

ESCOLA NAVAL

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS

CICLO DE ESTUDOS EN - MEC



**Aparato para medição de forças e momentos de navios
soçobrados**

João Simião Machaieie

MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS

(ENGENHEARIA NAVAL – RAMO MECÂNICA)

2014



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



ESCOLA NAVAL

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS

**DISSERTAÇÃO DE Mestrado EM CIÊNCIAS MILITARES
NAVAIS**

**Aparato para medição de forças e momentos de navios
soçobrados**

O Mestrando,

O Orientador,

O Coorientador,

ASPOF EN-MEC
Simião Machaieie

CMG ECN Rodrigues Rentróia

CFR EN-MEC (ACN)
Pires da Silva



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





Agradecimentos

Os meus agradecimentos destinam-se a todos os meus amigos, familiares e conhecidos, pois direta ou indiretamente cada um de vós fez com que eu pudesse dar este grande passo na minha vida. Deste modo vou referir as entidades e pessoas cuja colaboração foi indispensável:

Ao Colégio Militar, por ser uma grande casa e base da minha educação, na qual é seguida por tradições que sempre irão perdurar dentro de nós, Meninos da Luz.

A Escola Naval, especialmente, aos oficiais do Departamento de Ciência e Tecnologias pelo apoio, acompanhamento e concelhos que permitiram que eu seguisse em frente durante a realização desta dissertação. Ao Curso Leotte do Rego pela camaradagem, paciência e apoio. A oficina da EN que sempre que foi solicitada a ajuda, estavam disponíveis para as necessidades.

Ao AA, SA, por ter fornecido contributos que melhorassem o meu trabalho.

Ao meu orientador Capitão-de-mar-e-guerra Rodrigues Rentróia, pela dedicação, motivação e ensinamentos transmitidos na presente dissertação. Muito obrigado.

Ao meu coorientador Capitão-de-fragata Pires da Silva, pelo apoio e interesse demonstrados durante a elaboração desta dissertação. As suas recomendações bem como as críticas fruto da experiência na área em questão. Muito obrigado.

À minha namorada, pela compreensão, carinho e respeito pelos momentos mais delicados da vida e por levantar-me a moral nos momentos que parecia que tudo ia desabar.

À minha mãe, mais do que materna foi uma figura amiga e sempre me orientou para as melhores decisões, contrariando todas as variantes que estavam ao seu alcance.

Ao meu pai e irmãos, por todo o apoio e afeto que foram dando durante este tempo em que fiquei longe deles.

A todos os meus camaradas dos dois cursos, pela amizade e companheirismo por toda a ajuda que deram ao longo destes anos.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





Resumo

Com a presente dissertação pretende-se desenvolver um aparato que permita efetuar medições, o mais precisas possível, de forças e momentos para os navios que se encontrem soçobrados. Assim este aparato será projetado para ser simulado no Tanque do Laboratório de Arquitetura Naval, para podermos ter condições que ajudem a estudar os diversos modos de calcular forças e momentos de um navio soçobrado.

Esta dissertação divide-se em duas partes, uma teórica e outra prática. Numa primeira parte, na seção do enquadramento teórico, foram abordados conceitos que serviram de base, para o estudo do comportamento da plataforma durante o processo de alagamento, com base em princípios da Arquitetura Naval, nomeadamente da Estabilidade. Com isto, foram realizados cálculos em Excel por forma a conseguir obter os gráficos de carenas direitas e inclinadas. Depois de ter obtido o gráfico de carenas inclinadas, foi mais acessível chegar ao cálculo dos momentos. Com esta base, a parte teórica fica concluída restando apenas a parte prática que irá ser comparada com esta e de seguida conseguiremos tirar algumas conclusões da viabilidade do aparato.

Para realizarmos a parte prática, foi necessário fazer algumas alterações ao batelão, como poderemos ver nos capítulos seguintes. Com a ajuda da oficina da EN e da SA, foi possível contruir o aparato.

Após construído o aparato, calcular-se-á os respetivos momentos e forças necessários para fazer com que o navio retome a sua posição inicial, tendo em conta as características do tanque e adotando determinados pressupostos.

Depois de efetuadas a provas no tanque e calibrado os componentes conclui que o sistema funcionava como pretendido inicialmente, pois devido aos pressupostos assumidos, o erro que resultou até foi relativamente baixo como irei demonstrar ao longo da dissertação.

Palavras-chave: compartimentação, estabilidade, centro de gravidade, metacentro, momento endireitante, movimentação de pesos.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





Abstract

The aim of the present dissertation is to develop a device which allows to measure accurately the forces and moments of shipwrecked vessels. Thus, this device will be designed to be simulated in the tank of the Naval Architecture Laboratory so that there will be the right conditions to help us study the different ways to calculate the forces and moments of shipwrecked vessels. For it is the only place in EN which has conditions that could help in studying the calculations of forces and moments of a capsized ship.

This dissertation is divided in two parts- a theoretical and a practical one. In the first part, the theoretical framework section, there's an approach to the concepts that were the support for the study of the performance of the platform during the overflowing process, taking into account the principles of Naval Architecture, namely the principle of stability. With these fundamentals, calculations were performed in Excel have been done in order to obtain graphs of cross curves and hydrostatic curves. After having obtained the cross curves graphic it was easier to calculate the moments. On this basis, the theoretical part is concluded. The practical part will be compared with the theoretical one in order to draw some conclusions on the viability of the device.

To accomplish the practical part, it was necessary to make some changes to the barge, as it can be seen in the following chapters. With the help of the EN and SA workshop, it was possible to build the. After having developed this part of the project, the moments and forces necessary to put the vessel in its initial position will be calculated taking into account the characteristics of the tank and adopting certain assumptions. After the tests performed in the tank and calibrated components concludes that the system worked as intended originally, because due to the assumptions made, the error that resulted was relatively low even as I will demonstrate throughout the dissertation.

Keywords: compartmentalization, stability, buoyancy, metacenter, straighten moment, movements of weights.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract.....	ix
Índice	xi
Lista de Figura	xv
Lista de Tabelas	xix
Lista de Gráficos.....	xxi
Lista de siglas e acrónimos.....	xxiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xxv
Capítulo 1	xxvii
1.1 Enquadramento	1
1.2 Justificação do Tema	2
1.3 Objetivos.....	3
Capítulo 2	4
2.1 Introdução.....	5
2.2 Cálculo da área	5
2.3 Posição do Centro de Gravidade de um peso. Centro de Gravidade do Batelão....	8
Capítulo 3	13
3.1 Pressão Hidrostática	14
3.1.1 Forças Hidrostáticas Sobre Superfícies Planas e Curvas Submersas	15
3.2 Impulsão	18
3.3 Estabilidade	22
Capítulo 4	24
4.1 Condições de equilíbrio do navio	25



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



4.2	Altura Metacêntrica. Binário De Estabilidade.....	29
4.3	Estabilidade em avaria.....	31
4.3.1.	Efeitos do alagamento	32
4.3.2.	Compartimentação.....	34
4.4	Efeito Dos Espelhos Líquidos	35
Capítulo 5	.....	38
5.1	Modelo.....	39
5.2	Curvas Hidrostáticas.....	41
5.3	Curvas Cruzadas De Estabilidade.....	43
Capítulo 6	.....	46
6.1	Ambiente para efetuar testes.....	47
6.2	Aparato para a recolha de dados.....	48
6.3	Metodologia utilizada na medição.....	54
Capítulo 7	.....	56
7.1	Dados.....	57
7.2	Recolha de dados	58
7.3	Comparação dos valores obtidos	62
Capítulo 8	.....	65
8.1	Endireitar um Navio	66
8.2	Método utilizado para endireitar o Batelão com menor esforço possível	67
8.3	Testes realizados.....	74
Capítulo 9	.....	81
9.1	Conclusões.....	83
9.2	Recomendações	86
Referências bibliográficas	.....	89
Anexos	.....	91
Anexo A-	Regra do trapézio para calcular a área do batelão	A-1



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Anexo B- Gráfico de carenas direitas.....	B-1
Anexo C – Gráfico de carenas inclinadas.....	C-1
Anexo D – Diagrama de estabilidade dos 0° até aos 180°.....	D-1
Anexo E- Obter o diagrama de estabilidade através de um gráfico de carenas inclinadas	E-1
Anexo F- Comparação de resultados e os respetivos gráficos	F-1
Anexo G- Imagens do batelão	G-1
Anexo H- Algoritmo de carenas direitas- Funcionamento.....	H-1
Anexo I- Algoritmo de carenas inclinadas. Funcionamento	I-1
Anexo J – Cálculo da evoluta do batelão	J-1
Anexo K – Evoluta na folha graduada	K-1



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





Lista de Figura

Figura 1- Vista lateral esquerda do Batelão	6
Figura 2- Vista lateral esquerda do Batelão dividida por áreas	8
Figura 3- Corpo com distribuição aleatória do peso.....	9
Figura 4- Batelão.....	12
Figura 5- Cálculo da altura do CG do batelão.....	12
Figura 6- Pressão hidrostática	14
Figura 7- Vista de cima do batelão	16
Figura 8- Vista lateral esquerda do batelão com água.....	16
Figura 9- A força hidrostática em uma superfície plana inclinada completamente submersa em um líquido. (ÇENGEL,2007)	17
Figura 10- Forças hidrostática numa superfície curva.....	18
Figura 11- A pressão do líquido atua perpendicularmente á superfície imersa.....	19
Figura 12- Uma chapa plana com espessura uniforme h submersa em um líquido paralela a superfície livre. (ÇENGEL, 2007).	20
Figura 13- Corpo sólido solto em um fluido afundará, flutuará ou permanecerá em repouso em algum ponto fluido, dependendo de sua densidade com relação à densidade do fluido. (ÇENGEL,2007)	21
Figura 14- Estabilidade de um corpo submerso- estável.....	23
Figura 15- Estabilidade de um corpo submerso- instável.....	23
Figura 16- G e B na mesma linha vertical sobre a linha central.....	25
Figura 17- Raio Metacêntrico, para ângulos iguais ou inferiores a 10°	26
Figura 18- Raio metacêntrico, distância do centro de carena até ao metacentro- BM...	26
Figura 19- Estabilidade positiva.....	27
Figura 20- Estabilidade neutra.....	28
Figura 21- Estabilidade negativa	28
Figura 22- Evoluta metacêntrica.....	29
Figura 23- Distancia GZ.....	30
Figura 24- Curva de estabilidade.....	30
Figura 25- Navio USS Cole depois de ser atingido por um bote cheio de explosivos (Daily Vessel Casualty & Pirate Attack Database 2000).....	34
Figura 26- Efeito do Espelho Líquido	36



