – Centro de Gravidade do navio

B – Centro de Carena

M – Metacentro

OBSERVAÇÃO:

O ponto “K” não é um ponto notável, e sim um ponto pertencente ao plano de base, e que serve como referência para as distâncias verticais a partir dele (cotas).

4.3 Denominações dadas às distâncias verticais entre os pontos notáveis

KG – Cota do Centro de Gravidade

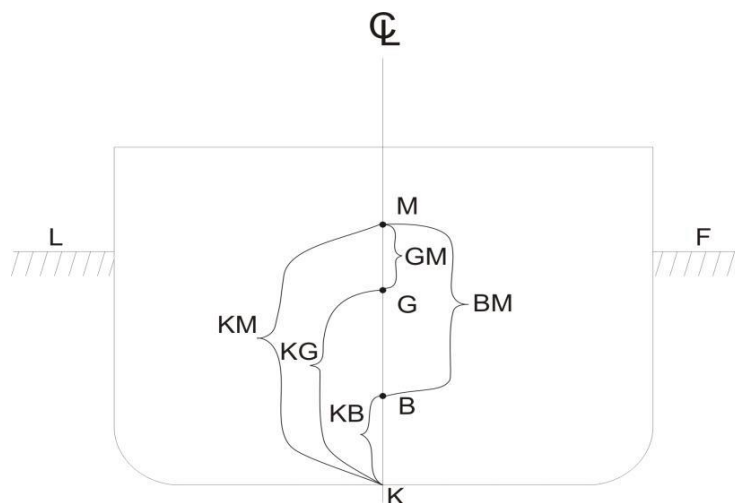
KB – Cota do Centro de Carena

KM – Cota do Metacentro

BM – Raio Metacêntrico

GM – Altura Metacêntrica

Figura 2 - Pontos Notáveis da Estabilidade na Seção Transversal.



Fonte: PEREIRA, 2011, p. 51.

GM – Altura Metacêntrica = $KM - KG$

KG – Cota do Centro de Gravidade = $KM - GM$

BM – Raio Metacêntrico

KB – Cota do centro de carena

KM – Cota do Metacentro – $KB + BM = KG + GM$

4.4 Definição dos pontos notáveis da estabilidade

4.4.1 Centro de gravidade (G)

É o ponto de aplicação da resultante das forças gravitacionais que atuam no navio e em tudo que existir a bordo.

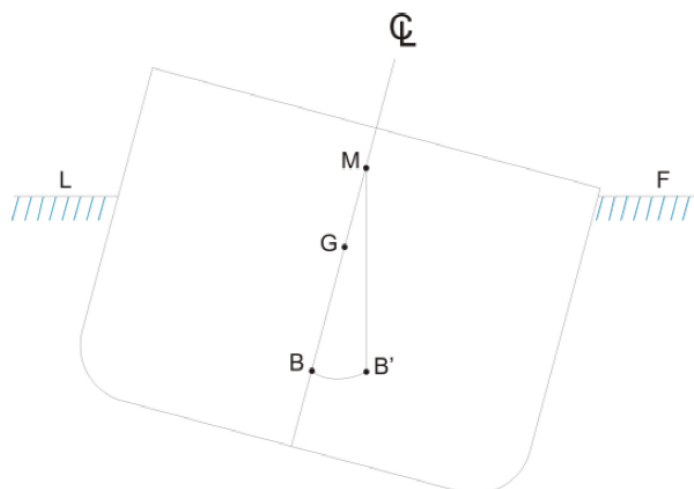
4.4.2 Centro de carena (B)

É o ponto de aplicação da força de Empuxo. É o Centro geométrico do volume imerso.

4.4.3 Metacentro (M)

É o ponto de encontro de dois raios de uma curva infinitamente pequena, descrita pelas sucessivas mudanças de posição do Centro de Carena de um navio que oscila em flutuações isocarenas.

Figura 3 – Metacentro.



Fonte: PEREIRA, 2011, p. 52.

4.5 Tabela de dados hidrostáticos utilizada nos cálculos de estabilidade

Esta tabela (ANEXO A), permite determinar uma série de valores hidrostáticos em função do calado médio ou do deslocamento conhecido.

A sua utilização é extremamente fácil. Basta entrar com o calado médio na primeira coluna da esquerda e identificar, na linha correspondente ao calado médio, os valores procurados, registrados.

Na primeira linha estão identificados os dados hidrostáticos representados pelas suas respectivas siglas, ou seja: Δ (deslocamento em água salgada com peso específico 1,025 t/m³), **TPC** (toneladas por centímetro de imersão), **MCC** (momento para compassar um centímetro), **KM** (cota do metacentro), **KB** (cota do centro de carena), **LCB** (distância longitudinal do centro de carena), **LCF** (distância longitudinal do centro de flutuação) e os seus valores hidrostáticos estão a partir da segunda linha.

4.6 Determinação da posição do centro de gravidade

4.6.1 Definição

É o ponto de aplicação da resultante das forças gravitacionais que atuam no navio e em tudo mais que existir a bordo.

4.6.2 Componentes

As componentes que formam a resultante das forças gravitacionais que atuam em um navio são:

- Deslocamento leve do navio;
- Peso da aguada, óleo combustível e lubrificante;
- Peso da carga;
- Peso de tudo mais que existir a bordo.

Determinamos a posição do Centro de Gravidade de um navio, por intermédio de uma fórmula semelhante à usada na obtenção do centro de gravidade de volumes tendo, porém o cuidado de bem definir os três eixos usados no posicionamento do centro de gravidade.

Ao construirmos um navio ou ao colocarmos a bordo qualquer quantidade de carga, temos por norma efetuar a distribuição dos pesos simetricamente em relação ao plano diametral dando desta forma condições para que o navio possa flutuar em sua posição normal, isto é, adriçado, eliminando também a necessidade de efetuarmos cálculos para posicionar transversalmente o centro de gravidade do navio. Deveremos, portanto, determinar a distância do centro de gravidade ao plano de base moldada (para estabilidade transversal) e distância do centro de gravidade ao plano transversal de meio navio ou às perpendiculares de vante ou de ré (para a estabilidade longitudinal).

Fórmula para o Cálculo da cota do Centro de Gravidade (KG): $KG = \frac{\sum MV}{\sum P}$

Onde:

KG = Cota do Centro de Gravidade.

Sendo:

$\sum MV$ = somatório dos Momentos Verticais (P x Kg)

$\sum P$ = somatório dos pesos

4.7 Detalhamento para a obtenção do centro de gravidade

4.7.1 Centro de gravidade de um navio em deslocamento leve

Calculado pelo estaleiro construtor, em função da forma do navio, peso do material empregado, estrutura, acessórios, etc.

O navio é dividido em planos transversais e calculam-se os momentos verticais de cada compartimento tendo-se como referência o plano de base moldada.

4.7.2 Centro de gravidade do óleo e aguada

Calculado pelo pessoal de bordo em função da distribuição da massa líquida nos tanques.

Conhecendo-se o centro de gravidade e o peso da massa líquida colocada em cada tanque, calcula-se os momentos verticais de cada compartimento tendo-se como referência o plano de base moldada.

4.7.3 Centro de gravidade de carga

Calculado pelo pessoal de bordo em função da distância vertical da carga, pelos locais a ela destinados.

Conhecendo-se a posição do centro de gravidade do peso da carga, calculam-se os momentos verticais provocados pela carga, após ter sido estivada, em relação ao plano de base moldada.

4.7.4 Centro de gravidade de tudo que existir a bordo

Calculado pelo pessoal de bordo com o procedimento igual ao do item anterior.

$$KG = \frac{(\Delta L \cdot KGL) + (P1 \cdot KG1) + (P2 \cdot KG2) + (P3 \cdot KG3)}{\Delta L + P1 + P2 + P3}$$

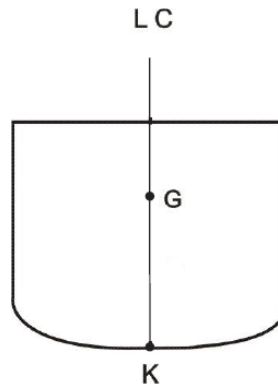
Emprego dos momentos na determinação do centro de gravidade de um navio.

4.8 Centro de gravidade

O ponto de aplicação da resultante de todos os pesos a bordo do navio, inclusive ele próprio, chama-se Centro de Gravidade. É como se todos os pesos do navio estivessem concentrados nesse ponto.

Com os pesos a bordo igualmente distribuídos em relação ao plano longitudinal a quantidade de pesos a BB é igual à quantidade dos pesos à BE. O centro de gravidade fica sobre o plano longitudinal.

Figura 4 – Centro de gravidade



Fonte: PEREIRA. 2011, p. 54

Se o navio está adernado devido a uma distribuição assimétrica dos pesos a bordo, é óbvio que aquele ponto não está sobre o plano longitudinal. A distância KG, que vai do plano de base moldada (K) ao centro de gravidade G, medida sobre o plano longitudinal, é a cota do centro de gravidade. Esta cota é valor muito importante nos cálculos de estabilidade e é determinada pelo teorema dos momentos de Varignon.

“O Momento da Resultante é igual à soma dos momentos das componentes”.

$$KG \cdot \Sigma P = Kg1 \cdot P1 + Kg2 \cdot P2 + Kg3 \cdot P3 + \dots + Kgn \cdot Pn$$

sendo: P1, P2, P3, ..., Pn, os diversos pesos; e

Kg1, Kg2, Kg3, ..., Kgn, suas distâncias respectivas ao Plano de base moldada.

$\Sigma P = \Delta$, então: $KG \times \Delta$ é o momento da resultante, logo:

$$KG = \frac{(KG1 \cdot P1) + (KG2 \cdot P2) + (KG3 \cdot P3) + \dots + (Kgn \cdot Pn)}{\Delta}$$

Se fizermos o numerador igual à ΣMV , ou seja, ao somatório dos momentos verticais, teremos:

$$KG = \frac{\Sigma \text{Momentos Verticais}}{\Delta}$$

A seguir, verificaremos um exemplo do cálculo da cota do centro de gravidade do navio.

Exemplo⁴: (Apostila Estabilidade EAD, Adilson Coelho, 2010, p. 49).

Um navio terminou a operação de carregamento com um deslocamento de 19238 t e KG = 10,20 m. Após o término do carregamento ele recebeu: 1800 t de óleo pesado, 200 toneladas de óleo diesel, 435 t de água doce, 10 t de óleo lubrificante. **Calcule** o valor do **KG** ao terminar as operações de carga e abastecimento de óleo e aguada.

Solução:

Para calcular o KG ou cota do centro de gravidade do navio utilizaremos a tabela seguinte. Multiplicaremos os valores contidos na coluna referente ao peso pelos valores correspondentes contidos na coluna referente às distâncias dos centros de gravidade de cada peso ao plano de base moldada, obtendo-se o momento vertical de cada peso.

Descrição	Peso (t)	KG e Kg (m)	Momento vertical (t.m)
Deslocamento	19238	10,20	196227,6
TQ-5-LC-OC	1000	0,62	620
TQ-7-LC-OC	800	0,98	784
TQ-11-BB-OD	200	17,09	3418
TQ-17-LC-OL	10	17,38	173,8
TQ-20-BB-AD	200	16,80	3360
TQ-COL-RÉ	235	7,5	1762,5
	21683 t		ΣMV= 206345,9 t.m

$$KG = \frac{\Sigma \text{ Momentos Verticais}}{\Delta_{\text{total}}}$$

$$KG = \frac{206345,9 \text{ t.m}}{21683 \text{ t}}$$

$$KG' = 9,52 \text{ m}$$

4.9 Cálculo da altura metacêntrica transversal

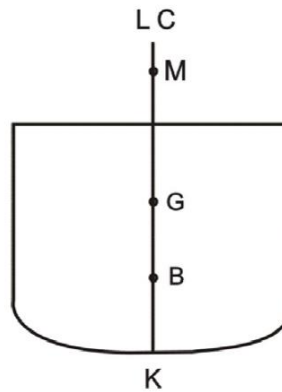
Observando a Figura 5, verificamos que se conhecemos **KM** e **KG**, efetuando a subtração, determinamos **GM** — que é identificada como altura metacêntrica.

A altura metacêntrica – GM estabelece a verdadeira condição de estabilidade transversal do navio, por isto, é, por alguns, chamada de **medida da estabilidade**.

⁴ COELHO, Adilson da Silva. Módulo de Estabilidade – Est – Unidade de Estudo Autônomo, 2010, p. 49

Aproveitando que já sabemos utilizar a tabela de dados hidrostáticos, ANEXO A, vamos resolver um cálculo clássico da altura metacêntrica ao final da operação de carga de um navio.

Figura 5 – Altura metacêntrica transversal



Fonte: COELHO, 2010, p. 52

Exemplo⁵:

Um navio graneleiro atracou num terminal deslocando 8719 t e $KG = 8,66$ m. Neste local ele embarcou 9075 t de produtos siderúrgicos nos seus cinco porões cujo Kg é 7,20 m. Antes da saída do navio, recebeu os seguintes consumíveis: 2500 t de óleo combustível nos tanques n° 5 BB/ BE cujo Kg é 0,6 m; 200 t de óleo diesel nos tanques n° 15 BB/BE cujo Kg é 11,0 m; 6 t de óleo lubrificante no tanque n° 21 central cujo Kg é 17 m e 200 t de água potável no pique tanque de ré cujo Kg é 8,0 m. **Calcule** a altura metacêntrica transversal – GM, utilizando a tabela de dados hidrostáticos.

Solução:

Primeiro devemos calcular a cota do centro de gravidade do navio (**KG**) e para isto utilizaremos a tabela seguinte. Multiplicaremos os valores contidos na coluna referente ao peso pelos valores correspondentes contidos na coluna referente às distâncias dos centros de gravidade de cada peso ao plano de base moldada, obtendo-se o momento vertical de cada peso.

⁵ COELHO, Adilson da Silva. Módulo de Estabilidade – Est – Unidade de Estudo Autônomo, 2010, p. 52.

Descrição	Peso (t)	KG e Kg (m)	Momento vertical (t.m)
Deslocamento	8719	8,66	75506,54
Carga	9075	7,20	65340
Óleo combustivel	2500	0,6	1500
Óleo diesel	200	11,0	2200
Óleo lubrificante	6	17,0	102
Aguada	200	8,0	1600
	20700 t		ΣMV= 146248,54 t.m

Conforme já tinha sido mencionado anteriormente, a cota do centro de gravidade do navio deve ser calculada pela fórmula:

$$KG = \frac{\Sigma \text{ Momentos Verticais}}{\Delta_{\text{total}}}$$

$$KG = \frac{146248,54 \text{ t.m}}{20700 \text{ t}}$$

$$KG' = 7,06 \text{ m}$$

Considerando que a questão proposta é o cálculo da altura metacêntrica (**GM**), devemos utilizar a fórmula já apresentada, ou seja: **GM = KM – KG**, portanto falta a outra parcela, isto é, a cota do metacentro (**KM**).

Conforme sabemos, o valor de **KM** deverá ser obtido na tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**, tendo como elemento de entrada o deslocamento calculado com todos os pesos a bordo, ou seja, **20700 t**. Consultando esta tabela verificamos que o valor de KM é 8,62 m e aplicando a nossa fórmula **GM = KM – KG**, isto é:

$$\mathbf{GM = 8,62 \text{ m} - 7,06 \text{ m} = 1,56 \text{ m.}}$$

O valor da altura metacêntrica calculada, ao que tudo indica, parece ser seguro por ser positiva e o seu tamanho (**1,56 m**) poderá gerar boa estabilidade em alto mar; entretanto, a maneira de se confirmar se ela inspira confiança é consultar um documento de bordo chamado **caderno ou manual de estabilidade** do navio, onde estão registrados os valores da GM para diversas situações de deslocamento.

Deve-se sempre consultar esse documento ao efetuar os cálculos de estabilidade.

4.10 Estados de equilíbrio dos navios

- Equilíbrio estável
- Equilíbrio indiferente ou neutro
- Equilíbrio instável.

Sabemos que existe um braço GZ do binário formado pelas forças (G) gravidade e (E) empuxo que, agindo simultaneamente darão ao navio condições para voltar à sua posição normal de equilíbrio.

O navio balança, porque é criado um **momento de estabilidade (ME)** ou de **adriçamento (MA)**, que é identificado pelo produto $\Delta \cdot GZ$.

Em função das posições dos centros de gravidade e de carena, poderemos ter valores positivos, nulos e negativos para o braço de estabilidade, o que dará como resultado de acordo com a posição dos pontos notáveis, o navio em um dos três estados de equilíbrio.

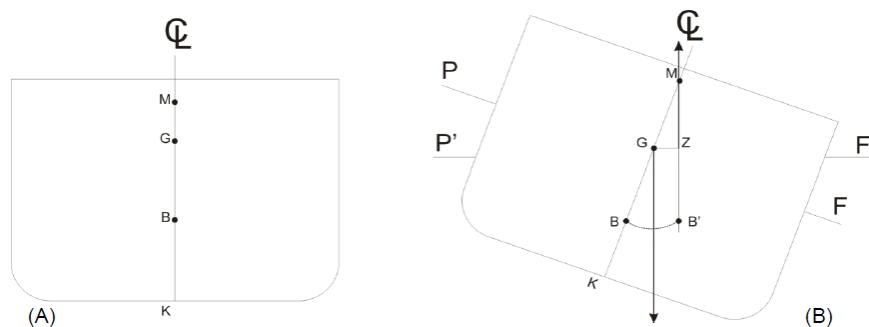
4.10.1 Equilíbrio Estável

O navio ao adernar volta à sua posição normal de equilíbrio, isto ocorre quando: $GM > 0$; $GZ \neq 0$; $MA > 0$ e $KM > KG$

Em (A) o navio está adriçado, em (B) já adquiriu banda, formando-se o binário de forças.

No binário resultante, verifica-se nitidamente que, enquanto o Empuxo força o lado em banda para retornar à posição normal, para cima, a gravidade faz o outro bordo tender para baixo.

Figura 6 - GM positivo – equilíbrio estável.



Fonte: PEREIRA, 2011, p. 68

4.10.2 Equilíbrio Indiferente

O navio estará em equilíbrio seja qual for a sua posição.

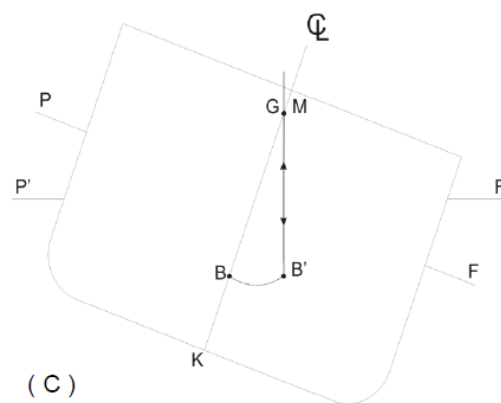
Isto ocorre quando $GM=0$; $GZ = 0$ e $MA=0$ e $KG=KM$.

Mesmo com banda, não há binário de forças porque (B) deve estar na mesma vertical que (M) e este tem a mesma cota que (G).

Empuxo e gravidade continuam atuando na mesma vertical, anulando-se e isto ocorrerá com qualquer banda, na estabilidade inicial.

O navio estará em equilíbrio com esta banda, da mesma forma que estava quando adriçado e assim estará com qualquer banda, não havendo tendência a retornar à posição de adriçado. Diz-se, então que o navio está em equilíbrio indiferente ou neutro.

Figura 7 – Equilíbrio Indiferente



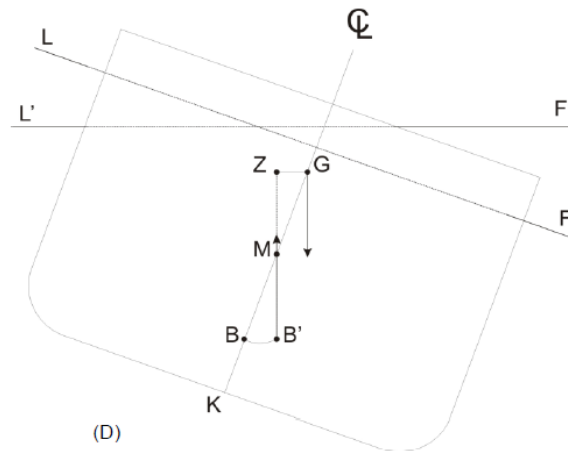
Fonte: PEREIRA, 2011, p. 68

4.10.3 Equilíbrio Instável

$$GM < 0 ; GZ < 0 ; MA < 0 \text{ e } KG > KM$$

Ao adquirir banda, formou-se o binário de forças. Este binário tem efeito inverso ao exercido no navio (B), sua tendência é fazer o navio adquirir maior banda. O navio irá se inclinando para um dos bordos B' na figura (D), irá caminhando para a direita conforme o navio for adernado. Se a distância entre G e M, ou seja, a altura metacêntrica negativa for pequena, B' alcançará a vertical que passa através de G, e então, neste instante, se encontrará em equilíbrio indiferente. Mas, se a GM negativa for bastante grande, B' não poderá alcançar a vertical que passa por G, e o navio continuará a adernar. Esta banda, que o navio adquire ao assumir tal posição de equilíbrio, chama-se banda permanente por GM negativo.

Figura 8 – Equilíbrio Instável.



Fonte: PEREIRA, 2011, p. 69

4.10.4 Análise dos estados de equilíbrio

Das três condições de equilíbrio expostos deduz-se, de imediato, que as condições de equilíbrio instável e indiferente são indesejáveis porque o navio, em ambas condições, perde sua capacidade de adriçar-se após cada inclinação.

Resta como desejável a condição de equilíbrio estável, ou seja $KM > KG$, com uma GM positiva.

Cabe ao oficial encarregado do carregamento o dever e a prerrogativa de providenciar a distribuição de pesos a bordo de forma a proporcionar tal condição ao navio. Compete-lhe, porém, fazê-lo de tal forma que a GM não seja exagerada.

Valores de **GM** normais na prática. (Regra de Mandelli)

Navios de passageiros	GM = 4 a 5% da Boca
Navios de carga geral	GM = 5 a 7% da Boca
Navios petroleiros e graneleiros	GM = 8 a 9% da Boca
Rebocadores	GM = 10 a 12% da Boca

Determinamos que $MA = \Delta \cdot GZ$; e pela figura 6 B: $GZ = GM \cdot \sin\theta$; logo:

$$MA = \Delta \cdot GM \cdot \sin\theta$$

Terminado o carregamento e suprimento do navio, o deslocamento não mais se alterará, porém, analisando as fórmulas, verificamos que, para uma mesma banda, maior será o MA quanto maior for o valor de GM. Maior (MA) significa maior velocidade de retorno à posição de adriçado, isto é, balanços mais rápidos.

Uma GM exageradamente grande poderá causar balanços violentos, com consequências indesejáveis, das quais destacamos:

- 1) desconforto para tripulantes e passageiros;
- 2) dificuldades e até impossibilidade de confecção da alimentação;
- 3) prejuízos para a estrutura do navio;
- 4) riscos de danos à máquinas e, principalmente, nos equipamentos de precisão;
- 5) avarias à carga ou sua embalagem, motivada por peção partida ou compressão entre os volumes estivados;
- 6) mau governo e perda de velocidade.

Hoje, está se tornando comum aparecerem indicados nos cadernos de estabilidade, valores de GM selecionados para os respectivos carregamentos que o navio possa apresentar.

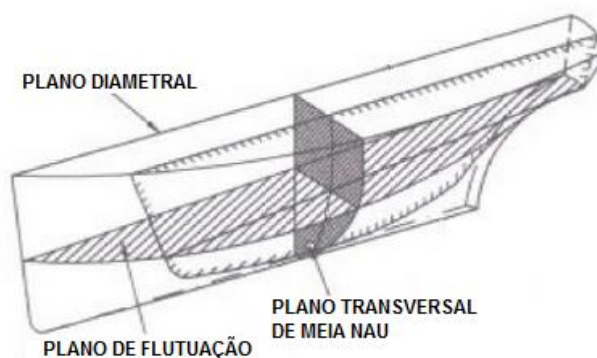
Ao final da construção do navio, o Estaleiro construtor fornece ao navio um folheto, denominado Caderno de Estabilidade onde são dados os valores ideais de: GM e KG, assim como a respectiva curva de estabilidade estática para as diversas condições de carregamento em que o navio possa se encontrar. A IMO estabelece o valor mínimo de 0,15m para a GM de todos os navios, com exceção dos graneleiros com carga de grãos cujo valor mínimo da GM é de 0,30m. Alguns países têm critérios de GM com relação a navios especiais. Na Alemanha e em mais alguns países do norte europeu a GM mínima para “full-containers” é de 0,40m.

4.11 Estabilidade estática longitudinal

Conforme mencionamos anteriormente, estabilidade estática é o estudo das forças que afastam a embarcação da sua posição inicial e estabilidade longitudinal é o estudo do comportamento do navio no sentido longitudinal, no sentido de proa a popa, quando existe o trim. Logo estabilidade estática longitudinal será o estudo das forças que afastam a embarcação da sua posição inicial no sentido longitudinal.

4.12 Planos e pontos notáveis da estabilidade estática longitudinal

Figura 9 – Planos da estabilidade estática longitudinal



Fonte: PEREIRA, 2011, p. 39

4.12.1 Plano diametral

É o plano longitudinal que divide a embarcação em duas partes iguais bombordo e boreste, como mostrado na figura 9.

4.12.2 Plano de flutuação

É o plano horizontal que contém a superfície que a embarcação está flutuando. Este plano divide a embarcação em duas partes distintas, a que pertence a parte que fica fora da água é chamada de obras mortas e a outra parte que fica abaixo da superfície da água é chamada de obras vivas, como pode ser observado na figura 9.

4.12.3 Plano transversal de meia nau ou plano de seção mestra

É o plano vertical perpendicular ao plano diametral que divide a embarcação em duas partes, proa e popa. Costuma ser representado pelo símbolo \propto , “aranha”. Ver na figura 9.

4.12.4 Plano de base moldada

É o plano perpendicular ao plano diametral e a seção de meio navio passando pelo ponto mais baixo da superfície do casco pertencente ao plano da seção de meio navio.

4.13 Empuxo

Chama-se empuxo à força resultante da soma de todas as componentes verticais das pressões exercidas pelo líquido na superfície imersa de um navio. Efeito combinado de todas as componentes verticais das pressões que se opõe ao peso do navio. (ARTE NAVAL, p.56)

4.14 Centro de gravidade (G)

É o ponto de aplicação da força resultante de todos os pesos existentes a bordo.

4.15 Cota do centro de gravidade (KG)

É a distancia entre o centro de gravidade e o plano de base moldada.

4.16 Centro de Flutuação

É o centro de gravidade da área de flutuação, para uma determinada flutuação do navio. (FONSECA, 2002, p. 55)

É o centro geométrico da área do plano de flutuação. Ponto notável mais utilizado no estudo da estabilidade longitudinal. Quando a embarcação caturra, ela gira em torno de um eixo transversal que passa pelo centro de flutuação.

4.17 Centro de carena (B)

É o centro de gravidade do volume da água deslocada, ponto de aplicação da força chamada empuxo. É contido no plano diametral, se o navio estiver aprumado; na direção longitudinal, sua posição depende da forma da carena, não estando muito afastada da seção a meia-nau nos navios de forma usual. Está sempre abaixo da linha d'água. (FONSECA, 2002, p. 54)

4.18 Metacentro Longitudinal

É o centro da curva descrita pelo centro de carena, à medida que o navio inclina-se longitudinalmente, em torno de um eixo transversal.

4.19 TRIM ou Compasso

Também chamado de compasso, é a diferença entre o calado a ré e o calado a vante, podendo ser expresso da seguinte forma:

$$\text{Trim} = \text{Calado a ré} - \text{Calado a vante}$$

4.20 Variação do TRIM

É a alteração nos calados devido a movimentações de pesos a bordo. Esta variação, também chamada de compasso, pode ser representada pela diferença entre o trim final e o trim inicial.

$$VT = t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}$$

Ao embarcar ou desembarcar pesos, na posição do plano que pertence ao centro de flutuação, o trim varia uniformemente e a embarcação imerge ou emerge paralelamente.

4.21 Momento para variar o TRIM

4.21.1 Momento para variar o TRIM de 1 centímetro (MTC ou MCC)

É o momento longitudinal, em toneladas. metro por centímetro, necessário para variar o trim de 1 centímetro. O MTC mede a intensidade com que o navio retorna ao calado primitivo e é utilizado para medidas de comparação de estabilidade longitudinal.

O valor do MTC é obtido nas tabelas hidrostáticas correspondente a cada embarcação.

4.21.2 Cálculo da variação do TRIM causado por um momento longitudinal M.

A movimentação a bordo de um peso qualquer P, em uma distância longitudinal d, provoca um momento longitudinal M:

$$M = P \cdot d$$

Esta movimentação provocará uma variação no trim da embarcação, e pode ser calculado pela expressão:

$$VT = \frac{M}{MTC} = \frac{P \cdot d}{MTC}$$

4.22 Alterações do compasso devido à movimentação longitudinal de pesos

4.22.1 Quando o Centro de Flutuação Coincide com o plano transversal de meio navio

Consideremos um peso posicionado no plano transversal de meio navio. Caso este peso seja deslocado para vante ou a ré, isto provocará uma alteração no compasso ou trim da embarcação e que nesse caso será igual, ou seja, a variação do calado a vante será igual a variação do calado a ré.

4.22.2 Quando o Centro de Flutuação for à vante do plano transversal de meio navio

Caso seja deslocado um peso em uma embarcação, onde o centro de flutuação está a vante do plano transversal de meio navio, isto provocará uma variação do trim à vante menor do que a variação do trim à ré.