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Figura 27- Batelão	36
Figura 28- Subida do centro de gravidade, devido aos espelhos líquidos.....	37
Figura 29- Vista geral do Batelão.....	39
Figura 30- Batelão com o anel. (Rogério S. D'Oliveira).....	40
Figura 31- Braço de estabilidade PZ	44
Figura 32- Tanque do Laboratório de Arquitetura Naval da EN.....	47
Figura 33- Interruptor	48
Figura 34-Motor	48
Figura 35-Roda.....	48
Figura 36- Batelão com um dos bordos isolado	50
Figura 37-Folha graduada.....	51
Figura 38-Estrutura.....	52
Figura 39-Dinamómetro improvisado	53
Figura 40- Batelão com o bordo isolado	54
Figura 41- Batelão adornado a 90°.....	68
Figura 42- Batelão com os compartimentos de bombordo e central alagados	68
Figura 43- Batelão com esferovite.....	69
Figura 44- Placa de esferovite a flutuar com 10Kg de água no seu centróide	70
Figura 45- Rotação em torno do eixo de x do batelão com esferovite	71
Figura 46- O mesmo ângulo para diferentes linhas do batelão	72
Figura 47- Força resultante da esferovite e o momento endireitante do batelão	72
Figura 48- Esferovite sob força de impulsão.....	73
Figura 49- Efeito do compartimento aberto e da esferovite	74
Figura 50- Batelão com a disposição da esferovite alterada	77
Figura 51- 1ª Hipótese	F-1
Figura 52 - 2ª Hipótese	F-2
Figura 53 - 3ª Hipótese	F-3
Figura 54 - 4ª Hipótese	F-4
Figura 55 - 5ª Hipótese	F-5
Figura 56 – Batelão da primeira Hipótese	G-1
Figura 57 - Segunda Hipótese com o batelão soçobrado	G-1
Figura 58 - Segunda Hipótese com o batelão na posição direita.....	G-2
Figura 59 - Terceira hipótese com o batelão soçobrado. Este apresenta mais deslocamento e a rotação não é perpendicular ao cabo de alumínio, logo existe um compartimento que	



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



tem	água	e	que	não	devia	
ter.....						G-2
Figura 60-	Terceira hipótese, o batelão apresenta demasiado deslocamento para o número de compartimentos abertos					G-3
Figura 61 -	Quarta hipótese, Batelão soçobrado.....					G-3
Figura 62 -	Quarta hipótese, batelão na posição direita. Este apresenta um adorno um pouco excessivo devido a má vedação das chapas de alumínio					G-4
Figura 63 -	Quinta hipótese, batelão na sua posição direita					G-4
Figura 63 -	Quinta hipótese, batelão na sua posição direita					G-4
Figura 64 –	Folha graduada com o desenvolvimento da evoluta, para a esferovite com a área reduzida.....					K-2



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





Lista de Tabelas

Tabela 1 - Peso do anel e das varetas	49
Tabela 2 - Peso da cola e das chapas	57
Tabela 3 - Resultados Experimentais da primeira Hipótese.....	61
Tabela 4- Resultados Teóricos da primeira Hipótese.....	63
Tabela 5- Erro percentual da primeira Hipótese.....	64
Tabela 6- Cálculo do deslocamento do navio.....	75
Tabela 7- Cálculo do deslocamento	75
Tabela 8- Comparação dos momentos realizados na Teoria do batelão sem esferovite e na Prática do batelão com esferovite	78
Tabela 9- Dados Teóricos e Práticos da primeira hipótese	F-1
Tabela 10 - Dados Teóricos e Práticos da segunda hipótese.....	F-2
Tabela 11 - Dados Teóricos e Práticos da terceira hipótese.....	F-3
Tabela 12 - Dados Teóricos e Práticos da quarta hipótese	F-4
Tabela 13 - Dados Teóricos e Práticos da quinta hipótese	F-5
Tabela 14 – Carenas direitas. Valores introduzidos	H-2
Tabela 15- Carenas direitas. Conversor.....	H-3
Tabela 16- Carenas direitas. Compilação de todos os valores obtidos.....	H-3
Tabela 17- Carenas Inclínadas. Valores introduzidos	I-2
Tabela 18 - Valor do PZ para um determinado deslocamento	I-3
Tabela 19- Cálculo do centróide da área imersa.....	J-1
Tabela 20 - Raio metacêntrico e a localização do cento de gravidade	J-2



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Comparação de resultados	57
Gráfico 2- Comparação do momento do batelão sem esferovite e com esferovite	76
Gráfico 3- Comparação do momento do batelão sem esferovite e com esferovite	79
Gráfico 4- Gráfico de carenas direitas	B-1
Gráfico 5- Gráfico de carenas inclinadas	C-1
Gráfico 6- Diagrama de estabilidade dos 0° até aos 180°	D-1
Gráfico 7- Gráfico de carenas inclinadas	E-1
Gráfico 8- Diagrama de estabilidade para o deslocamento de 38,9 Kg	E-1
Gráfico 9- Interceção do deslocamento da segunda hipótese no gráfico de carenas inclinadas	E-2
Gráfico 10- Gráfico de estabilidade para a segunda hipótese	E-2
Gráfico 11- Comparação de dados Teóricos e Práticos da primeira hipótese	F-1
Gráfico 12- Comparação de dados Teóricos e Práticos da segunda hipótese	F-2
Gráfico 13 - Comparação de dados Teóricos e Práticos terceira hipótese	F-3
Gráfico 14 - Comparação de dados Teóricos e Práticos da quarta hipótese	F-4
Gráfico 15 - Comparação de dados Teóricos e Práticos da quinta hipótese	F-5



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





Lista de siglas e acrónimos

AA,SA – *Arsenal do Alfeite, Sociedade Anónima*

AR – *A Ré*

AV – *A vante*

BB – *Bombordo*

EB – *Estibordo*

EN – *Escola Naval*

SI – *Sistema Internacional*

SNAME – *The Society of Naval Architects and Marine Engineers*

SOLAS – *Safety of Life at Sea*

USS – *United States Ship.*



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





LISTA DE SÍMBOLOS

a - Aceleração	L_{PP} = Comprimento entre perpendiculares
A – Área	P - Peso
A_{ST} = Área imersa da seção transversal	P_0 - Pressão
A_{total} - Área total	Peso = Valor apresentado no dinamómetro
B - Centro de carena	T_{CG} - Centro de Gravidade Transversal
BE – Binário Endireitante	V_{CG} - Centro de Gravidade Vertical
BI – Binário Inclinante	V_{Im} = Volume imerso
BM – Raio metacêntrico	V_{total} = Volume total
Braço = Comprimento do raio do anel	$V_{batelão}$ - Volume do batelão
CG - Centro de Gravidade	w - Peso adicionado ou removido
d – Distância	W - Peso total do navio, incluindo a adição ou remoção de pesos
F - Força	z - Distância a que o peso se encontra
g – Aceleração da gravidade	\bar{y} – Distância transversal da massa de teste
G - Centro de gravidade do navio	Δ_0 - Deslocamento inicial
\overline{GM} – Altura metacêntrica	Δ - Deslocamento
\overline{GZ} – Braço endireitante	ρ – Densidade do líquido e a superfície livre do líquido
h - Altura do objeto	ρ_f - Densidade do fluido;
h_c - Distância vertical entre o centróide	s - Altura a que o objeto esta mergulhado no fluido;
I – Impulsão	∇ - Volume deslocado
K_0 - Altura inicial	
KB – Altura do centro de carena	
KG - Altura do centro de gravidade do navio	
KM – Altura do metacentro	
m - Massa	
M – Binário de estabilidade transversal; Metacentro	



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados





Capítulo 1

Introdução



1.1 Enquadramento

O mar é vasto, e por difícil que se possa imaginar todos os navios correm os mesmos riscos que todos os outros meios de transportes. Dado ao facto de ser muito difícil socorrer algum navio, quer por motivos de condições ambientais quer pela distância que este se pode encontrar relativamente aos pontos de apoio na terra ou no mar. Também, existem casos em que, apesar de ele estar na superfície, estes não se encontram nas suas condições de estabilidade normais. Pois, estes podem-se encontrar demasiado adornados, o que os pode impossibilitar de navegar.

Desde sempre que existem naufrágios, uns devidos às guerras entre diferentes países, outras devido às violentas condições ambientais. Dado a este facto, houve muitos casos que tivemos muitas embarcações a irem para o fundo dos diferentes oceanos. Com o decorrer dos anos, o número de acidentes marítimos tem vindo a diminuir devido à arquitetura naval que se foi aperfeiçoando. Este melhoramento para os navios foi muito decisivo, porque as pessoas começaram a apostar muito mais nos meios marítimos, não só para fazerem o transporte do diferenciado material, mas também para usufruir do que o mar pode mostrar ou mesmo oferecer.

O aperfeiçoamento dos navios é muito notável no nosso dia-a-dia. Qualquer pessoa que passe pela praia ou mesmo perto de um rio notará a intensidade do tráfego que navios mercantes, dos grandes cruzeiros e pesqueiros fazem a entrada dos grandes portos. Todo o desenvolvimento que os navios possuem, não é o suficiente para que eles não corram o risco de naufragarem, pois muitos deles possuem piloto automático, vários sensores e *softwares* complexos que acabam por controlar o navio, mas nada é comparável à visão, audição e à sensibilidade do ser humano para dar uma rápida resposta.

Na generalidade todos os acidentes marítimos são causados por causa da negligência humana. Nos últimos cem anos encontrámos dezoito acidentes marítimos, na qual o erro humano sempre esteve presente, isto pelo facto de haver tanta tecnologia a mente humana descarta das suas incumbências a navegar (Gerhard, 2012). O que resulta nas várias colisões entre navios e também contra rochas imersas. Temos o exemplo do cruzeiro Costa Concordia, que ao navegar junto a costa italiana abalroou as rochas imersas rasgando assim o seu casco. O radar e o sonar mostravam a aproximação de terra, mas mais uma vez o erro humano foi crucial. Recentemente ao largo da Zambézia, em



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Moçambique, houve um naufrágio, este provocado por excesso de lotação e com a ajuda de mau tempo. Como podemos ver mais uma vez estamos presente ao erro humano.

Em ambos os exemplos referidos estamos perante dois navios que ficaram adornados no mar. Sendo a sua remoção necessária para o ambiente e também para o trânsito na zona afetada.

Como podemos constatar, os naufrágios sempre aconteceram desde que o homem iniciou a utilização dos navios até aos dias atuais. Não é por haver um grande desenvolvimento na tecnologia, que os naufrágios vão acabar.

1.2 Justificação do Tema

A escolha deste tema cativou-me, porque como sempre houve naufrágios e como a maior parte deles são causadas por condições que têm a ver com a área de Arquitetura Naval, tinha a possibilidade de enriquecer os meu conhecimentos de arquitetura e olhar de uma maneira diferente para as causas do naufrágio do dia-a-dia, obtendo assim conclusões que poderiam assim ajudar-me a ter opiniões críticas na remoção do navio do local do sinistro.

O processo de tirar o navio do local do sinistro, não é estudado na marinha. Geralmente são as empresas que têm as bases dos projetos que podem socorrer o navio. O que acaba por não ser transparente para as pessoas que observam a remoção do navio do local do sinistro. O processo de resolução do problema é muito longo, existem muitas áreas que tem que ser estudadas e tem que haver muita precisão na recuperação do navio.

A questão que os profissionais impõem será da remoção sem colocar em risco as vidas humanas e sem provocar danos prejudiciais ao ambiente envolvente, pois dependente do navio cada caso é um caso.

Os navios que se encontram soçobrados, implicam o estudo das forças/binários aplicados a um corpo rígido. Neste caso, as forças estudadas não serão as forças do atrito, mas sim as forças/binários aplicados a um objeto flutuante. Neste caso estudar o momento, pois esta será a principal responsável pela estabilidade do corpo, e será este momento que vai ajudar a levar o corpo ao seu estado de equilíbrio inicial. No entanto, é necessário colocar os cabos em lugares em que a sua força seja eficaz e objetos que facilitem a sua flutuabilidade, de forma que o navio quando esteja na sua posição direita continue em equilíbrio e não volte a inclinar para um dos bordos.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Este tema acaba por estudar todas as áreas que tem a ver com a estabilidade do navio, o que acaba por ser bom porque, acabamos por saber qual será o comportamento do navio caso façamos alguma alteração na sua estrutura, o que faz com que não sejamos apanhados de surpresa.

1.3 Objetivos

Com este trabalho, pretendo construir uma estrutura que me permita calcular os momentos e forças de navios soçobrados. Para isso vou utilizar um batelão, que se encontra presente no Laboratório de Arquitetura Naval, para poder simular um navio e assim calcular as suas curvas hidrostáticas. Com base nestas curvas consigo calcular as forças e os momentos do batelão para várias inclinações, o que acaba por possibilitar a simulação na teoria. Numa fase seguinte será feita a simulação no Tanque do Laboratório de Arquitetura Naval, na qual vou confrontar os resultados da teoria e da prática que será o comportamento real do batelão.

A configuração do batelão é simétrica no ponto de vista transversal. No sentido longitudinal, o batelão apresenta compartimentos simétricos do meio navio para os compartimentos seguintes. Por forma a obter um comportamento linear do batelão durante a rotação em torno ao eixo longitudinal, vou simular o acidente alagando os compartimentos com as mesmas dimensões. Quando o batelão partir de uma posição de soçobrado a posição direita, vamos observar que o batelão apenas vai alagar um dos bordos. Dado este acontecimento, o estudo será simétrico com vista ao alagamento apenas a um dos bordos.

Como objetivos fundamentais, proponho-me a:

- Fazer um estudo integrado da plataforma na teoria. Na ausência de algum programa será realizado em Excel;
- Testar um modelo no tanque do laboratório de arquitetura naval, efetuando a medição, recolha e análise dos dados obtidos;
- Estabelecer conclusões acerca da aplicabilidade do sistema a navios de dimensão real e outras plataformas flutuantes.



Capítulo 2

Cálculos de áreas e volumes.

Centro de gravidade do

batelão



2.1 Introdução

As regras aproximadas de integração são necessárias na Arquitetura Naval. Neste caso, será necessário para o cálculo de áreas, volumes e posição do centróide do batelão e também para os diferentes objetos que estarão anexados a ele. Pois, as diferentes curvas que encontramos nos navios ainda não foram expressas por fórmulas matemáticas. Logo a única maneira que podemos calcular alguma área do navio é sobre a forma de integração.

Antes de utilizar as regras aproximadas será oportuno efetuar uma pequena revisão das expressões matemáticas gerais usadas para determinar a área sob uma curva entre limites conhecidos. Para este estudo vou focalizar-me na regra de integração numérica.

2.2 Cálculo da área

Para efetuar o cálculo da área transversal do batelão, vou utilizar a regra do trapézio. Poderia utilizar outras regras de integração, mas dado facto do batelão apresentar uma forma relativamente simples não será necessário utilizar a regra de Simpson ou mesmo a Quadratura Gaussiana. Caso o casco fosse real, seria um erro utilizar esta regra. A regra do trapézio apresenta a vantagem de podermos aproximar as áreas com diferentes formas, curvaturas, em trapézios.

A Regra do Trapézio para $n = 1$, isto é, queremos obter uma fórmula para integrar $f(x)$ entre dois pontos consecutivos X_0 e X_1 , usando assim um polinômio do primeiro grau:

$$\int_{X_0}^{X_1} f(x) dx = \frac{h}{2} [f(X_0) + f(X_1)] \quad 1$$

Se o intervalo $[a, b]$ for pequeno, podemos considerar que aproximação é razoável, mas se $[a, b]$ for grande, o erro também será grande. Neste caso dividimos o intervalo $[a, b]$ em n sub-intervalos de amplitude $h = \frac{b-a}{n}$ de tal forma que, $X_0 = a$ e $X_n = b$ e em cada sub-intervalo $[x_j, x_{j+1}]$, $j = 0, 1, \dots, n-1$ aplicamos a Regra do Trapézio.

Para obtermos



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



$$\int_{x_0}^{x_n} f(x)dx = \frac{h}{2}[f(x_0) + f(x_1)] + \frac{h}{2}[f(x_1) + f(x_2)] + \dots + \frac{h}{2}[f(x_{n-1}) + f(x_n)] =$$

$$= \frac{h}{2}[f(x_0) + 2(f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_{n-1})) + f(x_n)]$$

Sendo esta, a fórmula do Trapézio Generalizada, que vou utilizar para calcular a área do batelão em estudo. Neste caso, a área a ser calculada, será a área com a vista lateral esquerda, neste caso a antepara de vante do navio.

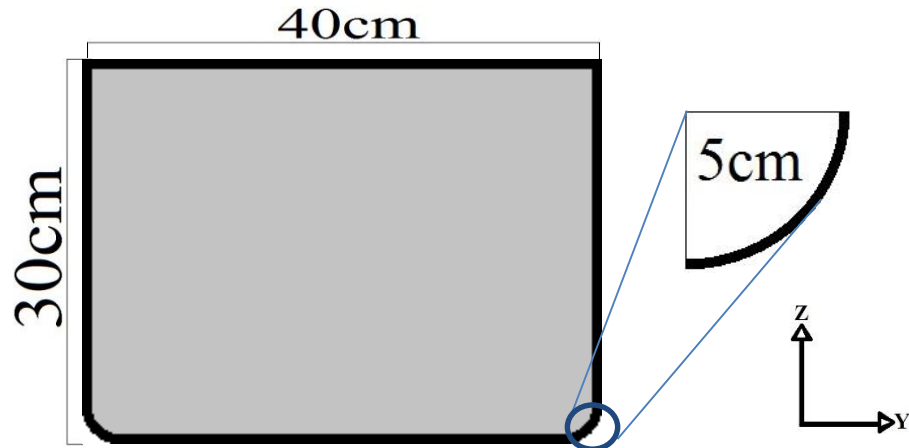


Figura 1- Vista lateral esquerda do batelão

De seguida irei medir a altura do batelão, a qual vou dividir a área transversal do batelão em 25 intervalos iguais. A altura da secção transversal, que compreende da quilha até ao ponto mais alto do batelão tem 30cm. Sendo assim ao dividir a altura pelas secções terei uma distância entre as secções de:

$$d = \frac{30}{25} = 1,2cm \quad 2$$

Assim posso tirar as semi-ordenadas (semi-ordenadas porque vou calcular a metade da área transversal do batelão, pois sendo esta simétrica, ao ser multiplicada por dois dá-nos o total da área transversal). Ao medirmos as semi-ordenadas encontraremos:

$$y_0 = 15cm \quad y_1 = 16,2cm \quad y_2 = 17,4cm \quad y_3 = 18,6cm \quad y_4 = 19,8cm$$

$$y_5 = 20cm \quad \dots \quad y_{25} = 20cm$$

Os valores iniciais que vão desde o y_0 até ao y_4 variam, isto acontece porque ao passar-mos do fundo do batelão para o costado, encontramos uma curvatura de noventa graus. Mas como o arco é pequeno, os valores ao longo do comprimento do eixo dos y não variam substancialmente.

Por forma a calcular a área, fiz o gráfico que está no Anexo A, na qual encontramos todos os intervalos da secção transversal do batelão. Sendo assim, a área



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



será dada pela multiplicação do somatório do produto da área com a distância entre as seções

$$A = d * S \quad 3$$

$$= 1,2 * 489,5 = 587,4cm^2$$

A área calculada anteriormente corresponde apenas para metade do batelão. A área total da secção transversal é $1174,8cm^2$.

A área calculada anteriormente seria muito mais precisa se o batelão em estudo tivesse formas regulares. Dado ao facto da área ter a forma de um retângulo, posso ser mais preciso, calculando com o integral simples.