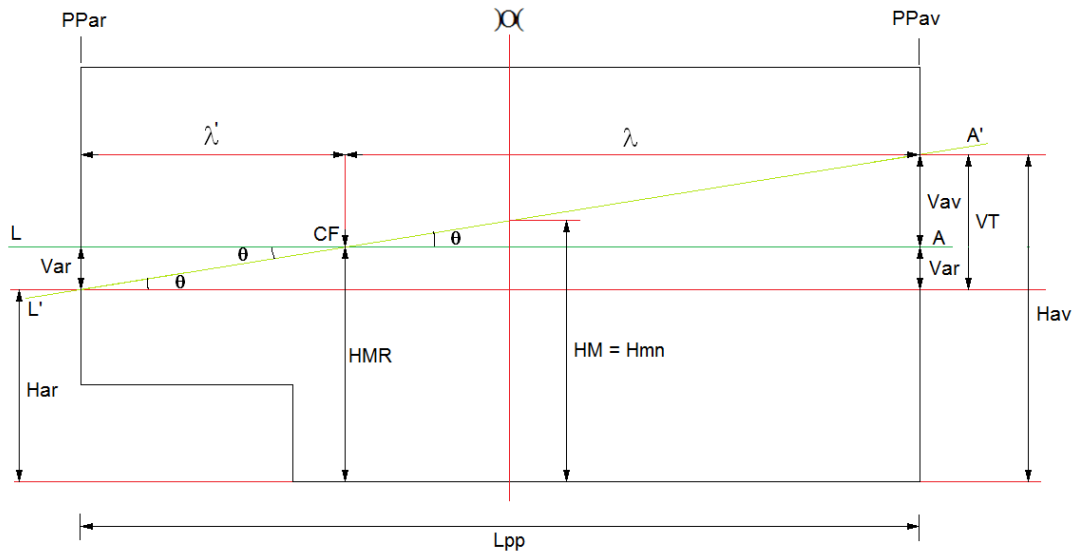
4.22.3 Quando o Centro de Flutuação for à ré do plano transversal de meio navio

Caso seja deslocado um peso em uma embarcação, onde o centro de flutuação está a ré do plano transversal de meio navio, isto provocará uma variação do trim à ré menor do que a variação do trim à vante.

Quando movimentamos pequenos pesos longitudinalmente, a bordo, podemos considerar que a posição do centro de flutuação permanece fixa e o valor do MTC não se altera depois da manobra. Porém quando a movimentação envolve pesos consideráveis, essas grandezas deixam de ser constante. Nesta pesquisa definem-se pequenos pesos, aos pesos cujo valor máximo não ultrapasse 5% do deslocamento da embarcação.

Consideremos a figura 10, que representa, esquematicamente, uma embarcação que, de início, estava sem trim e depois de uma movimentação de peso, adquiriu um trim pela proa.

Figura 10 - Compasso devido à movimentação longitudinal de pesos.



Fonte: BARBOSA, 2008, p. 96.

Definição dos símbolos e siglas

H AV	Calado AV
H AR	Calado AR
Hm	Calado médio = (HAV + HAR)/2
Hmn	Calado a meio-navio (nesse caso Hmn = Hm)
θ	Ângulo formado entre a linha de flutuação inicial e a linha de flutuação final
λ'	Distância do centro de flutuação (CF) à perpendicular a ré (LCF da maioria das tabelas hidrostáticas)
λ	Distância do centro de flutuação à perpendicular à vante ($L_{pp} - \lambda'$)
X	Plano transversal de meio navio
VAV	Variação do trim a vante
VAR	Variação do trim a ré
VT	Variação do trim ($VT = VAV + VAR$)

Para efetuar o cálculo segue-se o seguinte processo:

- a) Calcular o calado médio antes da movimentação

$$H_m = (H_{AV} + H_{AR})/2$$

- b) Nas tabelas hidrostáticas da embarcação, obter os valores de MTC e de LCF (λ'), entrando com o valor de H_m .

- c) Calcular VT

$$VT = (P \times d)/MTC$$

- d) Calcular VAR

Fazendo uma proporção entre os triângulos $[A' L' PP AV]$ e $[L L' CF]$, conclui-se que:

$$VAR = \frac{\lambda' \cdot VT}{L_{pp}} = \frac{LCF \cdot VT}{L_{pp}}$$

- e) Calcular VAV

Fazendo uma proporção entre os triângulos $[A' L' PP AV]$ e $[A A' CF]$, conclui-se que:

$$VAV = \frac{\lambda \cdot VT}{L_{pp}} = \frac{(L_{pp} - \lambda') \cdot VT}{L_{pp}}$$

Como já foi efetuado o cálculo de VT e VAR, pode-se determinar VAV também da seguinte forma:

$$VAV = VT - VAR$$

- f) Determinar os calados finais, observando o sentido de rotação do momento trimador:

- a. Peso movimentado de ré para vante (H_{AV} aumenta e H_{AR} diminui):

$$H_{AVfinal} = H_{AV} + VAV$$

$$H_{ARfinal} = H_{AR} - VAR$$

- b. Peso movimentado de vante para ré (H_{AR} aumenta e H_{AV} diminui):

$$H_{AVfinal} = H_{AV} - VAV$$

$$H_{ARfinal} = H_{AR} + VAR$$

4.23 Alterações de calado devido ao embarque de pequenos pesos no calado

Para se determinar a alteração do calado devido ao embarque de pequenos pesos, será necessário efetuar o cálculo da imersão primeiramente, utilizando o TPC

$$I = \text{imersão paralela (cm)} = \text{peso(t)} / \text{TPC (t/cm)}$$

- a) Calcular o calado médio antes da movimentação

$$H_m = (H_{AV} + H_{AR})/2$$

- b) Nas tabelas hidrostáticas da embarcação, obter os valores de TCP, MTC e de LCF (λ'), entrando com o valor de H_m .

- c) Para facilitar o cálculo, embarca-se o peso na posição do centro de flutuação e calcula-se os calados intermediários, considerando a imersão paralela

$$I = P/TPC$$

$$H_{AVi} = H_{AV} + i$$

$$H_{ARi} = H_{AR} + i$$

- d) Movimenta-se o peso para sua posição final e calcula-se VT.

- e) Calcular VT

- f) Calcular VAV

- g) Calcular VAR

- h) Determinar os calados finais, observando o sentido de rotação do momento trimador:

- a. Peso embarcado a vante do centro de flutuação (H_{AV} aumenta e H_{AR} diminui):

$$H_{AVfinal} = H_{AVi} + VAV$$

$$H_{ARfinal} = H_{ARi} - VAR$$

- b. Peso embarcado a ré do centro de flutuação (H_{AR} aumenta e H_{AV} diminui):

$$H_{AVfinal} = H_{AVi} - VAV$$

$$H_{ARfinal} = H_{ARi} + VAR$$

4.24 Alterações de calado devido ao desembarque de pequenos pesos no calado

- a) Calcular o calado médio antes da movimentação

$$H_m = (H_{AV} + H_{AR})/2$$

- b) Nas tabelas hidrostáticas da embarcação, obter os valores de TCP, MTC e de LCF (λ'), entrando com o valor de H_m .

- c) Movimenta-se o peso para a posição do centro de flutuação e VT

- d) A partir de VT Calcula-se VAR e VAV

- e) Determinar os calados finais, observando o sentido de rotação do momento trimador: Peso a vante do centro de flutuação (movimentação de vante para ré):

$$H_{AVi} = H_{AV} - VAV$$

$$H_{ARi} = H_{AR} + VAR$$

- f) Peso a ré do centro de flutuação (movimentação de ré para vante):

$$HAV_i = HAV + VAV$$

$$HAR_i = HAR - VAR$$

- g) Desembarca-se o peso (na posição do centro de flutuação) e determina-se os novos calados (considerando emersão paralela):

$$HAV_{final} = HAV_i - i$$

$$HAR_{final} = HAR_i - i$$

4.25 Alterações de calado devido ao embarque de peso com a variação do calado em apenas uma das extremidades

Esta alteração ocorre quando, ao embarcar um peso, somente um dos calados é afetado. A esta posição que o peso foi embarcado dá-se o nome de ponto de indiferença longitudinal do calado não afetado.

O ponto de indiferença longitudinal (PIL) do calado a ré pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Distância do PIL ao CF} = d = \frac{MTC \times L_{pp}}{\lambda' \times TPC}$$

O ponto de indiferença longitudinal do calado a vante é calculado da seguinte maneira:

$$\text{Distância do PIL ao CF} = d = \frac{MTC \times L_{pp}}{(L_{pp} - \lambda') \times TPC}$$

4.26 Plano de compasso

É um diagrama confeccionado pelo estaleiro que construiu a embarcação e normalmente, só é feito para embarcações de grande porte, como navios. Conforme afirma o CLC Pereira

[...] Este diagrama será feito para a embarcação flutuando em água salgada de densidade 1,025, terá obrigatoriamente o plano de perfil da embarcação na parte superior e dele constará o peso, em toneladas, para cujo embarque ou desembarque foi calculado (normalmente 100 tons). Ele resolve todo e qualquer problema envolvendo pequenos pesos (até 5% do deslocamento). O diagrama de compasso traz abaixo do perfil do navio várias escalas referentes a distintos calados médios, dando a variação total dos calados em centímetros AV e AR, para o embarque de 100 tons. (Pode-se encontrar a bordo planos para valores diferentes de 100t). Plota-se a posição dos pesos no navio, baixa-se uma perpendicular e encontra-se no calado observado a variação do calado AV e AR, com seus respectivos sinais. Também são fáceis de identificar o ponto F correspondente a determinado calado médio (será onde as variações foram iguais), assim como o ponto de indiferença

longitudinal para uma e outra extremidade do navio (quando a variação do compasso para essa determinada extremidade for zero).
Esse plano leva em consideração tanto a imersão paralela como a variação do compasso. Para desembarque, invertem-se os sinais e para transferências pode-se trabalhar em módulo. (PEREIRA, 2011, p.182)

4.27 Cálculo dos novos calados, após manobras de embarque e desembarque de pesos, usando o plano de compasso

Para que seja possível planejar as operações, principalmente quando houver restrições de profundidade nos rios, canais e entrada de portos, utilizando o plano de compasso é possível calcular os novos calados antes mesmo da operação de carga, descarga ou movimentação de pesos a bordo.

Considerando o plano de compasso do ANEXO B, e adotando que o calado a vante de 4 metros, com o calado a ré de 5 metros. Sabe-se que será embarcado um peso de 120 toneladas na altura da caverna 55. É possível calcular os novos calados e o trim após o embarque do peso. Seguindo os seguintes passos:

- a) Achar o calado médio

$$H_m = (4m + 5m)/2 = 4,5m$$

- b) No plano de compasso, entrando na linha do $H_m = 4,5m$, encontram-se as seguintes variações de calados, para 100 toneladas, na caverna 55:

$$VAV = 5m \text{ e } VAR = 8m$$

Observa-se que as duas variações são positivas, logo os dois calados AV e AR vão aumentar. Isso acontece quando o embarque se processa nas proximidades do meio-navio.

Como as variações mostradas no plano de compasso são para pesos de 100 toneladas será necessário realiza uma regra de três simples, conforme segue:

Variação a vante:

$$100 \text{ t } \text{-----} 5\text{cm}$$

$$120 \text{ t } \text{-----} x$$

$$x = \frac{120 \text{ t } \times 5 \text{ cm}}{100 \text{ t}} = 6 \text{ cm}$$

$$VAV = 6 \text{ cm}$$

Varição a ré:

$$100 \text{ t} \text{ ----- } 8 \text{ cm}$$

$$120 \text{ t} \text{ ----- } x$$

$$x = \frac{120 \text{ t} \times 8 \text{ cm}}{100 \text{ t}} = 9,6 \text{ cm}$$

$$VAV = 9,6 \text{ cm}$$

Somando esses valores aos calados iniciais, obtemos os novos calados:

$$H AV = 4 \text{ m} + 0,06 \text{ m} = 4,06 \text{ m}$$

$$H AR = 5 \text{ m} + 0,09 \text{ m} = 5,09 \text{ m}$$

c) Aplicando a fórmula do trim:

$$t = H AR - H AV = 5,09 \text{ m} - 4,06 \text{ m} = 1,03 \text{ metros}$$

5 CÁLCULOS UTILIZANDO O CADERNO DE ESTABILIDADE

Com o objetivo de aplicar os conceitos até aqui comentados, faremos uso de dados retirados de um caderno de estabilidade real, de uma embarcação chamada BRAM TITAN.

Este caderno, assim como a maioria dos cadernos, tem o objetivo de capacitar o Comandante a determinar a estabilidade para qualquer condição de carregamento. A aplicação reduz ao gráfico dos valores limite de KG (centro de gravidade vertical da embarcação) versus o deslocamento.

Características Principais da Embarcação

Tipo de Embarcação	: Anchor Handle Tug Supply Vessel
Construtor	: Estaleiro Navship LTDA
Ano de Construção	: 2014
Nome Atual	: BRAM TITAN
Número IMO	: -
Comprimento Total	: 96,47 m
Comprimento entre perpendiculares	: 84,80 m
Boca (moldada)	: 26,21 m
Pontal (moldado)	: 9,45 m
Potência instalada	: 27140 HP
Deslocamento Leve	: 7749,64 t
LCG do desloc. leve	: 39,27 m a ré da caverna 0
VCG do desloc. leve	: 10,07 m acima da linha de base
Calado Máximo (linha de carga)	: 7,78 m moldado
Deslocamento na linha de carga	: 12491,75 t

Fonte: CORRÊA, 2015, p. 3.

5.1 Aplicação dos cálculos de estabilidade

- Conforme já foi comentado no capítulo 3, e seguindo instruções do próprio caderno de estabilidade, devemos listar todos os pesos leves e outros pesos com seus centros de gravidade na Tabela de Cálculo. Estes dados podem ser extraídos da tabela de sondagem dos tanques.
- Devemos inserir o máximo efeito de superfície livre para cada tanque não consumível que não esteja totalmente vazio ou 100% cheio na coluna apropriada.
- cada peso é multiplicado pelo LCG para obter o momento longitudinal (coluna Lmom)

- d) Todos os pesos da coluna Pesos são somados para obter: SUM 1. Este é o deslocamento para a condição.
- e) Todos os momentos longitudinais são somados para obtermos o momento logitudinal: SUM 2.
- f) Todos os momentos verticais são somados para obter o momento total vertical: SUM3.
- g) Todo momento da superfície livre é adicionada para obter o momento da superfície livre: SUM 4.
- h) A SUM 3 e SUM 4 são adicionadas e o resultado é dividido pelo deslocamento para obter o KG (corrigido para o efeito de superfície livre) {10}.
- i) A SUM 2 é dividida pelo deslocamento para obter LCG {11}.

5.2 Cálculo do calado de vante e de ré

- a) Através das Curvas Hidrostáticas existente no caderno de estabilidade e com o deslocamento conhecido, encontramos o calado no LCF(2), LCB(3), LCF(4) e MT cm(5)
- b) Calcula-se o trim (12). (O trim será negativo para proa)
- c) Calcula-se o Calado de vante
- d) Calcula-se o calado de meia nau
- e) Calcula-se o calado de ré

Após ter listado todos os pesos, seus respectivos centros de gravidade e efeito de superfícies livres. Procedemos com os cálculos descritos anteriormente, utilizando a Tabela de Cálculos abaixo.

Para o cálculo do KG e LCG (centro de gravidade longitudinal da embarcação) utilizaremos a tabela de cálculo a seguir.

Figura 11 - Tabela de Cálculos de estabilidade

Cálculos						
{1} Deslocamento = (sum1) <input style="width: 50px;" type="text"/> t						
Valores das curvas Hidrostáticas no Deslocamento dado pela (sum 1)	KMT	GMo	{2} Calad no LCF	{3}LCB	{4}LCF	{5}MT1cm
→						
Valores das Característica Principais ou em relação longitudinal a Cav 0			{6} LBP	{7}Marcas Cal.a vante	{8} Meia nau	{9}Marcas Calado ré
			84,80	3,05	39,62	81,08
{10} VCG = (sum3+sum4) / sum1 <input style="width: 50px;" type="text"/> m Acima da BL {11} LCG = sum2 / sum1 <input style="width: 50px;" type="text"/> m da Cav 0 {12} Trim = [(1) x ({11}-{3})] / [{5} x 100] <input style="width: 50px;" type="text"/> m (-Vt, +Ré) {13} Calado na marca Vt = {2} + [(7)-{4}] x {12} / {6} <input style="width: 50px;" type="text"/> m {14} Calado a meia nau = {2} + [(8)-{4}] x {12} / {6} <input style="width: 50px;" type="text"/> m {15} Calado na marca de ré = {2} + [(9)-{4}] x {12} / {6} <input style="width: 50px;" type="text"/> m						

Fonte: CORRÊA, 2015, p. 24

Faremos agora um exemplo para mostrar o que foi comentado.