Assim temos:

$$\int dA_{\text{Área transversal}} \quad 4$$

$$= \int dA_{\text{meia circunferencia}} + \int dA_{\text{rectangulo1}} + \int dA_{\text{rectangulo2}}$$

$$= 2 * \int_0^5 \sqrt{5^2 - y^2} dx + \int_0^{30} \int_0^5 dz dy + \int_0^{25} \int_0^{40} dy dx$$

$$= 2 * \frac{5^2}{2} \left[\text{arc sen } \frac{x}{5} + \frac{x}{5} \sqrt{1 - \frac{x^2}{5^2}} \right]_0^5 + 30 * 5 + 25 * 40$$

$$= 2 * \frac{25}{2} (\text{arc sen } 1) + 150 + 1000$$

$$= 2 * \frac{25}{2} \left(\frac{\pi}{2} \right) + 150 + 1000$$

$$= 39,27 + 1150$$

$$= 1189,27cm^2$$

Concluimos que, a área do batelão é de $1189,27cm^2$. Com estes dois resultados podemos observar que, ao usarmos o método da regra do Trapézio acabamos por obter alguns erros, que para os cálculos pretendidos não são desejados. Para proceder com os cálculos, sem obter erros indesejados, vou utilizar o integral simples.

Para efetuar o cálculo do volume do batelão preciso apenas da altura do batelão que são os $30cm$, e a área transversal do navio.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Não podemos esquecer que, o batelão apresenta um encolamento entre o fundo e o costado. A forma mais fácil para calcular o volume é, decompor a área transversal em três partes:

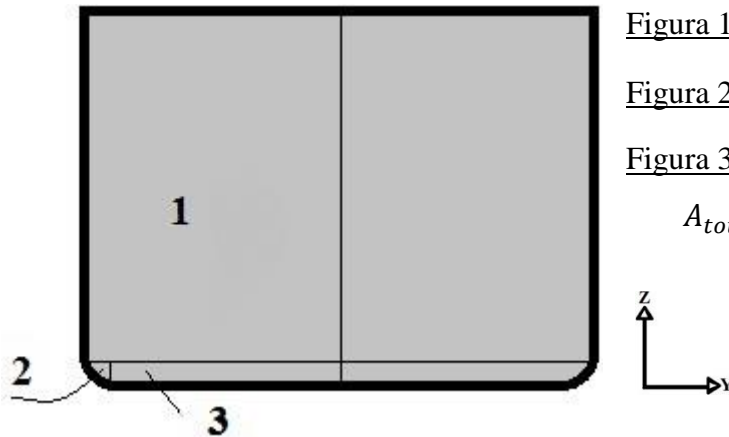


Figura 1 Área = $25 * 40 = 1000 \text{cm}^2$

Figura 2 Área = $2 * \left(\frac{\pi * 5^2}{4}\right) = 39,27 \text{cm}^2$

Figura 3 Área = $30 * 5 = 150 \text{cm}^2$

$$A_{total} = 1000 + 39,27 + 150 \\ = 1189,27 \text{cm}^2$$

Figura 2-Vista lateral esquerda dividida por áreas

Logo, para o cálculo do volume apenas precisamos de multiplicar a A_{total} pelo comprimento do batelão.

$$\nabla = A_{ST} * L_{PP} \quad 5$$

∇ = Volume deslocado

A_{ST} = Área imersa da seção transversal

L_{PP} = Comprimento entre perpendiculares

$$V_{batelão} = 1189,27 * 100 \\ = 118927 \text{cm}^3$$

2.3 Posição do Centro de Gravidade de um peso. Centro de Gravidade do Batelão.

As partículas de um corpo são atraídas pelo campo gravítico da terra, gerando uma força que denominamos por peso. Sendo

$$F = m * a \quad 6$$

F = Força

m = Massa

a = Aceleração



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



No caso em estudo, a força é o peso e a aceleração é a aceleração da gravidade o que modifica a nossa fórmula para:

$$P = m * g \quad 7$$

A Figura seguinte representa um corpo achatado, que é referenciado por um sistema de eixos cartesianos.

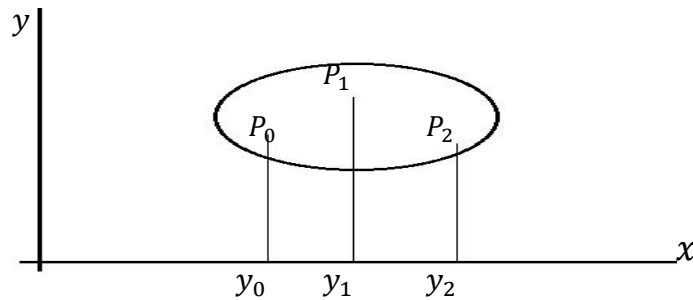


Figura 3-Corpo com distribuição aleatória do peso

Vamos considerar diversas partículas desse corpo, que variam desde P_0, P_1, \dots, P_n e a soma do peso de todas essas partículas será o peso total do corpo

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad 8$$

Pode ser escrito por:

$$P = \sum_{i=0}^n P_i \quad 9$$

O momento em relação ao eixo dos x de cada partícula será:

$$M_0 = P_0 * y_0$$

$$M_1 = P_1 * y_1$$

$$M_2 = P_2 * y_2$$

...

$$M_n = P_n * y_n \quad 10$$

M = Momento

P = Peso

y = Distância transversal da massa de teste

Se somarmos cada um dos membros teremos:

$$\sum_{i=0}^n M_i = \sum_{i=0}^n (P_i * y_i) \quad 11$$



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Como sabemos o momento da resultante é igual a soma dos momentos das componentes. Dado que o momento é:

$$M = P * y$$

podemos escrever:

$$P * y = \sum_{i=0}^n (P_i * y_i)$$

Logo podemos deduzir:

$$y = \frac{\sum_{i=0}^n (P_i * y_i)}{\sum_{i=0}^n P_i} \quad 12$$

Analogamente podemos deduzir para o eixo dos X,Y e Z.

Vejamos agora o que se passa num navio. Para obtermos a posição vertical do centro de pesos, precisamos de saber o valor do seu peso, e a distância a que este se encontra da quilha. A resultante, de todos os pesos do navio considera-se como tendo o seu ponto de aplicação num ponto denominado como Centro de Gravidade, CG. Pela física sabemos que, o centro de gravidade de um corpo, não representa obrigatoriamente o seu centro geométrico. Logo, não podemos declarar que o CG é o centro geométrico do batelão.

A posição vertical do centro de gravidade em inglês que é denotado por: VERTICAL CENTRE OF GRAVITY, donde temos a abreviatura de VCG. A altura do centro de gravidade do navio sobre a quilha é conhecida como KG (Tupper & Rawson, 2001).

Usemos as seguintes variáveis:

$P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ = Vários pesos

$KG_0, KG_1, KG_2, \dots, KG_n$ = A distância a respetiva quilha

P = A soma de todos os pesos

Então se aplicarmos estas variáveis na mesma linha vertical que o CG obtemos o seguinte:

$$Z = \frac{P_0 * KG_0 + P_1 * KG_1 + P_2 * KG_2 + P_3 * KG_3 + \dots + P_n * KG_n}{P} \quad 13$$

dado que

$$Z = KG$$

$$P = \Delta$$

e visto que podemos usar para o deslocamento inicial a variável Δ_0 , temos o seguinte:



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



$$KG = \frac{\Delta_0 * KG_0 + P_1 * KG_1 + P_2 * KG_2 + P_3 * KG_3 + \dots + P_n * KG_n}{\Delta}$$

Para determinarmos o KG de um navio, não é necessário que comecemos os cálculos com o carregamento de navio leve. Logo, se tivermos um deslocamento e um KG conhecidos conseguimos calcular um novo KG.

Até ao momento vimos como podemos determinar a posição vertical do centro de gravidade do navio.

Agora, para determinarmos a posição vertical do centro de gravidade (VCG) precisamos de aplicar o teorema dos momentos, este método também pode ser utilizado para a determinação da posição longitudinal do centro de gravidade, e transversal, que diz:

$$VCG = \frac{1}{W} \int z dW \quad 14$$

VCG= Posição vertical do centro de gravidade

W= Peso total do navio, incluindo a adição ou remoção de pesos

z= Distância vertical da massa de teste

Com esta fórmula, consigo saber a localização do peso em relação a linha da quilha do navio. Portanto, caso quisesse introduzir vários pesos ao navio, teria que, calcular o somatório:

$$\frac{\sum w_i * z_i}{\sum w_i} \quad 15$$

Assim já poderia saber a variação do centro de gravidade com base a adição de todos os pesos presente.

Não nos podemos esquecer que, para calcular qualquer distância, em relação aos pesos, temos que ter a distância do centro de gravidade do navio leve (ou num deslocamento inicial). Este batelão em estudo ainda se encontra em deslocamento leve.

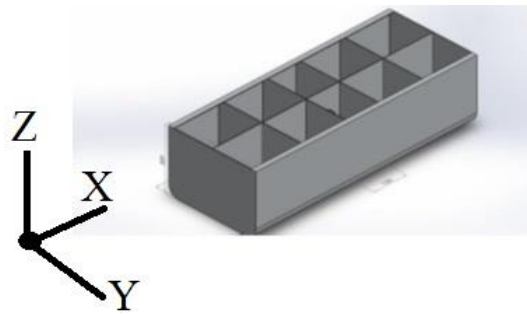


Figura 4 - Batelão

Como podemos ver no Figura 4, o batelão é simétrico na transversal e longitudinalmente. Pode-se dizer que, como ele é simétrico na transversal e na longitude, o CG estará localizado na meia-nau e este também estará localizado a meio-navio. O batelão, apresenta na parte superior do costado o alumínio com uma dobra de noventa graus em cada lado e um encolamento na sua parte inferior. Dado este fator, acabamos por não ter a certeza da posição específica do CG.

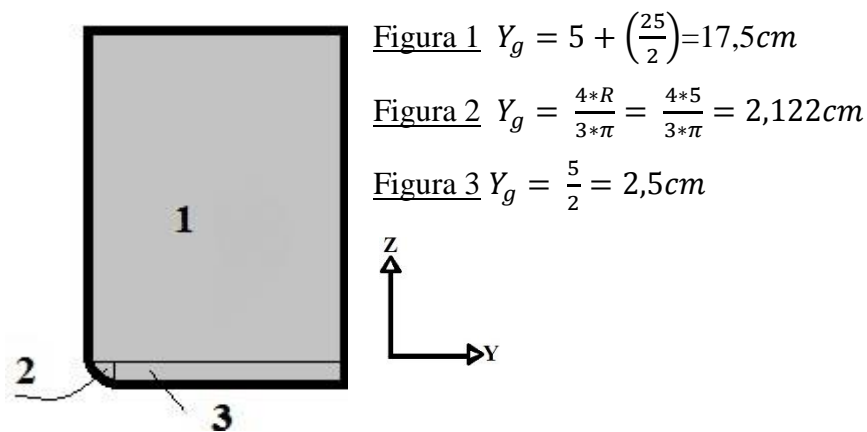


Figura 5 – cálculo da altura do CG do batelão.

$$Y_{gtotal} = \frac{17,5 * 1000 + 2,122 * 39,27 + 2,5 * 150}{1000 + 39,27 + 150}$$

$$= 15,1cm$$

Com base na Figura 5 e as respectivas equações, posso concluir que, o CG esta ligeiramente acima da meia altura da antepara.