Após relacionar todos os pesos como instruído pelo caderno de estabilidade, levando em consideração os centros de gravidade transversais e longitudinais, assim como os efeitos das superfícies livre. Utilizaremos nesse exemplo os ANEXO D, ANEXO E e ANEXO F.

Conforme o cabeçalho no início do ANEXO D, todos os pesos são multiplicados pelos seus respectivos centros de gravidade longitudinal, dando como resultado o momento longitudinal Lmom. A soma de todos esses momentos será SUM2.

Da mesma forma é efetuada a multiplicação dos pesos pelos respectivos centros de gravidade vertical, dando como resultado o momento vertical Vmom. A soma de todos esses momentos será SUM3

Para preenchimento da tabela de cálculo, teremos que fazer interpolações com base na tabela de dados hidrostáticos contidas no caderno de estabilidade.

Interpolação de KMT

Calado na Linha de Base
Sem Trim, Sem banda, VCG = 0,000

Calado no LCF (m)	Desloc (MT)	LCB (m)	VCB (m)	LCF (m)	TPcm (MT/cm)	MTcm (MT-m /cm)	KML (m)	KMT (m)	Volume (m3)	BM (m)
6,400	9.671,36	41,140a	3,471	48,305a	19,904	127,461	111,760	13,176	9.435,47	9,705
6,500	9.871,06	41,287a	3,531	48,532a	20,026	128,759	110,614	13,225	9.630,30	9,694
6,600	10.071,75	41,433a	3,591	48,698a	20,106	129,508	109,041	13,222	9.826,10	9,631
6,700	10.273,14	41,577a	3,651	48,838a	20,170	130,089	107,383	13,198	10.022,58	9,547
6,800	10.475,08	41,718a	3,711	48,966a	20,219	130,457	105,611	13,158	10.219,59	9,447

Fonte: CORRÊA, 2015, p. 6.

$$\frac{9904,12 - 9871,06}{KMT - 13,225} = \frac{10071,75 - 9871,06}{13,222 - 13,225}$$

$$\frac{33,06}{KMT - 13,225} = \frac{200,69}{13,222 - 13,225}$$

$$\frac{33,06}{KMT - 13,225} = \frac{200,69}{-0,003}$$

$$200,69KMT - 2654,125 = -0,0992$$

$$200,69KMT = 2654,125 - 0,0992$$

$$200,69KMT = 2654,026$$

$$KMT = \frac{2654,026}{200,69}$$

$$KMT = 13,224 \text{ m}$$

Efetuando o arredondamento temos:

$$KMT = 13,22 \text{ m}$$

O mesmo raciocínio deve ser utilizado para as demais interpolações conforme segue:

Interpolação do calado no LCF (y)

$$\frac{9904,12 - 9871,06}{y - 6,5} = \frac{10071,75 - 9871,06}{6,6 - 6,5}$$

$$\frac{33,06}{y - 6,5} = \frac{200,69}{0,1}$$

$$200,69y - 1304,485 = 3,306$$

$$200,69y = 3,306 + 1304,485$$

$$200,69y = 1307,791$$

$$y = \frac{1307,791}{200,69}$$

$$y = 6,516$$

Efetuando o arredondamento temos:

$$y = 6,52 \text{ m}$$

Interpolação do LCB

$$\frac{9904,12 - 9871,06}{LCB - 41,287} = \frac{10071,75 - 9871,06}{41,433 - 41,287}$$

$$\frac{33,06}{LCB - 41,287} = \frac{200,69}{0,146}$$

$$200,69LCB - 8285,888 = 4.82676$$

$$200,69LCB = 4.82676 + 8285,888$$

$$200,69LCB = 8290,71476$$

$$LCB = \frac{8290,71476}{200,69}$$

$$LCB = 41,311$$

Efetuando o arredondamento temos:

$$LCB = 41,31 \text{ m}$$

Interpolação do LCF

$$\frac{9904,12 - 9871,06}{LCF - 48,532} = \frac{10071,75 - 9871,06}{48,698 - 48,532}$$

$$\frac{33,06}{LCF - 48,532} = \frac{200,69}{0,166}$$

$$200,69LCF - 9739,887 = 5,48796$$

$$200,69LCF = 5,48796 + 9739,887$$

$$200,69LCF = 9745,37496$$

$$LCF = \frac{9745,37496}{200,69}$$

$$LCF = 48,559$$

Efetuando o arredondamento temos:

$$LCF = 48,56 \text{ m}$$

Interpolação do MTC

$$\frac{9904,12 - 9871,06}{MTC - 128,759} = \frac{10071,75 - 9871,06}{129,508 - 128,759}$$

$$\frac{33,06}{MTC - 128,759} = \frac{200,69}{0,749}$$

$$200,69MTC - 25840,64371 = 24,76194$$

$$200,69MTC = 24,76194 + 25840,64371$$

$$200,69MTC = 25865,40565$$

$$MTC = \frac{25865,40565}{200,69}$$

$$MTC = 128,882$$

Efetuando o arredondamento temos:

$$MTC = 128,88$$

Para encontrarmos o KG, que no caderno de estabilidade é dado por VCG, efetuamos a soma entre os valores de SUM 3 e SUM 4, e o resultado dividimos pelo deslocamento para obter o KG corrigido para o efeito de superfície livre{10}.

$$KG = \frac{(\text{SUM 3} + \text{SUM 4})}{\text{SUM 1}}$$

$$KG = \frac{(95159,57 + 962,60)}{9904,12}$$

$$KG = \frac{(96122,17)}{9904,12}$$

$$KG = 9.705 \text{ m}$$

Efetuating o arredondamento temos:

$$KG = 9,70 \text{ m}$$

Para calcularmos o G_{Mo} temos que:

$$KMT = KG + G_{Mo}$$

$$\text{Então } G_{Mo} = KMT - KG$$

$$G_{Mo} = 13,22 - 9,70$$

$$G_{Mo} = 3.52 \text{ m}$$

Temos ainda que:

$$LCG = \frac{\text{SUM 2}}{\text{SUM 1}}$$

$$LCG = \frac{410120,43}{9904,12}$$

$$LCG = 41,409$$

Efetuating o arredondamento temos:

$$LCG = 41,41 \text{ m}$$

Para efetuar o cálculo do Trim temos que:

$$\text{Trim} = \frac{\text{SUM 1} \times (LCG - LCB)}{\text{MTC} \times 100}$$

$$\text{Trim} = \frac{\text{SUM 1} \times (LCG - LCB)}{\text{MTC} \times 100}$$

$$\text{Trim} = \frac{9904,12 \times (41,41 - 41,31)}{128,88 \times 100}$$

$$\text{Trim} = \frac{9904,12 \times 0,1}{12888}$$

$$\text{Trim} = 0,0768$$

efetuating o arredondamento temos que:

$$\text{Trim} = 0,08 \text{ m}$$

Para calcularmos os calados, temos o seguinte:

Calado a vante:

{13} Calado na marca $V_t = \{2\} + [(\{7\} - \{4\}) \times \{12\} / \{6\}]$

$$V_t = \text{Calado no LCF} + \frac{(\text{Marcas Cal. a vante} - \text{LCF}) \times \text{Trim}}{\text{LBP}}$$

$$V_t = 6,52 + \frac{(3,05 - 48,56) \times 0,08}{84,80}$$

$$V_t = 6,52 + \frac{(3,05 - 48,56) \times 0,08}{84,80}$$

$$V_t = 6,52 + \frac{(-45,51) \times 0,08}{84,80}$$

$$V_t = 6,52 + \frac{(-3,6408)}{84,80}$$

$$V_t = 6,52 + \frac{(-3,6408)}{84,80}$$

$$V_t = 6,52 - 0,04$$

$$V_t = 6,48 \text{ m}$$

Calado a meia nau:

{14} Calado a meia nau = $\{2\} + [(\{8\} - \{4\}) \times \{12\} / \{6\}]$

$$\text{Calado a meia nau} = \text{Calado no LCF} + \frac{(\text{Meia nau} - \text{LCF}) \times \text{Trim}}{\text{LBP}}$$

$$\text{Calado a meia nau} = 6,52 + \frac{(39,62 - 48,56) \times 0,08}{84,80}$$

$$\text{Calado a meia nau} = 6,52 + \frac{(-8,94) \times 0,08}{84,80}$$

$$\text{Calado a meia nau} = 6,52 + \frac{(-0,7152)}{84,80}$$

$$\text{Calado a meia nau} = 6,52 - 0,01$$

Calado a meia nau = 6,51 m

Calado na marca de ré:

$$\{14\} \text{ Calado na marca de ré} = \{2\} + [(\{9\} - \{4\}) \times \{12\} / \{6\}]$$

$$\text{Calado na marca de ré} = \text{Calado no LCF} + \frac{(\text{Marcas Calado ré} - \text{LCF}) \times \text{Trim}}{\text{LBP}}$$

$$\text{Calado na marca de ré} = 6,52 + \frac{(81,08 - 48,56) \times 0,08}{84,80}$$

$$\text{Calado na marca de ré} = 6,52 + \frac{32,52 \times 0,08}{84,80}$$

$$\text{Calado na marca de ré} = 6,52 + \frac{2,6016}{84,80}$$

$$\text{Calado na marca de ré} = 6,52 + 0,03$$

$$\text{Calado na marca de ré} = 6,55 \text{ m}$$

Cálculos

$$\{1\} \text{ Deslocamento} = (\text{SUM 1}) \quad \boxed{9904,12} \text{ t}$$

Valores das curvas hidrostáticas no Deslocamento dado pela (SUM 1)	KMT	Gmo	{2} Calado no LCF	{3} LCB	{4} LCF	{5} MT1cm
	13,22	3,52	6,52	41,31	48,56	128,88

Valores das Características Principais ou em relação longitudinal a Cav 0	{6} LBP	{7} Marcas Cal.a vante	{8} Meia nau	{9} Marcas Cal.a ré
	84,80	3,05	39,62	81,08

$$\{10\} \text{ VCG} = (\text{SUM 3} + \text{SUM 4}) / \text{SUM 1}$$

$$\{11\} \text{ LCG} = \text{SUM 2} / \text{SUM 1}$$

$$\{12\} \text{ Trim} = [\{1\} \times (\{11\} - \{3\})] / [\{5\} \times 100]$$

$$\{13\} \text{ Calado na marca Vt} = \{2\} + [(\{7\} - \{4\}) \times \{12\} / \{6\}]$$

$$\{14\} \text{ Calado a meia nau} = \{2\} + [(\{8\} - \{4\}) \times \{12\} / \{6\}]$$

$$\{15\} \text{ Calado na marca de ré} = \{2\} + [(\{9\} - \{4\}) \times \{12\} / \{6\}]$$

9,7	m Acima da BL
41,41	m da Cav 0
0,08	m (-Vt, +Ré)
6,48	m
6,51	m
6,55	m

Fonte: CORRÊA, 2015, p. 29.

Ao marcarmos no gráfico de CURVA DE DESLOCAMENTO x KG MÁXIMO ADMISSÍVEL (ANEXO G), uma vertical no ponto referente ao deslocamento e cruzarmos

com outra linha no sentido horizontal referente ao KG calculado, obtemos a informação se o carregamento é seguro ou não.

Caso o cruzamento entre as duas linhas esteja abaixo da curva, então existe condição aceitável de estabilidade, conforme podemos observar no ANEXO C.

A IMO (Organização Marítima Internacional) estabelece os padrões mínimos de segurança cujo cumprimento é responsabilidade dos países membros (Governos).

Como o nível uniforme de segurança nem sempre é possível ou prático de ser alcançado, critérios especiais para determinados tipos de navios foram adotados.

O quadro 1 abaixo, relaciona os padrões mínimos de segurança IMO para navios offshore, conforme RESOLUÇÃO MSC.267(85) adotada em 4 de Dezembro de 2008.

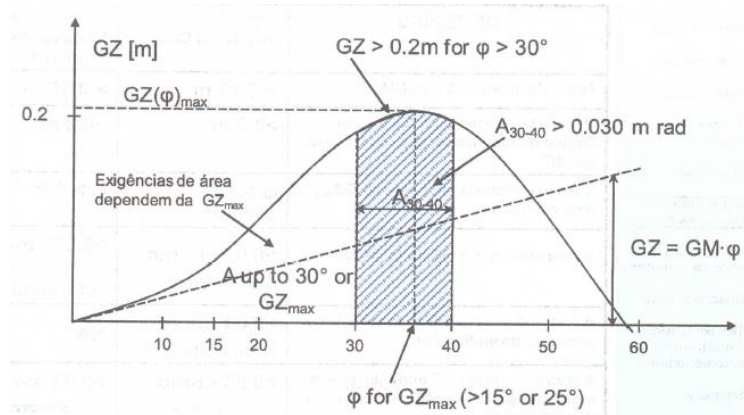
Quadro 1 – Critérios mínimos de segurança para navios offshore, conforme resolução IMO MSC.206(85)

CRITÉRIOS	Cap. 3.1, Requisitos Gerais	Cap. 4.6, Requisitos para Navios de Suprimento Offshore (L<100 m)
Altura Metacêntrica Inicial GM_0	> 0.15 m	> 0.15 m
O braço de adriçamento GZ em um ângulo de inclinação igual ou maior do que 30°	>0.2 m	>0.2 m
O braço máximo de adriçamento GZ_{max} deve ocorrer a	$\varphi > 25^\circ$ (preferivelmente 30°)	$\varphi > 15^\circ$
A área sob a curva GZ up to $\varphi=30^\circ$	>0.055 m-rad (3.151 m-graus)	>0.055 m-rad, se GZ_{max} ocorre a 30° ou acima (3.151 m-graus)
A área sob a curva GZ up to $\varphi=40^\circ$ ou o ângulo de down-flooding	>0.09 m-rad (5.157 m-graus)	NA
A área sob a curva GZ entre ângulos de inclinação $\varphi=30^\circ$ e $\varphi=40^\circ$ ou o ângulo de down-flooding	>0.03 m-rad (1.719 m-graus)	>0.03 m-rad (1.719 m-graus)
A área sob a curva GZ up to $\varphi=15^\circ$ (quando GZ_{max} ocorre a 15°)	NA	0.070 m-rad (4.011 m-graus)
A área sob a curva GZ up to the GZ_{max} ângulo (quando GZ_{max} ocorre entre 15° e 30°)	NA	$0.055+0.001 \times (30^\circ - \varphi_{max})$ m-rad

Fonte: Código IS de 2008, p. 29.