Capítulo 3

Flutuação e estabilidade



3.1 Pressão Hidrostática

Antes de mais é necessário saber que a pressão é definida pela força por uma unidade de área. Portanto, se estivermos a falar de uma pressão, numa determinada localização saberemos que, a pressão será o peso acima da posição por unidade de área de superfície. Pelo Sistema Internacional a unidade utilizada é o Pascal. Logo temos:

$$P = \frac{F}{A} \quad (N/m^2) \quad 16$$

P = Pressão

F = Força

A = Área

É de realçar que, a força exercida na unidade de área é sempre perpendicular à superfície, isto só é verdade caso o corpo esteja em repouso. Caso contrário teríamos que entrar com mais forças, como a força do atrito e a força de inércia. Só assim é que a pressão hidrostática tem significado.

“A pressão hidrostática exercida num ponto de uma determinada superfície por um líquido homogéneo e incompressível é igual ao peso específico do líquido pela distância vertical do ponto à superfície livre, adicionada à pressão atmosférica que existe nessa superfície” (Lei de Stevin e Pascal).

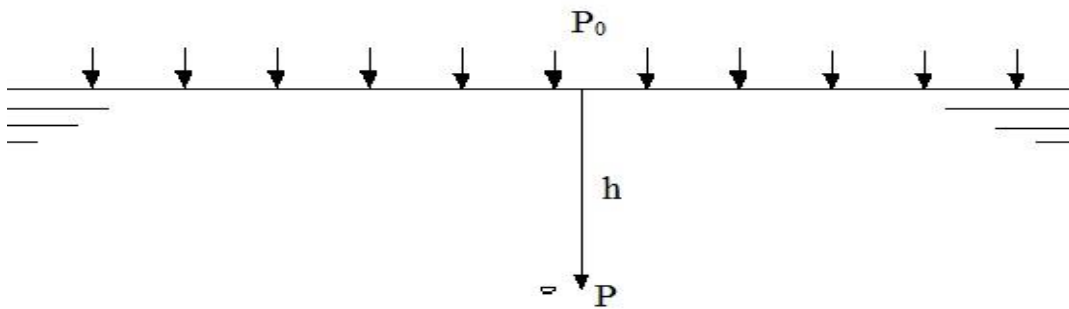


Figura 6-Pressão hidrostática



3.1.1 Forças Hidrostáticas Sobre Superfícies Planas e Curvas Submersas

A estática dos fluidos é usada para determinar as forças que atuam sobre corpos flutuantes ou submersos. Sendo que, neste trabalho teremos o batelão soçobrado e também no seu estado inicial, é necessário saber como as forças se comportam estando o batelão na água.

Considere um casco de um navio exposto a um líquido, estando este em repouso, estará sujeito à pressão do fluido distribuída sobre a sua superfície. As forças hidrostáticas formam um sistema de forças perpendiculares ao longo do costado do navio. Do lado oposto do casco, dado que o batelão é aberto, a atmosfera acaba por fazer pressão na perpendicular do casco.

Sabemos que, quanto mais fundo formos, num líquido, maior vai ser a pressão que sentiremos no nosso corpo. Logo, podemos concluir:

$$P = P_0 + \rho gh \quad 17$$

P = Pressão

P_0 = Pressão atmosférica

g = Aceleração da gravidade

ρ = densidade do líquido

h = Altura do objeto

Na qual adicionamos a pressão atmosférica, ou a pressão presente no local, a pressão que faz o líquido no casco. Sendo esta causada pela densidade do líquido (ρ), a profundidade (h) e a aceleração gravítica (g).

O batelão ao soçobrar acaba por embarcar água, o que fará com que tenhamos uma área totalmente submersa. As áreas que ficarão submersas não terão todas elas a mesma força hidrostática aplicada, pois ao entrar água para o batelão, dado este estar dividido por anteparas, a quantidade de água embarcada não será uniforme em todo o navio. Como podemos observar nas Figuras seguintes.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados

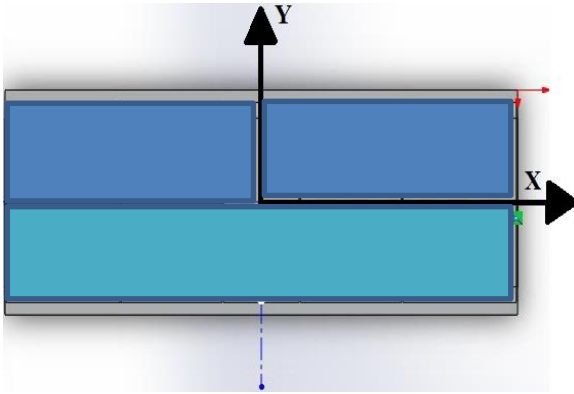


Figura 7-Vista de cima do batelão

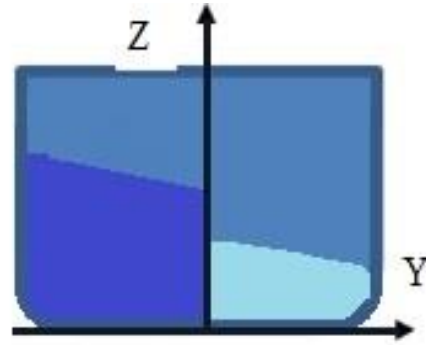


Figura 8-Vista lateral esquerda do batelão com água

Neste caso, as forças hidrostáticas atuarão de uma forma diferente, ou seja, devido ao embarque da água, o batelão ganhará uma ligeira inclinação. O que fará com que o batelão fique ligeiramente inclinado e submerso. O que vai provocar diferentes pressões ao longo da superfície da base do batelão. Visto que, a pressão aumenta com a profundidade, teremos diferentes pressões para a mesma seção. Então, para sabermos a pressão média temos que saber a localização do centróide da seção. Neste caso falo do centróide porque, todas as pressões existentes numa superfície plana será aproximadamente igual pressão média.

$$P_{méd} = P_0 + \rho g h_c \quad 18$$

$$h_c = y_c \text{sen}\theta \quad 19$$

h_c = Distância vertical entre o centróide e a superfície livre do líquido.

y_c = Distância do ponto O ao centróide

θ = Ângulo que a superfície da água faz com o plano inclinado

Onde P_0 é a pressão atmosférica presente no local, ρ é a densidade do líquido, g a aceleração gravítica e h_c que é a distância vertical entre o centróide e a superfície livre do líquido.

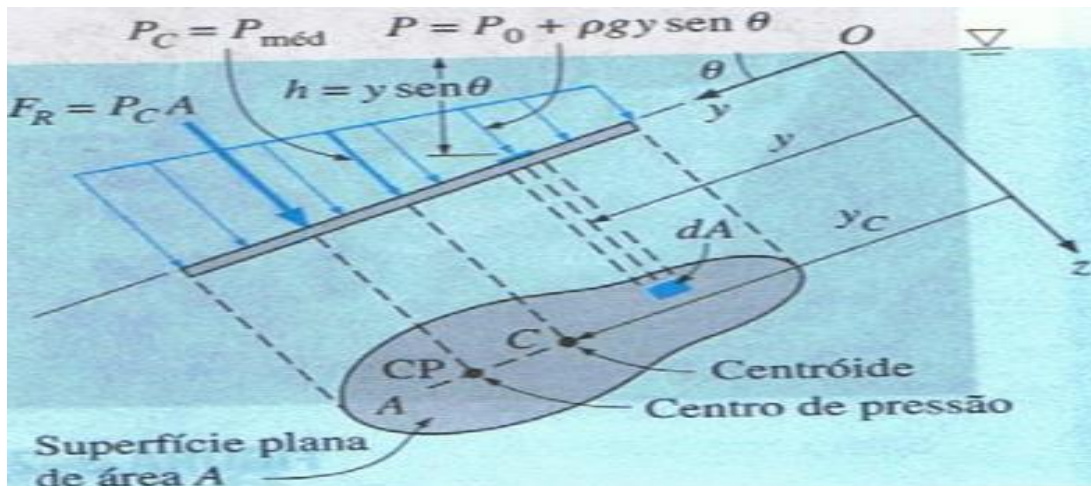


Figura 9- A força hidrostática em uma superfície plana inclinada completamente submersa em um líquido. (Çengel & Cimbala, 2007)

Logo, sabendo que a multiplicação da pressão com a área é igual força, então conseguimos assim chegar a força resultante na chapa. Não podemos confundir o centróide com o centro de pressão. Pois, no centróide, é onde é aplicada a pressão média. O centro de pressão é a linha de ação, onde será aplicada a força resultante. Poderíamos ser conduzidos a erro, ao pensarmos que a força resultante é aplicada no centróide. A força resultante não é aplicada no centróide, porque, devido as pressões serem muito superiores na parte mais profunda da chapa, ficará essa zona com elevadas pressões, o que acaba por implicar uma movimentação na linha de ação da força hidrostática. Assim, a força resultante passa a ser aplicada no centro de pressão e não no centróide.

A força hidrostática resultante para uma superfície curva, que esteja submersa, não é tão linear como para uma superfície plana. Mas, é possível calcular a força resultante por integração, só que este método fica mais trabalhoso e acabamos por vezes por não conseguir obter equações simples. Isto acontece pelo facto das forças variarem ao longo da superfície curva.

Assim, a forma mais fácil de determinar a força hidrostática resultante, é determinar as suas componentes horizontais e verticais, F_h e F_v . As forças F_h e F_v representam as componentes da força que o fluido exerce no casco. Estes componentes acabam por ser mais apropriados para as superfícies curvas submersas. Porque apesar de termos o mesmo fluido nos dois lados, a forças não são equivalentes. Então, para que um sistema de forças esteja em equilíbrio, é necessário que as forças, F_h e F_v , sejam perpendiculares (as suas linhas de ação se intercetem num ponto) e coplanares. Dado isto, o módulo do componente F_h precisa de ser igual a uma força F_2 , sendo este um vetor colinear. No entanto, o módulo do componente F_v tem que ser igual a soma dos módulos



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



de F_1 e W (peso do bloco de liquido contido no volume v , sendo $W=\rho g v$), o ponto de aplicação coincide com o centro de gravidade da massa do fluido contida no volume. As forças F_h e F_v acabam assim por representar componentes da força que o tanque exerce no fluido. Assim:

Componente da força horizontal na superfície curva

$$F_h = F_2$$

Componente da força vertical na superfície curva

$$F_v = F_1 + W$$

e o módulo da força resultante é obtido pela equação

$$F_R = \sqrt{(F_h)^2 + (F_v)^2} \quad 20$$

A intensidade da força hidrostática resultante que age sobre a superfície curva é F_R . A sua linha de ação passa pelo ponto O e o ponto de aplicação pode ser localizado somando-se os momentos em relação a um eixo apropriado. Assim, temos o módulo da força que atua na superfície de uma curva BC , na qual pode ser calculado com informações do diagrama de corpo livre mostrado na seguinte Figura:

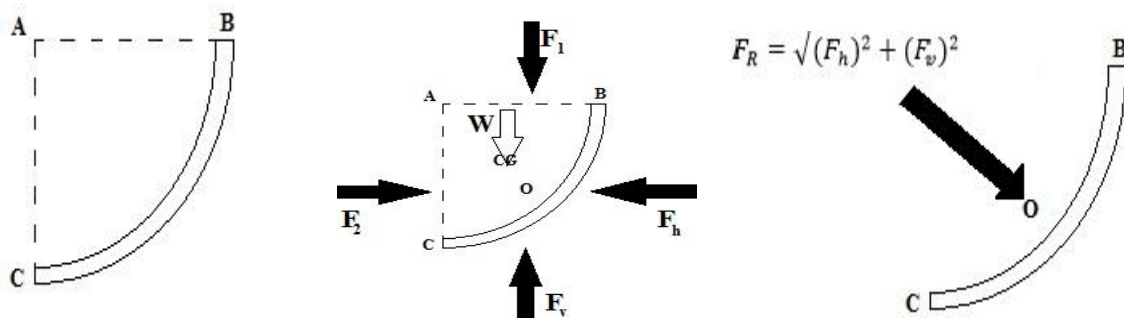


Figura 10- Forças hidrostática numa superfície curva

3.2 Impulsão

Segundo Pascal, a pressão transmite-se igualmente em todas as direções, independente da forma do objeto. Isto pode ser demonstrado com um balão que tenha vários furos dispersos na sua superfície. Se enchermos o balão com água podemos observar que, a água sairá pelos seus orifícios numa direção perpendicular a superfície do balão. Caso fizéssemos o inverso observaríamos o mesmo facto, a água iria entrar perpendicularmente em relação as paredes interiores do balão. Logo, segundo Pascal, concluímos que a pressão do líquido atua perpendicularmente a superfície imersa.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



A Lei de Stevin afirma que a pressão dentro de um fluido, localizado na superfície do objeto, varia linearmente com a profundidade e essa variação é responsável pelo aparecimento de uma força resultante sobre um corpo imerso no fluido em questão.

Um balão é capaz de vencer a atração gravítica da Terra graças a essa força, chamada força de impulsão. Como a parte inferior do balão se encontra numa maior "profundidade", a pressão no local é maior que aquela atuante em suas partes superiores, pois a pressão aumenta com a profundidade. A pressão externa que atua sobre uma determinada área produz uma força. Quando essa força é integrada ao longo de todo o contorno do corpo resulta a sua impulsão, que é capaz, no caso do balão, de vencer parcialmente a atração da gravidade. A massa de ar existente no balão deve ter pouca densidade, de modo a tornar o peso total do balão menor que o valor da impulsão.

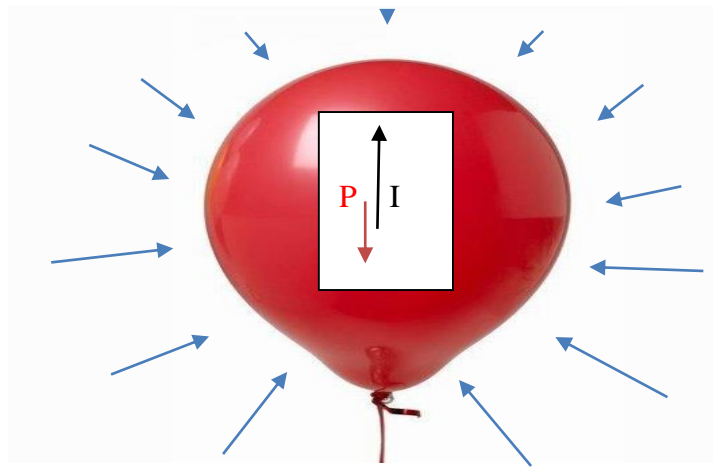


Figura 11- A pressão do líquido atua perpendicularmente á superfície imersa.

Este mesmo processo acontece com os objetos que estejam em contato com líquidos. Pois, a impulsão também é uma força exercida pelos fluidos, sobre corpos que esteja a flutuar ou submersos. Esta força, que tem o sentido de baixo para cima, acaba por resultar do gradiente de pressão (a pressão aumenta com a profundidade), e o seu ponto de aplicação é no centróide do volume deslocado.

Sabendo que, a força resultante numa chapa horizontal é aplicada no centróide, sendo esta dirigida de baixo para cima, na vertical, conseguimos calcular a impulsão de um objeto em contato com um fluido. Esta é calculada com base na diferença das forças aplicadas ao objeto, forças essas que apenas podem ser verticais.

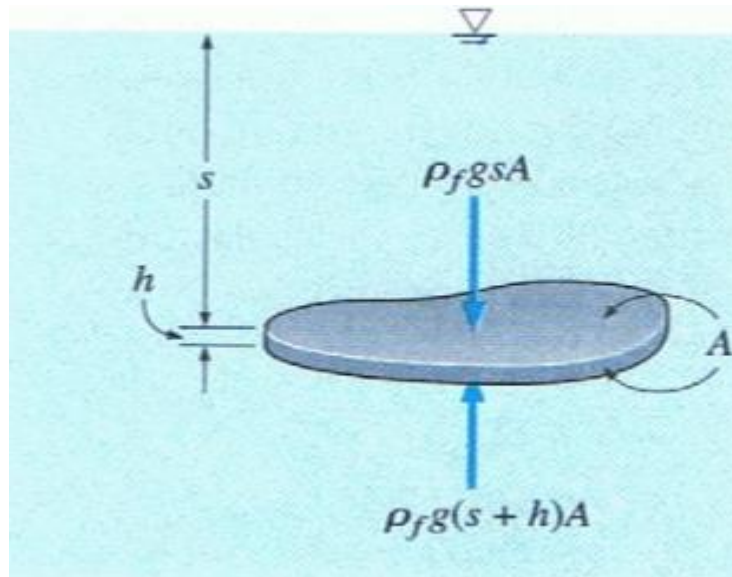


Figura 12- Uma chapa plana com espessura uniforme h submersa em um líquido paralela a superfície livre. (ÇENGEL & CIMBALA).

Logo, para obtermos a impulsão, temos que ter as seguintes fórmulas:

- Força na superfície inferior da chapa

$$F_i = \rho_f * g(s + h)A \quad 21$$

F_i = Força na superfície inferior da chapa

ρ_f = Densidade do fluido

g = Aceleração da gravidade

h = Altura a que o objeto está mergulhado no fluido

h =altura do objeto

A = Área

- Força na superfície superior da chapa

$$F_s = \rho_f * g * s * A$$

Logo, a impulsão é:

$$I = F_i - F_s$$

$$I = (\rho_f * g(s + h))A - \rho_f * g * s * A$$

$$I = \rho_f * g * h * A$$



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Podemos observar que, $\rho_f * g * h * A$ é a força do objeto no líquido, no entanto o seu volume, $h * A$, é igual ao volume do objeto. Então podemos deduzir que, o valor da impulsão é igual ao peso do líquido deslocado.

Segundo o **princípio de Arquimedes**:

A resultante das forças de impulsão sobre um corpo imerso em um fluido é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo, e age para cima no centróide do volume deslocado.

Como já pudemos ver, num corpo flutuante, a impulsão deve ser igual ao peso de todo o objeto. Então temos:

$$I = W \quad 22$$

$$\rho_f g V_{Im} = \rho_{obj} g V_{total}$$

$$\frac{V_{Im}}{V_{total}} = \frac{\rho_{obj}}{\rho_f}$$

I = Impulsão

V_{Im} = Volume imerso

V_{total} = Volume total

Com base nestas equações podemos concluir que, caso a razão das densidades seja igual ou maior que um, o nosso objeto flutuante deixa de ser flutuante e começa a ficar submerso.

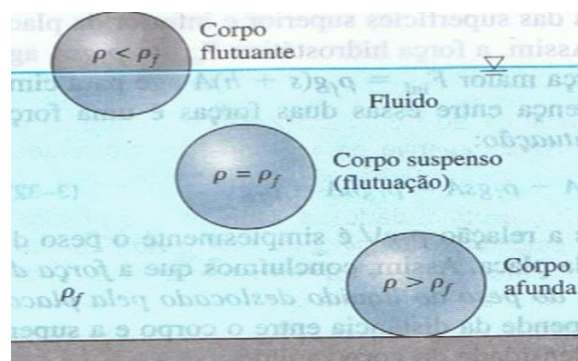


Figura 13- Corpo sólido solto em um fluido afundará, flutuará ou permanecerá em repouso em algum ponto fluido, dependendo de sua densidade com relação à densidade do fluido. (ÇENGEL, 2007).

Esta é a base da flutuabilidade dos submarinos, estes apenas utilizam as superfícies de controlo e precisam de encher os tanques com ar ou água, por forma a poderem imergir e emergir. Com base na Figura 13, dado ao facto da densidade do fluido ser diferente da densidade do material, quando o objeto encontra-se a flutuar verificamos



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



que a densidade do fluido é superior a densidade do objeto. Quando as duas densidades chegam a um equilíbrio, o nosso objeto permanece imerso e suspenso. A medida que a densidade do fluido diminuir, o objeto terá tendência para começar a afundar até chegar ao fundo.