Neste sentido é possível observar estas condições no gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1- Representação dos critérios mínimos de segurança

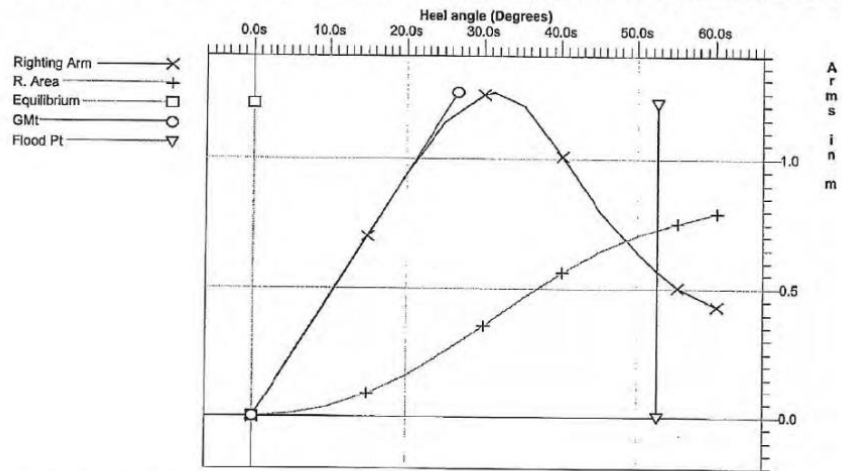


Fonte: Código IS de 2008, p. 13.

Podemos observar esses critérios em um exemplo de carregamento contido no caderno de estabilidade da embarcação BRAM TITAN com 10% de consumíveis na chegada, conforme gráfico abaixo:

Gráfico 2 – Carregamento BRAM TITAN com 10% de consumíveis.

Righting Arms vs. Heel - MAX KG AS PER 2008 IS CODE 2.4.5; INTACT STABILITY CRITERIA



CRITÉRIO DE ESTABILIDADE CONFORME IMO 2008 IS CODE 2.4.5 ESTABILIDADE INTACTA

Limite	Min/Max	Actual	Margem	Passa
(1) Area sob a curva, de 0° a 15°	>0.0700 m-R	0.359	0.337	Sim
(2) Area sob a curva, de 0° a 30°	>0.0550 m-R	0.359	0.304	Sim
(3) Area sob a curva, de 30° a 40° ou ang de alagam	>0.0300 m-R	0.206	0.176	Sim
(4) Braço de endireit a 30°	>0.200 m	1.247	1.047	Sim
(5) Ângulo no máx braço de endireitam	>15.00 deg	31.31	16.31	Sim
(6) GM no equilíbrio	>0.150 m	2.695	2.545	Sim

Fonte: CORRÊA, 2015, p. 40.


6 CÁLCULOS UTILIZANDO O SOFTWARE DE ESTABILIDADE

6.1 Características da embarcação AHTS modelo UT722L

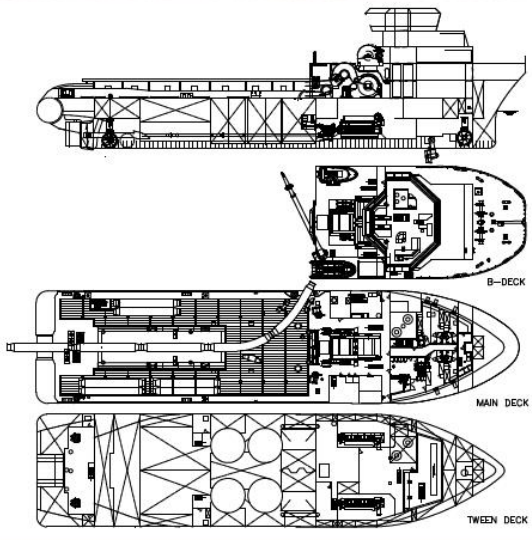
As características abordadas neste capítulo se referem à embarcação AHTS Haroldo Ramos, de propriedade da empresa Bourbon Offshore Marítima S/A.

B

HAROLDO RAMOS
 DP 1 Anchor handling and oil spill response vessel
 130 Metric ton bollard pull
 300 Metric ton line pull winch



This UT 722L Anchor-handling and oil spill response vessel has been designed by Rolls Royce Marine. The vessel is fitted with oil recovered storage capacities, equipment (Transrec and boom) and a class DP 1 system. She is equipped for deep-water anchor-handling and towing with 2 drums as main winches and 2 drums as secondary winches.



ANCHOR HANDLING TUG SUPPLY VESSEL

REGISTRATION

<p>Vessel Name: HAROLDO RAMOS Type: DP1, UT 722L - (Petrobras AHTS 10000 TO). Year: 2004 / Flag: Brazilian Owner: Bourbon Offshore Maritima</p>	<p>Builder: FELS SETAL (BRAZIL). Class: BV. Class 1, Ⓢ Hull, Ⓢ Mach, Supply Vessel, Oil recovery ship, Anchor Handling Tug, Oil product, Unrestricted navigation, AUT-UMS, Ⓢ MON-SHAFT, Ⓢ DYNAPOS.</p>
---	--



TECHNICAL SPECIFICATIONS

AHTS - HAROLDO RAMOS.



• MAIN PARTICULARS

<u>DIMENSIONS</u>		<u>DELIVERY RATES</u>	
Length overall:	77.50 m	Fuel oil:	250 m ³ /h at 9.3 bars
Breadth moulded:	18.00 m	Ballast/ Drill water:	250 m ³ /h at 9.3 bars
Depth:	8.00 m	Fresh water:	100 m ³ /h at 9 bars
Draft:	6.60 m	Oil recovery :	250 m ³ /h at 9.3 bars
Deadweight:	2,480 t		
Bollard pull: (continuous).....	130 t		
Gross tonnage:	3,254		
<u>CAPACITIES</u>		<u>ACCOMMODATIONS</u>	
Deck area: (5.0 t/m ²).....	(15.20 x 40.50 m) 615 m ²	Accommodations for:	30 pers
Deck cargo:	800 t	Single cabins:	6
Cargo chain lockers: (comprising 2 of square lockers).....	350 m ³	2 man cabins:	12
Fuel oil :	1,050 m ³	Hospital:	1
Oil recovery:	1,100 m ³	1 mess room, 2 day rooms, laundry, galley, provision room,	
Fresh water:	930 m ³	stores, drying room, 2 offices, change room.	

• MACHINERY / PERFORMANCE

<u>PROPULSION - MACHINERY</u>		<u>PERFORMANCE</u>	
Main engines:	2 x 4,500 kW	Trial speed at 4.25m draft (100% MCR):	15 knots
Reduction:	2 gear boxes, 750/160 rpm, 2 PTO	Economic speed:	10 to 13 knots
Main propellers:	2 CCP type		
Bow tunnel thruster:	1 x 883 kW		
Bow azimuth thruster:	1 x 883 kW		
Stern tunnel thruster:	1 x 883 kW		
Rudders:	2 independent flap rudders		
Shaft generators:	2 x 2,800 kVA		
Auxiliary generators:	2 x 390 kVA		
Emergency generator:	1x 106 kVA		

• EQUIPMENT & ELECTRONICS

<u>DECK EQUIPMENT</u>		<u>ELECTRONICS</u>	
Main winch: 1 waterfall type Brattvaag BSL 300W/SL 300W, low pressure hydraulic with 2 drums, each specified as follows:		<u>NAVIGATION</u>	
- Drums:	1.50 m diam. x 2.70 m length	2 radars,	
- Wire capacity:	2,950 m of 3"	1 gyrocompass system with repeaters,	
- Wilcats:	up of 70, 76, 84, and 100 mm	1 echo sounder,	
- Dynamic braking on first layer:	370 t SWL	1 speed log,	
- Hoisting on first layer:	300 t at 0-9.9 m/min.	1 autopilot with forward thrusters control,	
	81 t at 0-31.1 m/min.	1 GPS,	
		1 DGPS (to DP application),	
Secondary winch: 1 Brattvaag ALM 63050U with 2 drums, each specified as follows:		<u>COMMUNICATION</u>	
- Drums:	1.50 m diam. x 2.00 m length	1 radio system compliant with GMDSS A3 rules,	
- Wire capacity:	3,500 m of 3"	1 Inmarsat C, 1 mini M, 1 Vsat,	
- Dynamic braking on first layer:	60 t SWL	1 weather fax,	
- Hoisting on first layer:	50 t at 0-14 m/min.	Globalstar communication system (data/e-mail/voice),	
Windlass:	x1	<u>DYNAMIC POSITIONING SYSTEM</u>	
Tugger winches:	2x 15 t at 0-21 m/min.	1 DP system (class 1) comprising:	
Capstans:	2x 11 t at 0-17 m/min.	- 1 operator panel, 1 computer, 1 printer,	
Stern roller:	4.00 diam. x 4.00 length, 350 t SWL	- 1 gyro compass, 1 wind sensor, 1 additional gyro compass,	
Deck-provision hydraulic crane:	5 t at 16 m	- 1 motion reference sensor,	
Stabilizing equipment:	Passive Roll Reduction System	- 1 DGNSS (combined GLONASS and DGPS), 1 FANBEAM, 1 UPS	
		1 Joystick system comprising:	
		- 1 control panel, 1 portable control panel, 1 micro computer.	
		<u>ALARM & MONITORING SYSTEM</u>	
		1 UMAS V system control: Main engines, propellers system,	
		- bilge system, cooling system, fuel system.	
<u>SAFETY EQUIPMENT</u>			
Life boat:	1 MOB boat with davit, life rafts with equipment		
<u>SPECIAL EQUIPMENT</u>			
1 Work/service boat:	2 metric ton bollard pull		
1 Transrec 250 c/w, boom and skimmer.			
1 Uniboom inflatable oil boom on drum:	400 m length		

All particulars believed to be correct but not guaranteed

Bourbon Offshore - 148, rue Sainte - 13007 Marseille - France
Internet: www.bourbon-online.com - E-mail: bourbon-offshore@bourbon-online.com

O Programa utilizado para os cálculos de estabilidade a bordo desta embarcação é o *AutoLoad*, Versão 6.0, o qual utilizaremos para mostrar, de forma mais didática os conceitos até aqui repassados.

Nestes dois casos, mostramos os dados obtidos do caderno de estabilidade e do programa *autoload* com a embarcação em deslocamento leve para L1, ou seja, sem carga a bordo e com o deslocamento em lastro para L2, ou seja, com as quantidades de óleo combustível, óleo lubrificante, água de lastro, aguada, rancho e pessoal necessário para operação.

L1 LIGHTSHIP	Stability booklet	Autoload
Draft AP, MS, FP	3.03,3.72,4.41	2.972, 3.699, 4.425
Displacement	2896.2	2896.2
Heel	8.4s	stbd 6.80 deg.
Trim/Lpp	1.39f	fwd 1.443/66.400
VCG	7.84	7.842
KM	8.84	8.956
GM	1.00	1.122

Onde:

Draft AP = 3.03 é o calado a ré

Draft MS = 3.72 é o calado médio

Draft FP = 4.41 é o calado a vante

Displacement = 2896.2 é o deslocamento, que nesse caso é o deslocamento leve.

Heel = 8.4s é o ângulo de banda, e nesse caso “s” quer dizer que é boreste. Ou seja 8.4° para boreste.

Trim/Lpp = 1.39f é o trim, nesse caso “f” quer dizer que a embarcação está embicada.

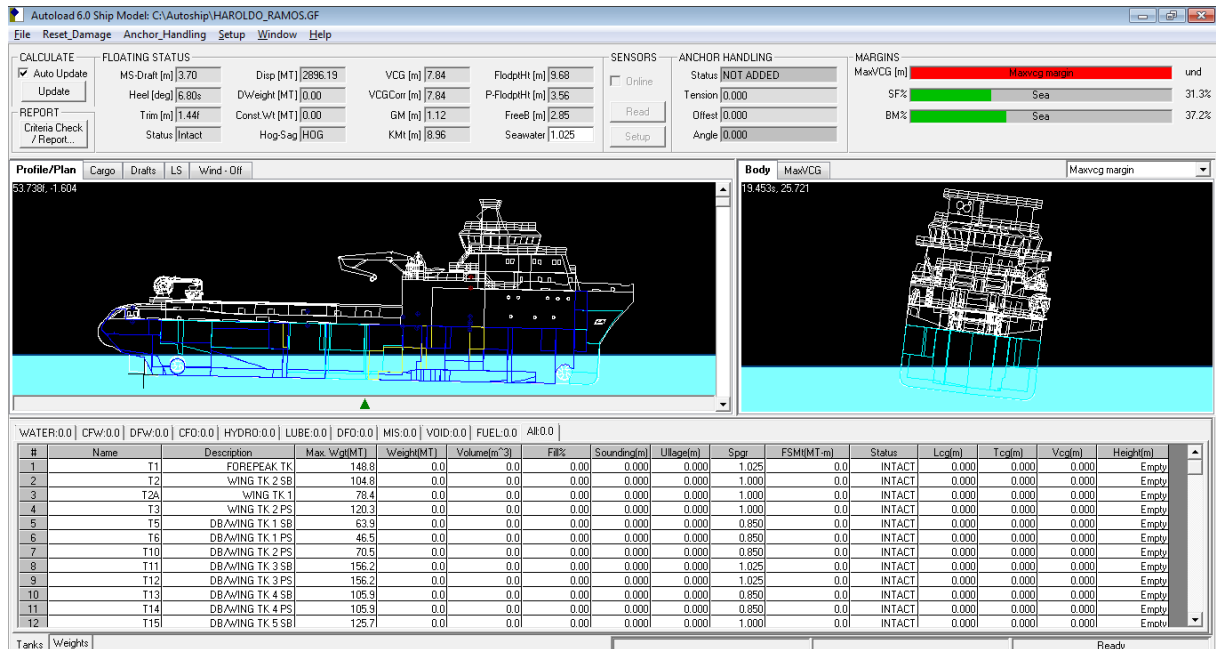
VCG = 7.84 é a cota do centro de gravidade

KM = 8.84 é a cota do metacentro

GM = 1.00

Dados retirados do *software autoload* para a condição L1

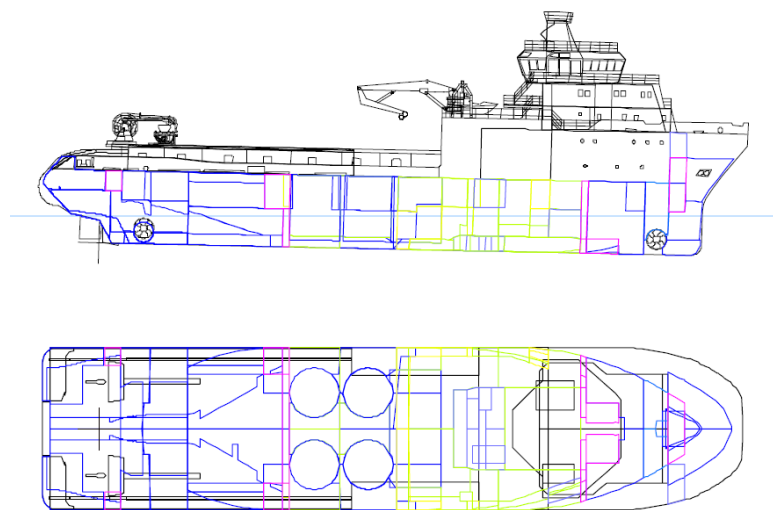
Figura 12 – *Print screen, autoload* condição L1



Fonte: *Software autoload*.

Nesta situação podemos observar que todos os tanques estão vazios e foi considerada que o meio onde a embarcação está flutuando é a água do mar com o valor de seu peso específico de 1025 t/m³. Pode-se observar, na figura 12, que o programa, efetua os cálculos imediatamente e mostra os resultados a cada preenchimento efetuado.

Figura 13 – Relatório *autoload* condição dos tanques para L1.



Fonte: *Print screen* do *software autoload* - relatório gerado para a condição L1, pelo programa, chamado de "Floating Status, Loading Condition summary, Intact condition")

Tabela 1 – Lista de pesos para cálculo estabilidade Haroldo Ramos condição L1.