3.3 Estabilidade

Um dos grandes problemas, e o mais importante nos navios está associado a estabilidade dos corpos que flutuam em um fluido em repouso ou corpos submersos. Pode-se dizer que um determinado corpo, independentemente da sua forma, encontra-se na sua posição de equilíbrio estável, quando este é perturbado tem a capacidade de retornar a sua posição inicial, original. O estado instável será o inverso do estável, pois ele ao estar numa posição de equilíbrio instável, se sofrer a mais pequena perturbação vai procurar uma nova posição de equilíbrio. Estas considerações sobre o equilíbrio são importantes para analisar os objetos submersos e flutuantes, isto porque a impulsão e o CG nem sempre são coincidentes. Assim, caso um batelão tenha uma ligeira rotação, este pode ser capaz de voltar à sua fase inicial ou então poderá passar o seu ângulo crítico e virar-se. Pois quando o navio atinge o ângulo crítico, que geralmente é dado pelo aumento gradual do binário inclinante, fica com tendência para poder virar-se. Porque este ângulo acaba por ser o ângulo limite a que o navio pode inclinar com segurança sob ação de forças externas. Este é um problema que acontece no nosso dia-á-dia. Quando estamos a navegar, normalmente por causa do vento e da influência da ondulação, sentimos uma perturbação, na superestrutura do navio. Esta perturbação vai causar o adornamento ao navio, momento inclinante, e este sempre apresenta um momento endireitante para voltar ao seu estado inicial. Por exemplo, se estivermos a falar num corpo submerso, e se o seu centro de gravidade ficar localizado por baixo do centro de impulsão, haverá uma rotação a partir do seu ponto de equilíbrio, que criará um momento endireitante. Na qual este é formado pelo peso, W , e pela força de impulsão I . Assim temos um binário que provoca uma rotação no corpo, que o vai colocar na sua posição inicial. Podemos afirmar que, qualquer objeto estará numa posição de equilíbrio estável, se o seu centro de gravidade estiver abaixo do centro de impulsão. Isso implica que, para o centro de gravidade estar abaixo do centro de impulsão o fundo do objeto tem que ser pesado.

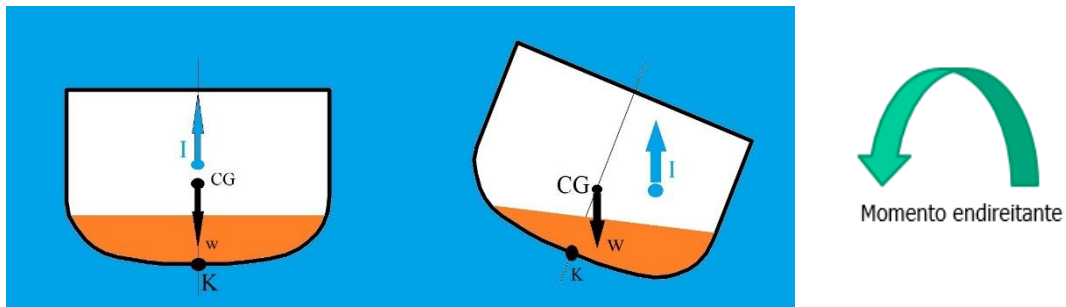


Figura 14- Estabilidade de um corpo submerso- estável.

Caso, o objeto apresente características diferentes, isto é, o centro de gravidade estar localizado acima do centro de impulsão. O binário formado pela impulsão e pelo peso, fará com que não haja momento endireitante e sim um momento inclinante. Logo, o objeto não terá força suficiente para voltar a posição inicial e irá adornar.

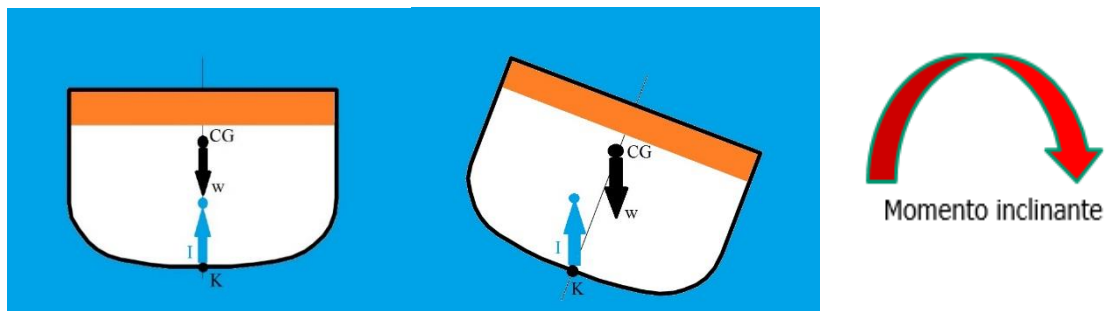


Figura 15- Estabilidade de um corpo submerso- instável.



Capítulo 4

Estabilidade inicial transversal



4.1 Condições de equilíbrio do navio

Como já foi visto no capítulo anterior, existem duas forças que atuam em um navio. Uma é o peso do navio, ou seja, é o deslocamento e atua de cima para baixo. Esta força é aplicada no ponto G (centro de gravidade do navio). Quando colocamos um navio ou um objeto flutuante na água, devido ao seu peso, ele terá tendência a afundar-se ligeiramente, acabando por ficar com alguma parte submersa. Logo o volume da parte que esta submersa chama-se volume de carena, sendo o seu centro o centro de carena. É no centro de carena, B, que é aplicada a outra força de impulsão e age de baixo para cima. Estando o navio na sua posição inicial, direita, estas duas forças ficam na mesma vertical. Dado ao facto de ambas terem direções opostas, elas anulam-se.

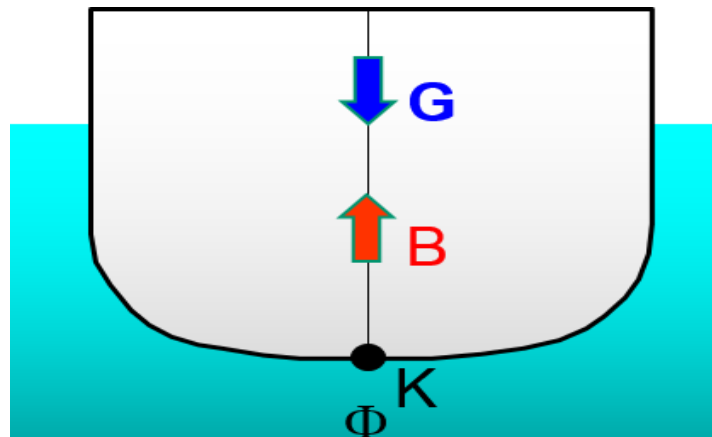


Figura 16 - G e B na mesma linha vertical sobre a linha central.

Vamos supor que o navio adorna, por algum motivo e que não haja movimentação de pesos, o G ira permanecer na mesma posição sobre a linha de meia-nau. No entanto o ponto B, dado o facto ser o centro de volume imerso, vai arranjar um novo centro da Figura imersa. Logo, neste caso, temos o centro de carena a descrever uma curva BB' como podemos observar na Figura 17. O centro dessa curva, descrita pelas sucessíveis posições do ponto B, chama-se “metacentro”. Dado ao facto de estarmos a falar da estabilidade transversal e considerando o casco em estudo com um casco com forma convencional, ele será o metacentro transversal, que é designado pela letra “M”. Assim, a cota do M, ou seja a sua distância vertical à quilha, tem o nome de altura do metacentro, KM. Contudo o metacentro não é um ponto fixo, ele apenas permanece constante para inclinações pequenas, inferiores ou iguais a 10°. No entanto, este valor não é fixo, pois este valor varia de navio para navio.

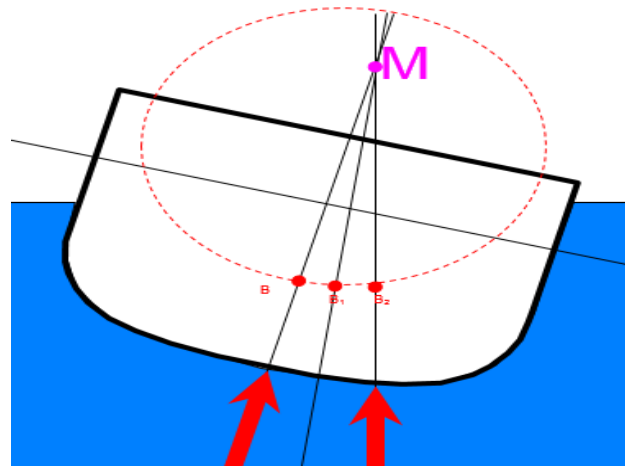


Figura 17 – Raio Metacêntrico, para ângulos iguais ou inferiores a 10° .

Assim, na estabilidade estática transversal apenas podemos abordar três pontos importantes:

- B – centro de carena, a qual podemos obter o KB, distância da quilha ao centro de carena, através das curvas hidrostáticas;
- M – metacentro transversal, onde também podemos obter o KM, distância da quilha ao metacentro, através das curvas hidrostáticas;
- G – centro de gravidade, a sua localização é determinada através do cálculo do centróide de figuras compostas, quando este está em deslocamento leve. A distância da quilha ao G, KG, chama-se altura do centro de gravidade

A distância do centro de carena, B, ao metacentro, M, chama-se raio metacêntrico transversal, BM.

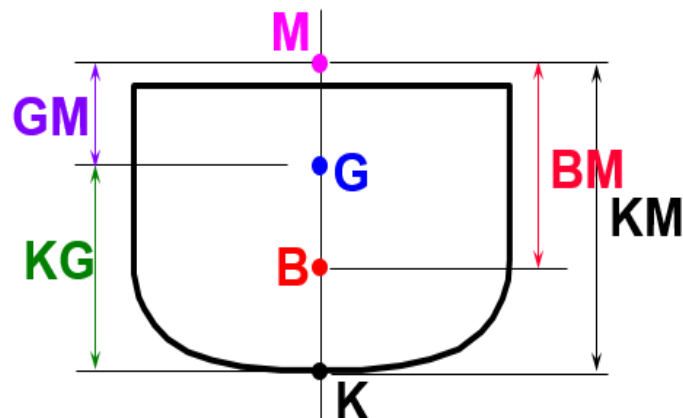


Figura 18– Raio metacêntrico, distância do centro de carena até ao metacentro- BM.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



A distância entre a altura do metacentro e a altura do centro de gravidade, na vertical, tem o nome de altura metacêntrica transversal (GM).

Referir que quanto maior for a GM menor será o balanço do navio, isto é, mais rapidamente voltam a sua posição inicial. Esta é uma característica dos navios de guerra. Os navios mercantes onde é privilegiado o conforto em detrimento de outras características, têm uma pequena GM.