Stability and Strength Margins

Max VCG <und> Bend Mom 37.22% Shear Force 31.29%
WARNING: Ship is outside Maximum allowable VCG curve range

Loading Summary

Item	Load (%)	Weight (MT)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (MT-m)
DECK LOAD		0.0	0.000	0.000	0.000	
CFO (SpGr 0.850)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
CFW (SpGr 1.000)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
DFO (SpGr 0.850)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
DFW (SpGr 1.000)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
FUEL OIL (SpGr 0.900)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
HYDRO OIL (SpGr 0.924)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
LUBE OIL (SpGr 0.924)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
MIS (SpGr 1.000)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
WATER BALLAST (SpGr 1.025)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
LIGHT SHIP		2896.2	35.342f	0.095s	7.842	
DISPLACEMENT		2896.2	35.342f	0.095s	7.842	

Draft At Draft Marks

Aft.P	2.572 (m)	Aft.S	3.874 (m)
Mid.P	2.733 (m)	Mid.S	4.714 (m)
Fore.P	4.384 (m)	Fore.S	4.482 (m)

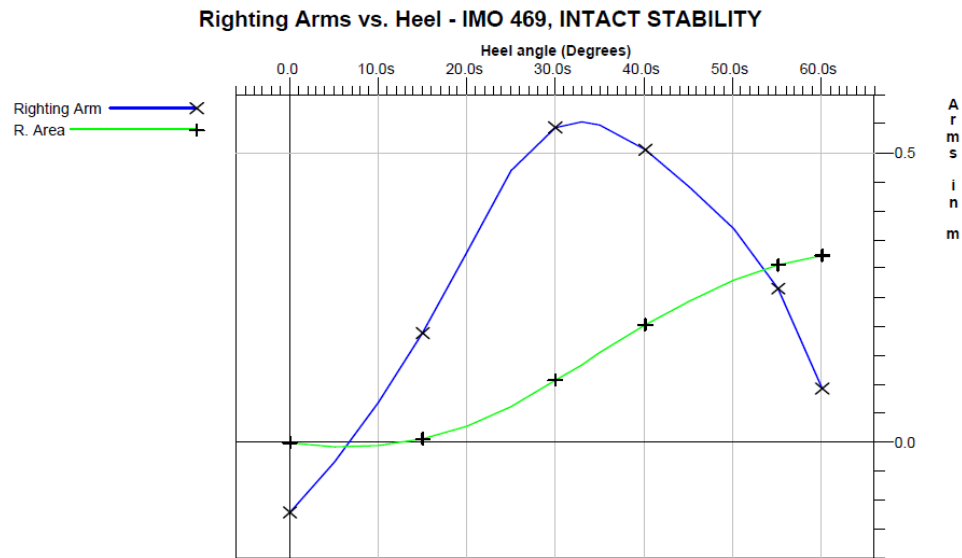
Fonte: Relatório gerado para a condição L1, pelo programa, chamado de “Floating Status, Loading Condition summary, Intact condition”

Onde na Lista de pesos para cálculo estabilidade Haroldo Ramos condição L1 (acima) temos:

- Na coluna weight serão relacionados todos os pesos,
- Na coluna LCG serão relacionados os braços longitudinais,
- Na coluna TCG serão relacionados os braços transversais,
- Na coluna VCG serão relacionados os centros de gravidade, e
- Efeito de superfície livre.

Para esta condição obtemos o gráfico da figura 14 a seguir.

Figura 14 – Gráfico de Estabilidade intacta para a condição L1

**IMO 469, INTACT STABILITY**

Limit	Min/Max	Actual	Pass
(1) Area from 0.00 deg to MaxRA at 15.00	>0.0700 m-R	0.108	Yes
(2) Area from 0.00 deg to MaxRA at 30.00	>0.0550 m-R	0.108	Yes
(3) Area from 0.00 deg to 40.00 or Flood	>0.0900 m-R	0.203	Yes
(4) Area from 30.00 deg to 40.00 or Flood	>0.0300 m-R	0.095	Yes
(5) Righting Arm at 30.00 deg or MaxRA	>0.200 m	0.555	Yes
(6) Absolute Angle at MaxRA	>15.00 deg	32.82	Yes
(7) GM Upright	>0.150 m	0.985	Yes

Fonte: Relatório gerado para a condição L1, pelo programa, chamado de “Floating Status, Loading Condition summary, Intact condition”

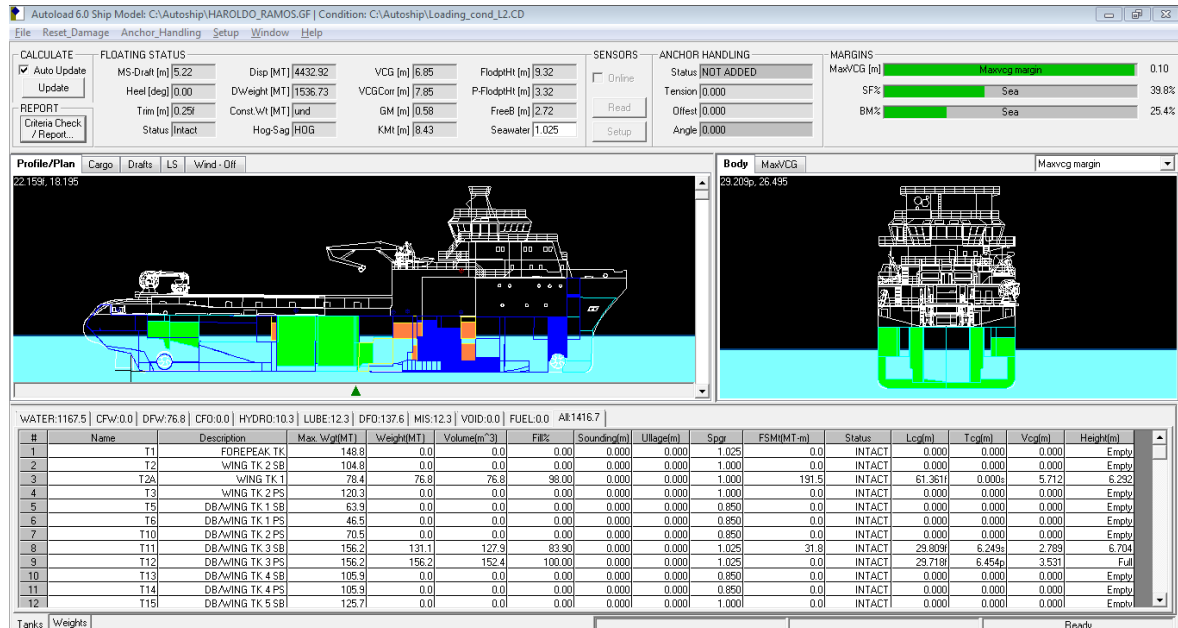
Onde podemos observar que, para este carregamento L1, todos os critérios estabelecidos pela IMO, na resolução MSC.267(85) e comentado anteriormente no cálculo com o caderno de estabilidade, foram aprovados.

Dados retirados do *software autoload* para a condição L2

L2	Stability booklet	Autoload
Draft AP, MS, FP	5.10,5.22,5.34	5.096, 5.222, 5.348
Displacement	4433.1	4432.9
Heel	0	zero
Trim/Lpp	0.24f	fwd 0.252/66.400
VCG	6.85	6.854
KM	8.43	8.426
GM	0.53	0.580

A Primeira observação que podemos fazer é que temos a embarcação praticamente sem banda, ou seja, a embarcação está praticamente em água parelhas.

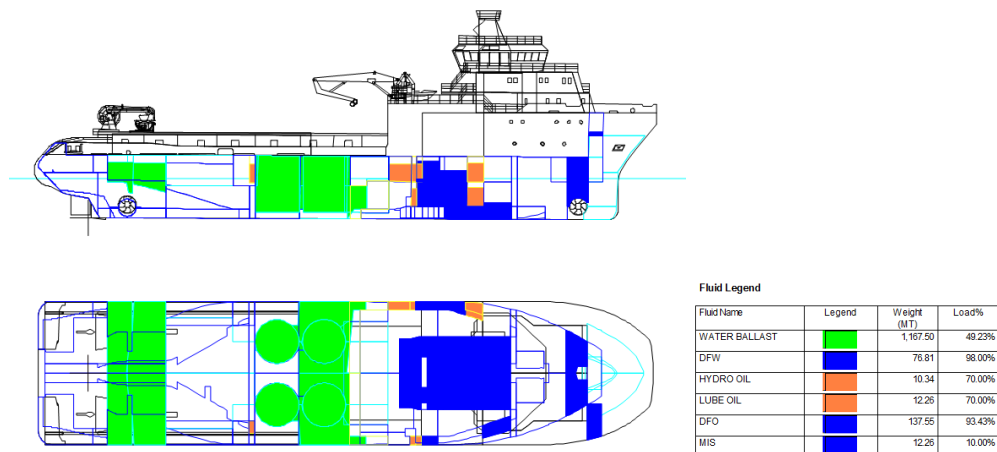
Figura 14 – Print screen, autoload condição L2



Fonte: Relatório gerado para a condição L2, pelo programa, chamado de “Floating Status, Loading Condition summary, Intact condition”)

Percebemos ainda que, ao adicionarmos os pesos como no caso do tanque WING TK1, que é de água doce, e foi inserido o valor de 76,8 t.m. O software imediatamente preenche os espaços referentes aos dados: Volume, inclusive mostrando quanto da capacidade do tanque está ocupada, LCG, TCG e VCG.

Figura 15 – Relatório autoload condição dos tanques para L2



Fonte: *Print screen*, relatório gerado para a condição L2, pelo programa, chamado de “Floating Status, Loading Condition summary, Intact condition”

Tabela 2 – Lista de pesos para cálculo estabilidade Haroldo Ramos condição L2.

Stability and Strength Margins

Max VCG 0.103 m Bend Mom 25.40% Shear Force 39.78%

Loading Summary

Item	Load (%)	Weight (MT)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM (MT-m)
DECK LOAD		0.0	0.000	0.000	0.000	
CFO (SpGr 0.850)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
CFW (SpGr 1.000)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
DFO (SpGr 0.850)	93.43%	137.6	47.653f	0.802p	1.725	451.63
DFW (SpGr 1.000)	98.00%	76.8	61.361f	0.000s	5.712	191.55
FUEL OIL (SpGr 0.900)	0.00%	0.0	0.000	0.000	0.000	0.00
HYDRO OIL (SpGr 0.924)	70.00%	10.3	47.636f	7.910p	4.668	0.78
LUBE OIL (SpGr 0.924)	70.00%	12.3	36.154f	0.360s	5.531	0.58
MIS (SpGr 1.000)	10.00%	12.3	45.980f	1.724s	2.542	164.40
WATER BALLAST (SpGr 1.025)	49.23%	1167.5	22.457f	0.162p	4.651	3,586.74
CREW		5.0	53.200f	0.000	12.999	
PROVISION		5.0	53.200f	0.000	11.000	
STORES		10.0	53.200f	0.000	9.000	
WIRE ON WNICH		100.0	35.000f	0.000	12.100	
DEADWEIGHT		1536.7	28.339f	0.231p	4.993	
LIGHT SHIP		2896.2	35.342f	0.095s	7.842	
DISPLACEMENT		4432.9	32.915f	0.018p	6.854	

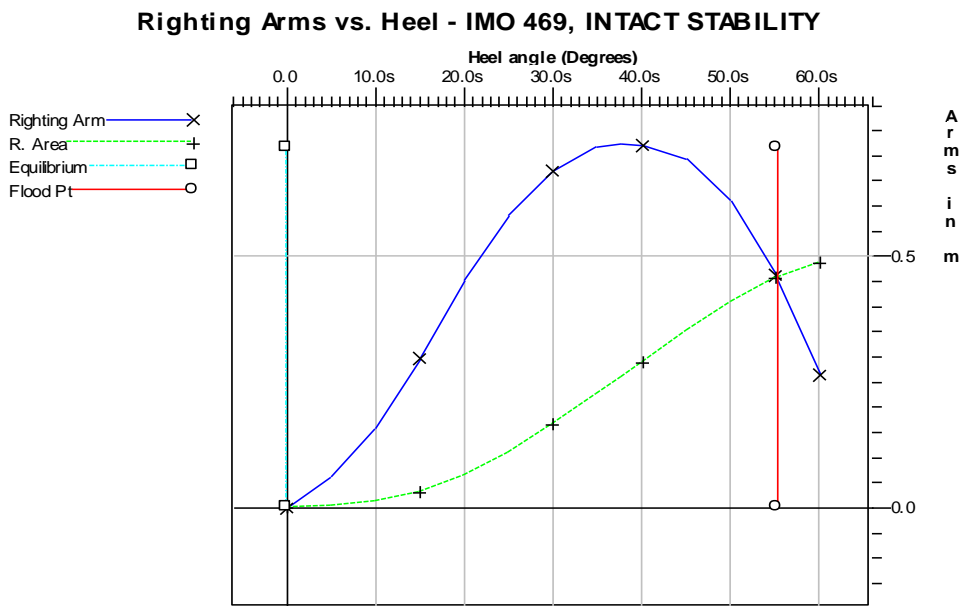
Draft At Draft Marks

Aft.P	5.347 (m)	Aft.S	5.347 (m)
Mid.P	5.233 (m)	Mid.S	5.233 (m)
Fore.P	5.359 (m)	Fore.S	5.359 (m)

Fonte: Relatório gerado para a condição L2, pelo programa, chamado de “Floating Status, Loading Condition summary, Intact condition”)

Para esta condição obtemos a figura 17:

Figura 17 - Gráfico de estabilidade intacta para a condição L2.



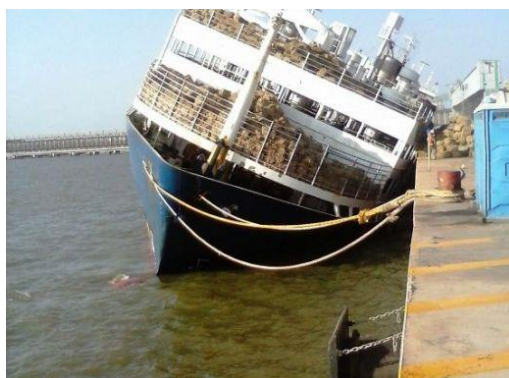
IMO 469, INTACT STABILITY

Limit	Min/Max	Actual	Pass
(1) Area from 0.00 deg to MaxRA at 15.00	>0.0700 m-R	0.165	Yes
(2) Area from 0.00 deg to MaxRA at 30.00	>0.0550 m-R	0.165	Yes
(3) Area from 0.00 deg to 40.00 or Flood	>0.0900 m-R	0.290	Yes
(4) Area from 30.00 deg to 40.00 or Flood	>0.0300 m-R	0.124	Yes
(5) Righting Arm at 30.00 deg or MaxRA	>0.200 m	0.726	Yes
(6) Absolute Angle at MaxRA	>15.00 deg	37.69	Yes
(7) GM Upright	>0.150 m	0.580	Yes

7 INCIDENTE, OCORRIDO RECENTEMENTE NO BRASIL ENVOLVENDO EMBARCAÇÃO

Este ano ocorreu um naufrágio na manhã da terça-feira, dia 6 de outubro, no cais do porto de Vila do Conde, no município de Barcarena, no Estado do Pará, quando o navio estava carregado com cerca de cinco mil bois vivos. O naufrágio aconteceu duas horas depois da embarcação ter tombado. (Portal de notícias Jornal Expresso)

Figura 16 – Navio Haidair⁶



Fonte: g1.globo.com

Segundo a Capitania dos Portos, o naufrágio do navio de nome Haidair foi comunicado por volta das 8h. Uma equipe do Grupo de Vistoria e Inspeção da Capitania foi enviada ao local. De acordo com informações preliminares, não houve vítimas humanas. (Portal de notícias Jornal Expresso)

Figura 17 – Navio Haidair⁷



Fonte: jornaloexpresso.wordpress.com

⁶ Disponível em < <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2015/10/navio-com-carga-de-bois-tomba-no-cais-de-barcarena-no-para.html>>. Acesso em: 17 out. 2015

⁷ Disponível em < <https://jornaloexpresso.wordpress.com/2015/10/06/navio-boiadeiro-naufraga-no-porto-em-barcarena-e-milhares-de-bois-morrem/>> Acesso em: 17 out. 2015

Um Inquérito sobre Acidentes e Fatos da Navegação foi instaurado pela Capitania dos Portos, no intuito de apurar as causas do naufrágio, com prazo de conclusão de 90 dias. (Portal de notícias Jornal Expresso)

Figura 20 – Navio Haidair⁸



Enquanto a Marinha e a Capitania dos Portos juntam documentos no inquérito aberto e começam a ouvir os envolvidos no acidente, para identificar as causas e apontar responsabilidades, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Semas) determinou a interdição do porto de Vila do Conde para movimentação de carga viva, até que a situação seja normalizada. (Portal de Notícias Ver-o-Fato).

⁸ Disponível em <<http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2015/10/policia-ouve-tripulacao-de-navio-que-afundou-com-bois-vivos-em-barcarena.html>>. Acesso em: 17 out. 2015

8 CONCLUSÃO

É indiscutível a importância do estudo da estabilidade em navios para o meio marítimo, seja pelo aspecto de prejuízo financeiro quanto pelo aspecto do prejuízo humano. Porém, durante toda História marítima nunca foi fácil prever a ocorrência de acidentes.

Desta forma, era necessária a ocorrência de um grave acidente na Navegação para que a atenção mundial se voltasse aquele fato e, por fim, cobrasse das autoridades competentes a investigação e análise do ocorrido. Pode soar friamente, mas se aprendeu muito com os estudos desenvolvidos sobre as fatalidades marítimas que ocorreram durante o século XXI.

Os marítimos, estudiosos da navegação, encontraram na matemática uma das maneiras de conhecer o comportamento de seus navios. O Capitalismo, trouxe competitividade e necessidade de rapidez. Assim, os marítimos passaram a prezar pela economia do tempo e o cálculo manual deixou de ser convencional.

Neste trabalho, mostrou-se que os resultados satisfatórios quando comparados aos cálculos manuais. Não obstante, as considerações apresentadas para o cálculo continuaram a fornecer dados apenas aproximados à realidade. Contudo, independente dessa imprecisão, as informações retornadas pelo programa permanecem satisfatórias devido à boa proximidade.

Mostrou-se também que ao embarcarmos ou desembarcarmos pesos a bordo das embarcações citadas provocamos uma alteração na posição do centro de gravidade, e que existem condições seguras, recomendadas pelas autoridades marítimas e organizações internacionais, que devem ser seguidas ao realizar o carregamento ou descarregamento destas embarcações.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, Mauro. **Módulo de Estabilidade – EST 01** – Unidade de Estudo Autônomo. 1 ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas, 2008.
- COELHO, Adilson. **Módulo de Estabilidade – Est** – Unidade de Estudo Autônomo. 2. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas, 2010.
- COMITÊ DE SEGURANÇA MARÍTIMA, RESOLUÇÃO MSC.267(85) - adotada em 4 de Dezembro de 2008. Adoção Do Código Internacional Sobre Estabilidade Intacta, 2008 - Código IS de 2008.
- FONSECA, Maurílio M. **Arte Naval**, V. I, 6. ed. Rio de Janeiro. Serviço de Documentação da Marinha, 2002.
- LOPES, Roberto. **Marinha planeja incorporar seis rebocadores de quase 2.900 tons, o primeiro em 2020**. Disponível em:
<<http://brasilsoberanoelivre.blogspot.com.br/2015/09/marinha-planeja-incorporar-seis.html>>. Acesso em 19 set. 2015.
- MARQUEZ, Eduardo e OLIVEIRA, Marcelo. **Projeto de uma embarcação do tipo AHTS**. Disponível em:
<http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/delano_edumarquez/relat1/delano1.htm> Acesso em 19 set. 2015.
- MENDES, Carlos. **Desastre que resultou na morte de 4.800 bois em Barcarena vai custar R\$ 800 milhões, fora os problemas ambientais**. Portal de notícias Ver-o-Fatto, <http://ver-o-fatto.blogspot.com.br/2015/10/desastre-que-resultou-na-morte-de-4800.html> Acesso em: 17 out. 2015
- Navio com carga de bois tomba no cais de Barcarena, no Pará. Portal de notícias G1 Pará, <http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2015/10/navio-com-carga-de-bois-tomba-no-cais-de-barcarena-no-para.html>
- PEREIRA, Sidnei. **Estabilidade Para Embarcações Mercantes**. 2. ed. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 2011.
- SAMPAIO, Carlos. **Navio boiadeiro naufraga no porto em Barcarena e milhares de bois morrem**. Portal de notícias Jornal Expresso, <<https://jornaloexpresso.wordpress.com/2015/10/06/navio-boiadeiro-naufraga-no-porto-em-barcarena-e-milhares-de-bois-morrem/>> Acesso em: 17 out. 2015
- SANTOS, Fabio e ALMEIDA, Fabio. AHTS - Anchor Handling and Tug Supply. Disponível em:
<http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/Fabio2X/relat1/Index.htm> Acesso em 19 set 2015.
- VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 1998.

ANEXO A

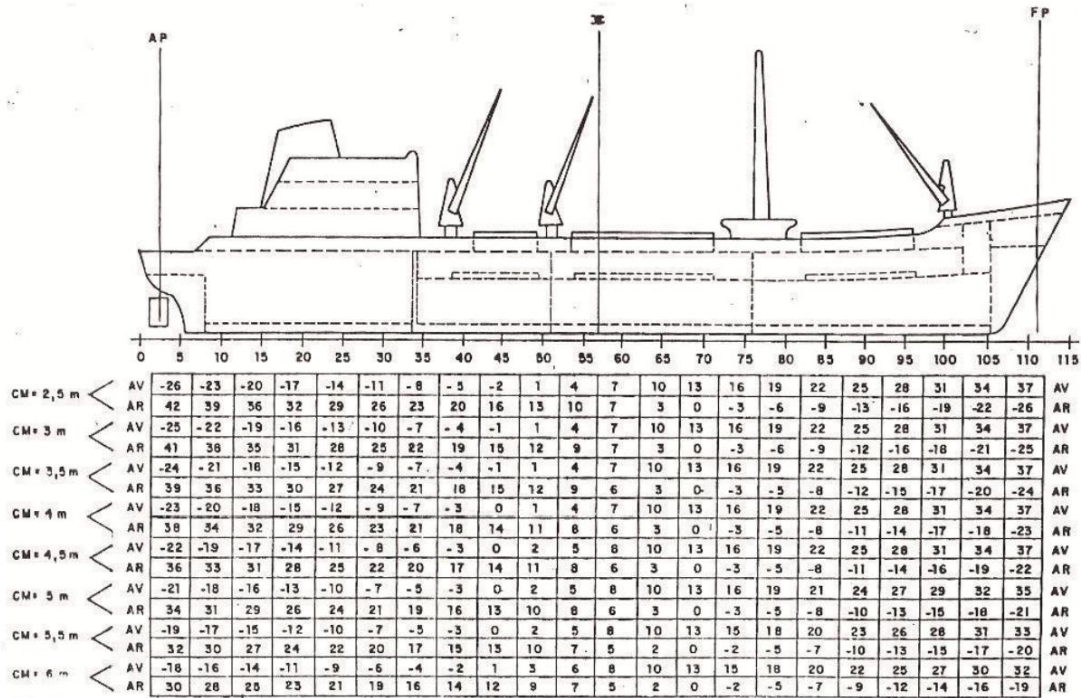
TABELA DE DADOS HIDROSTÁTICOS

<i>dm (m)</i>	Δ (t)	<i>TPC (t)</i>	<i>MCC (t.m)</i>	<i>KM (m)</i>	<i>KB (m)</i>	<i>LCB (m)</i>	<i>LCF (m)</i>
2,00	3695	20,13	127,2	16,72	1,03	71,67	70,73
2,20	4100	20,30	129,6	15,31	1,13	71,57	70,58
2,40	4509	20,44	131,8	14,24	1,24	71,47	70,44
2,60	4919	20,57	133,9	13,39	1,35	71,38	70,29
2,80	5331	20,71	136,0	12,64	1,45	71,29	70,17
3,00	5745	20,83	137,9	12,06	1,56	71,20	70,04
3,20	6163	20,94	139,8	11,57	1,66	71,12	69,91
3,40	6584	21,06	141,6	11,14	1,76	71,03	69,79
3,60	7005	21,18	143,3	10,77	1,87	70,95	69,67
3,80	7431	21,28	145,0	10,45	1,97	70,88	69,55
4,00	7859	21,39	146,7	10,15	2,07	70,81	69,43
4,20	8288	21,48	148,5	9,90	2,17	70,73	69,31
4,40	8719	21,59	150,3	9,66	2,28	70,65	69,19
4,60	9150	21,69	152,0	9,46	2,38	70,58	69,97
4,80	9586	21,79	153,8	9,28	2,49	70,51	68,95
5,00	10022	21,89	155,6	9,13	2,59	70,44	68,82
5,20	10460	21,99	157,6	8,99	2,70	70,37	68,69
5,40	10903	22,09	159,7	8,87	2,80	70,30	68,56
5,60	11346	22,19	162,0	8,76	2,91	70,23	68,42
5,80	11790	22,29	164,4	8,66	3,02	70,16	68,28
6,00	12235	22,41	167,1	8,60	3,12	70,09	68,11
6,20	12684	22,52	169,9	8,55	3,22	70,02	67,93
6,40	13135	22,64	172,7	8,50	3,33	69,95	67,75
6,60	13590	22,77	175,7	8,47	3,43	69,87	67,53
6,80	14047	22,90	178,7	8,44	3,54	69,79	67,31
7,00	14507	23,03	181,6	8,41	3,65	69,70	67,08
7,20	14968	23,17	184,6	8,40	3,75	69,62	66,86
7,40	15432	23,30	187,6	8,40	3,86	69,53	66,64
7,60	15900	23,43	190,5	8,41	3,97	69,44	66,44
7,80	16369	23,55	193,5	8,42	4,07	69,35	66,25
8,00	16841	23,67	196,4	8,44	4,18	69,27	66,08
8,20	17315	23,78	199,3	8,45	4,29	69,17	65,91
8,40	17794	23,90	202,1	8,46	4,40	69,08	65,76
8,60	18273	24,01	204,9	8,47	4,50	68,99	65,61
8,80	18754	24,12	207,5	8,48	4,61	68,91	65,47
9,00	19238	24,22	210,1	8,51	4,71	68,82	65,34
9,20	19723	24,32	212,6	8,53	4,82	68,73	65,21
9,40	20209	24,43	215,1	8,57	4,93	68,64	65,09
9,60	20700	24,52	217,5	8,62	5,04	68,56	64,96
9,80	21191	24,61	219,9	8,67	5,16	68,47	64,87
10,00	21683	24,70	222,2	8,72	5,27	68,39	64,69

Fonte: COELHO, 2010 (ANEXO 1, p. 119).

ANEXO B

PLANO DE COMPASSO



VARIAÇÃO TOTAL DO CALADO
PARA O EMBARQUE DE 1001.

PLANO DE COMPASSO

Fonte: PEREIRA, p. 246 (ANEXO 5)

ANEXO C

LISTA DE PESOS PARA CÁLCULO DE ESTABILIDADE DO AHTS BRAM TITAN

		NAV 130 CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE						
		Data:			Hora			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>= a x b</i>	<i>c</i>	<i>= a x c</i>		
Item	Peso (t)	LCG (m)	Lmom (t-m)	VCG (m)	Vmom (t-m)	E.S.L. (t-m)		
DESLOCAMENTO LEVE	7749,64	39,27	304289,61	10,07	78038,87			
TRIPULAÇÃO E PERTENCES	5,00	15,24	76,20	18,29	91,45			
PROVISÕES	15,00	15,24	228,60	12,20	183,00			
CABOS NOS GUINCHOS REBOQUE		34,66		12,48				
CABOS NO GUINCHO ESPEC.MANUSEIO		27,68		14,26				
CABOS NOS GUINCHOS SECUNDÁRIOS		36,24		21,90				
CABOS NOS CARRETEIS ARMAZENAM		29,26		22,10				
CARGA NO CONVÉS								
Carga dos Tanques								
Tanque	P.Esp	%	Peso (t)	LCG (m)	Lmom (t-m)	VCG (m)	Vmom (t-m)	E.S.L. (t-m)
Tq. Lastro/Carga Agua Doce:								
Pique Tq Vt Carga AD/lastro -C	1,025							
Estabilização #1 - C	1,025							
Estabilização #2 - C	1,025							
Pique Tq Ré Carga AD/lastro -BB	1,025							
⋮								
Tq. Carga de Agua Doce:								
Carga de Agua Doce #1-BB	1,00							
⋮								
Tanque		%	Peso (t)	LCG (m)	Lmom (t-m)	VCG (m)	Vmom (t-m)	E.S.L. (t-m)
Paióis de Amarras de Plataforma								
Paiol de Amarras da Plataf #1-BB								
Paiol de Amarras da Plataf #1-BE								
Paiol de Amarras da Plataf #2-BB								
Paiol de Amarras da Plataf #2-BE								
Paiol de Amarras da Plataf #3-BB								
Paiol de Amarras da Plataf #3-BE								
Tq. de Resfriamento:								
Tunel do Eixo -BB	1,00							
Tunel do Eixo -BE	1,00							
⋮								
			<i>a</i>	<i>= a x b</i>	<i>= a x c</i>			
Total primeira página								
Total segunda página								
Total terceira página								
Total			sum1	sum2	sum3	sum4		

ANEXO D

LISTA DE PESOS PARA CÁLCULO DE ESTABILIDADE DO AHTS BRAM TITAN

Parte 01

		NAV 130						
		CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE						
		Data:			Hora			
		Linha d'água de Verão						
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>= a x b</i>	<i>c</i>	<i>= a x c</i>			
Item	Peso (t)	LCG (m)	Lmom (t-m)	VCG (m)	Vmom (t-m)	MSL (t-m)		
DESLOCAMENTO LEVE	7749,64	39,27	304289,61	10,07	78038,87			
TRIPULAÇÃO E PERTENCES	5,00	15,24	76,20	18,29	91,45			
PROVISÕES	15,00	15,24	228,60	12,20	183,00			
CARGA NO CONVÉS	1000,00	56,00	56000,00	10,45	10450,00			
Carga dos Tanques								
Tanque	P.Esp	%	Peso (t)	LCG (m)	Lmom (t-m)	VCG (m)	Vmom (t-m)	MSL (t-m)
Tq. Lastro/Carga Agua Doce:								
Pique Tq Vt Carga AD/lastro -C	1,00	0%	0,00	0,20	0,00	3,74	0,00	
Estabilização #1 - C	1,00	0%	0,00		0,00		0,00	
Estabilização #2 - C	1,00	0%	0,00		0,00		0,00	
Pique Tq Ré Carga AD/lastro -BB	1,00	100%	128,82	84,42	10874,98	7,74	996,94	0,00
Pique Tq Ré Carga AD/lastro -BE	1,00	100%	132,94	84,24	11198,87	7,76	1031,22	0,00
Tq. Carga de Agua Doce:								
Carga de Agua Doce #1-BB	1,00	0%	0,00	17,38	0,00	0,70	0,00	
Carga de Agua Doce #1-BE	1,00	0%	0,00	17,47	0,00	0,69	0,00	
Carga de Agua Doce #2-BB	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Doce #2-BE	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Doce #3-C	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Doce #3-BB	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Doce #3-BE	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Doce #4-BB	1,00	0%		53,31	0,00	3,02	0,00	
Carga de Agua Doce #4-BE	1,00	0%		53,31	0,00	3,02	0,00	
Carga de Agua Doce #5-BB	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Doce #5-BE	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Doce #6-BB	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Doce #6-BE	1,00				0,00		0,00	
Tq. Agua Potável:								
Carga de Agua Potável #1-C	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Potável #2-C	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Potável #3-BB	1,00				0,00		0,00	
Carga de Agua Potável #3-BE	1,00				0,00		0,00	
Agua Potável do Navio #1- BB	1,00				0,00		0,00	
Agua Potável do Navio #1- BE	1,00				0,00		0,00	
Agua Potável do Navio #2- BB	1,00	100%	125,11	17,07	2135,63	5,97	747,03	0,00
Agua Potável do Navio #2- BE	1,00	100%	148,33	16,97	2517,16	6,21	920,39	0,00
Agua Potável do Navio #3- BB	1,00				0,00		0,00	
Agua Potável do Navio #3- BE	1,00				0,00		0,00	
Total da página			9304,84		387321,05		92458,90	0,00

Fonte: CORRÊA. 2015, p. 27.

ANEXO E

LISTA DE PESOS PARA CÁLCULO DE ESTABILIDADE DO AHTS BRAM TITAN

Parte 02

Tanque		%	Peso (t)	LCG (m)	Lmom (t-m)	VCG (m)	Vmom (t-m)	MSL (t-m)
Tq. Septicos:								
Agua Servidas #1-BB	1,00	10%	9,30	25,68	238,80	0,08	0,73	203,30
Agua Servidas #1-BE	1,00	10%	9,30	25,70	238,99	0,08	0,73	205,95
Septico -BB	1,025	10%	10,67	25,54	272,51	1,83	19,57	4,15
Septico -BE	1,025	10%	10,67	25,54	272,51	1,83	19,57	4,15
Agua de Limpeza#1-C	1,025	10%	10,42	25,43	264,97	0,06	0,64	485,98
Tq. Óleo Lubrificante:								
Óleo Sujo	0,924	20%	8,44	34,91	294,61	0,14	1,16	36,37
Lub do Hélice BE	0,924	80%	4,40	65,82	289,61	4,26	18,75	0,17
Serviço #1- BB	0,924	80%	2,34	27,73	64,89	3,02	7,06	0,10
Serviço #1- BE	0,924	80%	2,34	27,73	64,89	3,02	7,06	0,10
Serviço #2- BB	0,924	80%	2,45	28,35	69,46	3,02	7,39	0,11
Serviço #2- BE	0,924	80%	2,45	28,35	69,46	3,02	7,39	0,11
Serviço #3- BB	0,924	80%	2,56	28,96	74,14	3,02	7,73	0,13
Serviço #3- BE	0,924	80%	2,56	28,96	74,14	3,02	7,73	0,13
O. Hidráulico Guincho/Molinete	0,924	80%	5,40	29,88	161,35	3,02	16,30	0,30
O.Servo/Guincho- BB	0,924	80%	11,13	31,70	352,82	3,02	33,59	0,65
O.Servo/Guincho- BE	0,924	80%	11,13	31,70	352,82	3,02	33,59	0,65
O. do MCP BB	0,924	80%	5,40	29,88	161,35	3,02	16,30	0,30
Tq. Óleo Combustível:								
Gerador Emerg	0,87			21,94	0,00	11,87	0,00	
Oleo Comb #1-BB	0,87	90%	113,06	44,40	5019,41	4,93	557,84	5,38
Oleo Comb #1-BE	0,87	90%	113,06	44,40	5019,41	4,93	557,84	5,38
Oleo Comb #2-BB	0,87	0%			0,00		0,00	
Oleo Comb #2-BE	0,87	0%			0,00		0,00	
Oleo Comb #3-BB	0,87	0%		61,23	0,00	6,17	0,00	
Oleo Comb #3-BE	0,87	0%		61,23	0,00	6,17	0,00	
Oleo Comb #4-BB	0,87	0%		71,14	0,00	6,57	0,00	
Oleo Comb #4-BE	0,87	0%		71,14	0,00	6,57	0,00	
Oleo Comb -Gerador -BB	0,87	90%	15,57	25,19	392,22	3,22	50,18	0,92
Oleo Comb -Gerador -BE	0,87	90%	15,57	25,19	392,22	3,22	50,18	0,92
Oleo Comb -MCP #1 -BB	0,87	90%	34,73	34,75	1206,76	5,01	173,86	0,92
Oleo Comb -MCP #2 -BB	0,87	90%	26,67	38,03	1014,34	4,82	128,44	0,59
Oleo Comb -MCP #3 -BE	0,87	90%	34,73	34,74	1206,52	5,01	173,86	0,92
Oleo Comb -MCP #4 -BE	0,87	90%	26,67	38,03	1014,34	4,82	128,44	0,59
Transbordam de O. Comb	0,87	0%			0,00		0,00	
Sedimentação O.Comb -BB	0,87	90%	39,39	28,33	1115,92	7,27	286,33	1,75
Sedimentação O.Comb -BE	0,87	90%	39,39	28,33	1115,92	7,27	286,33	1,75
Tqs. Óleo Hidráulico								
Swing Down -BB	0,924	80%	4,4	65,82	289,61	4,26	18,75	0,17
Óleo do leme -BB	0,924	80%	3,05	77,41	236,10	8,10	24,70	0,33
Óleo Shark Jaw/Tow Pin	0,924	80%	3,05	78,63	239,82	8,10	24,70	0,33
Paióis de Amarras de Plataforma								
Paiol de Amarras da Plataf #1-BB		0%			0,00		0,00	
Paiol de Amarras da Plataf #1-BE		0%			0,00		0,00	
Paiol de Amarras da Plataf #2-BB		0%			0,00		0,00	
Paiol de Amarras da Plataf #2-BE		0%			0,00		0,00	
Paiol de Amarras da Plataf #3-BB		0%			0,00		0,00	
Paiol de Amarras da Plataf #3-BE		0%			0,00		0,00	
Total da página			580,30		21579,91		2666,74	962,60

Fonte: CORRÊA, 2015, p. 28.

ANEXO F

LISTA DE PESOS PARA CÁLCULO DE ESTABILIDADE DO AHTS BRAM TITAN

Parte 03

Tanque		%	Peso	LCG	Lmom	VCG	Vmom	MSL
			(t)	(m)	(t-m)	(m)	(t-m)	(t-m)
Tq. de Resfriamento:								
Tunel do Eixo -BB	1,00	100%	9,49	64,25	609,73	1,79	16,97	0,00
Tunel do Eixo -BE	1,00	100%	9,49	64,25	609,73	1,79	16,97	0,00

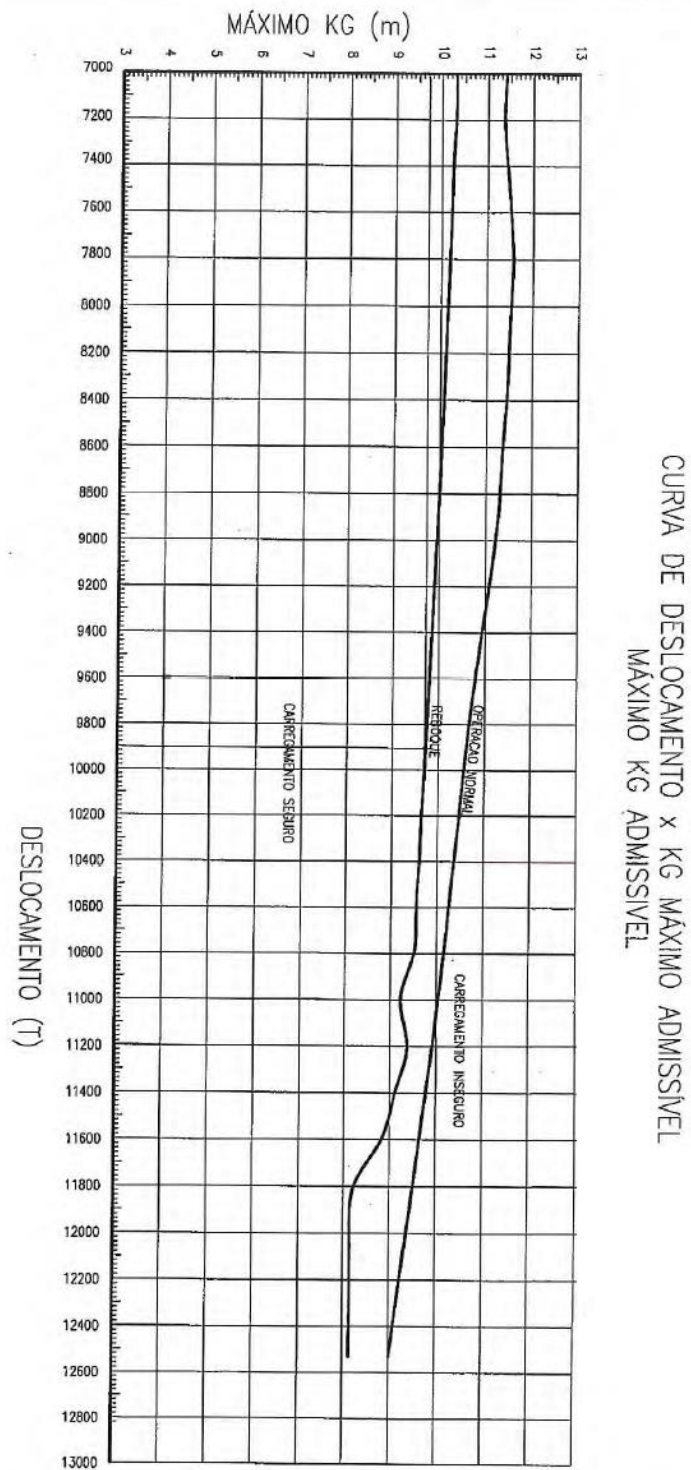
			<i>a</i>	<i>= a x b</i>	<i>= a x c</i>		
			Peso	Lmom	Vmom	MSL	
Total primeira página			9304,84	387321,05	92458,90	0,00	
Total segunda página			580,30	21579,91	2666,74	962,60	
Total terceira página			18,98	1219,47	33,94	0,00	

Total			9904,12	410120,43	95159,57	962,60	
			sum1	sum2	sum3	sum4	

Fonte: CORRÊA, 2015, p. 29.

ANEXO G

**CURVA DE DESLOCAMENTO X KG MÁXIMO ADMISSÍVEL DO AHTS BRAM
TITAN**



Fonte: CORRÊA, 2015, p. 30.

ANEXO H

PROPRIEDADE HIDROSTÁTICAS DO AHTS BRAM TITAN

Propriedades Hidrostáticas

NAV 129/130

Calado na Linha de Base

Sem Trim, Sem banda, VCG = 0,000

Calado no LCF (m)	Desloc (MT)	LCB (m)	VCB (m)	LCF (m)	TPcm (MT/cm)	MTcm (MT-m/cm)	KML (m)	KMT (m)	Volume (m3)	BM (m)
4,000	5.473,96	38,779a	2,104	40,124a	15,500	75,196	116,491	12,708	5.340,45	10,604
4,100	5.629,36	38,819a	2,158	40,306a	15,576	76,415	115,110	12,526	5.492,06	10,368
4,200	5.785,59	38,862a	2,212	40,542a	15,671	78,066	114,422	12,355	5.644,48	10,143
4,300	5.943,02	38,910a	2,266	40,821a	15,816	79,982	114,125	12,278	5.798,06	10,012
4,400	6.101,98	38,964a	2,320	41,120a	15,975	82,026	113,993	12,221	5.953,15	9,901
4,500	6.262,52	39,023a	2,375	41,429a	16,139	84,127	113,915	12,174	6.109,78	9,799
4,600	6.424,76	39,088a	2,430	41,768a	16,315	86,416	114,060	12,136	6.268,06	9,706
4,700	6.588,74	39,158a	2,485	42,128a	16,488	88,826	114,323	12,077	6.428,04	9,592
4,800	6.754,25	39,235a	2,541	42,500a	16,635	91,300	114,628	11,958	6.589,51	9,417
4,900	6.921,36	39,319a	2,596	42,883a	16,789	93,839	114,971	11,853	6.752,54	9,257
5,000	7.090,00	39,408a	2,652	43,261a	16,942	96,303	115,183	11,762	6.917,08	9,110
5,100	7.260,35	39,503a	2,709	43,644a	17,144	98,801	115,399	11,779	7.083,27	9,070
5,200	7.432,86	39,603a	2,765	44,026a	17,364	101,264	115,530	11,843	7.251,57	9,078
5,300	7.607,55	39,709a	2,822	44,405a	17,584	103,676	115,566	11,915	7.422,00	9,093
5,400	7.784,38	39,819a	2,880	44,777a	17,799	106,015	115,489	11,996	7.594,52	9,116
5,500	7.963,46	39,935a	2,938	45,144a	18,017	108,332	115,359	12,084	7.769,23	9,146
5,600	8.144,69	40,055a	2,996	45,507a	18,232	110,589	115,142	12,182	7.946,04	9,186
5,700	8.328,08	40,178a	3,054	45,866a	18,446	112,792	114,850	12,285	8.124,96	9,231
5,800	8.513,61	40,306a	3,113	46,215a	18,659	114,968	114,514	12,398	8.305,96	9,285
5,900	8.701,24	40,437a	3,172	46,546a	18,864	116,960	113,986	12,511	8.489,01	9,339
6,000	8.890,84	40,571a	3,231	46,846a	19,053	118,718	113,232	12,613	8.673,99	9,382
6,100	9.082,37	40,706a	3,291	47,239a	19,292	121,013	112,987	12,738	8.860,85	9,447
6,200	9.276,61	40,848a	3,351	47,655a	19,546	123,511	112,904	12,948	9.050,36	9,597
6,300	9.473,32	40,993a	3,411	48,006a	19,741	125,542	112,381	13,084	9.242,06	9,673
6,400	9.671,36	41,140a	3,471	48,305a	19,904	127,461	111,760	13,176	9.435,47	9,705
6,500	9.871,06	41,287a	3,531	48,532a	20,026	128,759	110,614	13,225	9.630,30	9,694
6,600	10.071,75	41,433a	3,591	48,698a	20,106	129,508	109,041	13,222	9.826,10	9,631
6,700	10.273,14	41,577a	3,651	48,838a	20,170	130,089	107,383	13,198	10.022,58	9,547
6,800	10.475,08	41,718a	3,711	48,966a	20,219	130,457	105,611	13,158	10.219,59	9,447

Fonte: CORRÊA, 2015, p. 6.