Agora podemos relacionar a posição dos três pontos importantes na estabilidade: metacentro (M), centro de gravidade (G) e o centro de carena (B).

No primeiro caso falaremos do equilíbrio estável, que será a posição M acima de G, ou seja o nosso KG tem que ser inferior ao nosso KM.

Logo:

$$GM = KM - KG > 0$$

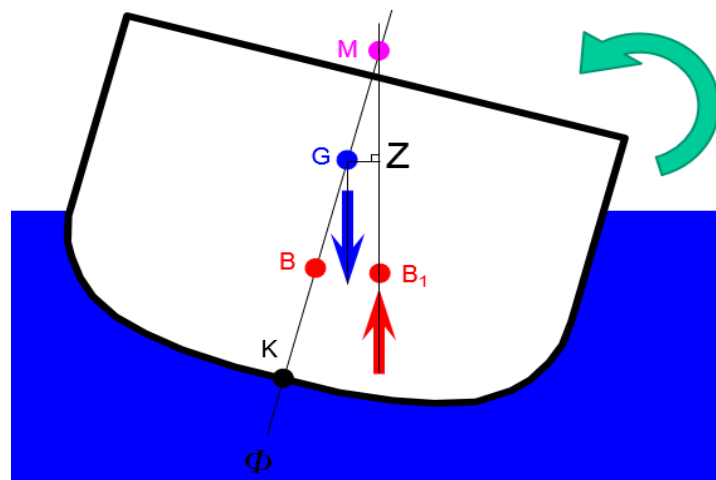


Figura 19 - Estabilidade positiva

Neste caso acima, como é mostrado na Figura 19, ao inclinarmos o navio, vamos observar que o centro de carena desloca-se para fora da linha central do navio. Logo, a força de impulsão ao atuar de baixo para cima, e a força da gravidade ao atuar de cima para baixo, este movimento vai criar um binário, com designação de Binário Endireitante (BE), que tende a restaurar a posição inicial de equilíbrio. Então, podemos dizer que, neste caso o nosso navio está em equilíbrio estável.

No segundo caso falaremos do equilíbrio neutro. O que difere do primeiro caso é o facto do altura metacêntrica estar a uma altura igual ao centro de gravidade. Então teremos:



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados

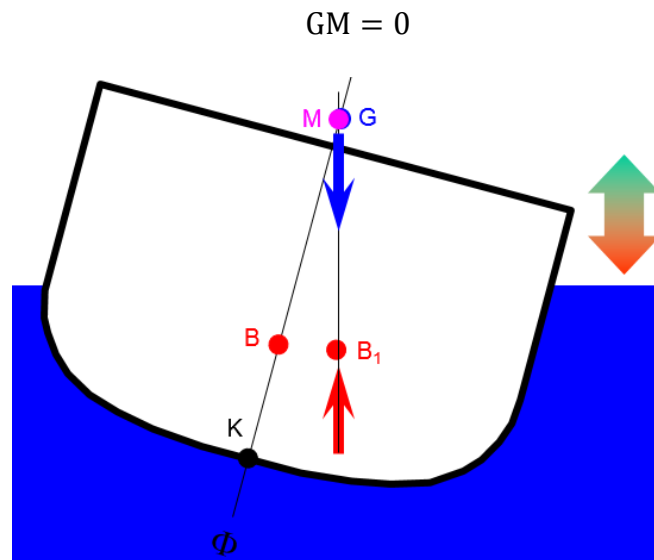


Figura 20 - Estabilidade neutra

Neste caso, qualquer que seja a inclinação do navio, o peso e a impulsão vão atuar na mesma linha de força, o que vai fazer com que estes anulem-se. Então, o equilíbrio será indiferente pois, o navio poderá ficar assim em qualquer posição. Não podemos esquecer que o centro de gravidade movimenta-se, dado isto, o navio ao adornar vai fazer com que o metacentro suba ligeiramente, e este fique acima do C.G. Dado isto, ficamos com um momento endireitante, o que vai fazer com que o navio não atinja o ângulo crítico.

Por último, temos o caso do metacentro ficar abaixo do centro de gravidade ou seja:

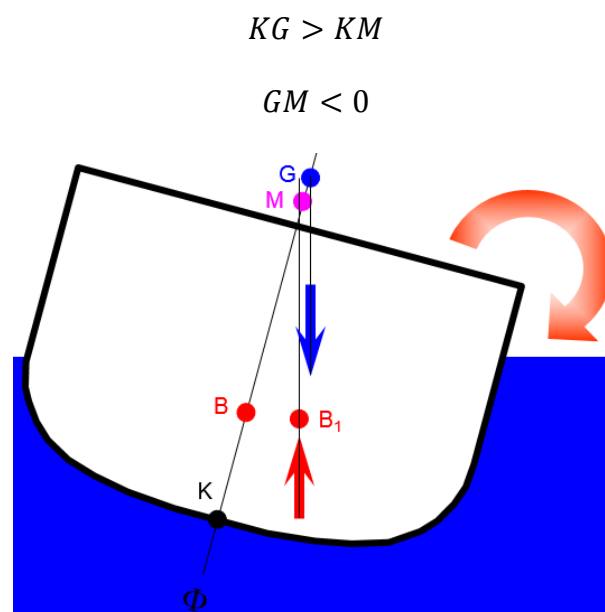


Figura 21- Estabilidade negativa



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Isto, leva com que o navio saia da sua estabilidade inicial, estável, por qualquer que seja o motivo, e comece a adornar para um dos bordos, o que fará com que o centro de carena passe a ter novas posições, B_1 . Basta que ele saia da sua posição de equilíbrio, surgirão braços inclinantes que farão com que o navio vire.

Dado ao facto da altura metacêntrica ser negativa, quanto menor for a distância entre o G e o M, as novas posições do centro de carena irão alcançar a linha vertical que passa por G de uma forma muito lenta. Então nesse momento o navio encontrar-se-á num equilíbrio indiferente. Mas se a GM for bastante grande, então as novas posições do centro de carena irão alcançar a linha vertical que passa através do G, com maior força de rotação. Assim o navio continuará a adornar até soçobrar. Isto acontece porque, devido a GM ser negativa e grande, forma-se um momento inclinante que força o navio a virar-se.

Dos três exemplos da estabilidade, podemos concluir que, a altura do centro de gravidade é um dos fatores que afeta a estabilidade transversal. Sabemos que, quanto maior for o valor do BE, a estabilidade transversal de um navio melhora. Como podemos ver nas tabelas do Anexo C, quanto mais baixo é o valor da altura do centro de gravidade, maior será o valor do braço do BE

4.2 Altura Metacêntrica. Binário De Estabilidade

Como já vimos anteriormente, a altura metacêntrica é a distância vertical que compreende do centro de gravidade até ao metacentro. O seu valor é dado por:

$$GM = KM - KG \quad 23$$

A altura metacêntrica calculada por esta fórmula, e chamada altura metacêntrica inicial, dado ao facto que, quando o navio adorna para uma ângulo superior a 10° o metacentro começa a deslocar-se, descrevendo assim uma curva denominada evoluta metacêntrica.

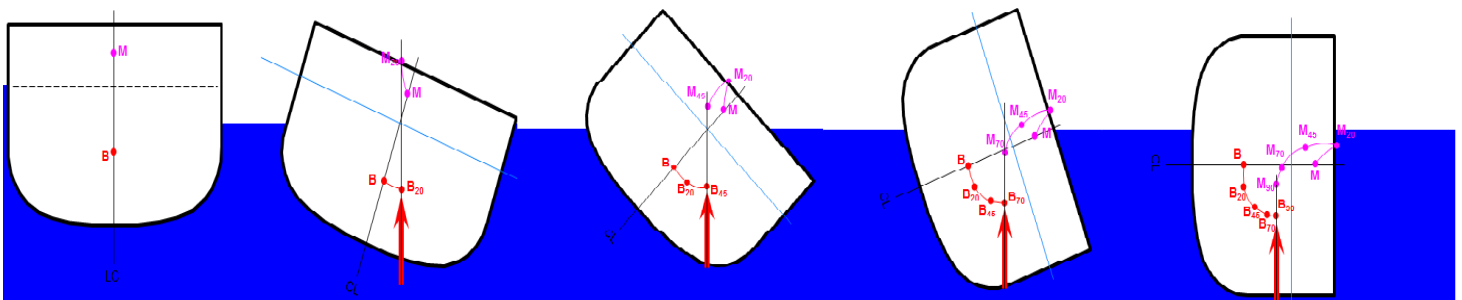


Figura 22 - Evoluta metacêntrica



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Como já foi dito, quando o navio adorna, o B também adorna para o respetivo bordo. Neste caso atuam duas forças: a força da impulsão e a força do centro de gravidade. O que acaba por formar um binário, como podemos ver na Figura 23, que funciona como um braço de alavanca, ou seja, a menor distância entre as duas forças, é \overline{GZ} .

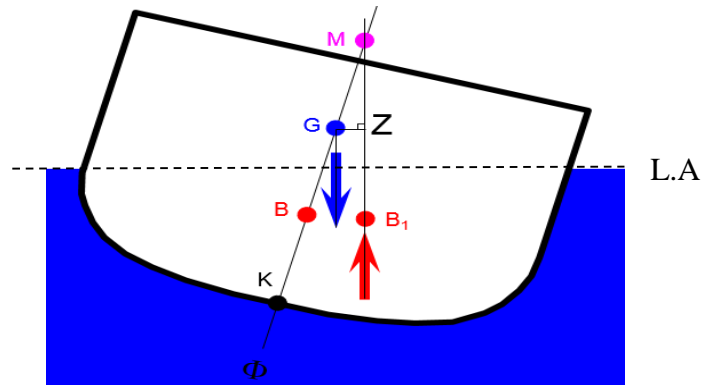


Figura 23 - Distancia GZ

Note que, na Figura 23 acima indicada, o braço indicado \overline{GZ} é positivo. Pois, o BE tem tendência para endireitar o batelão. Caso as setas do G e B₁ fossem opostas, sendo a KG superior a KM, então teríamos os braços negativos. Neste caso estaríamos perante ao Binário Inclinante (BI). O BI iria ser superior ao BE, acabando assim pelo BI contrariar o momento endireitante representado na Figura 23. Dado isto, o navio não consegue estabelecer uma situação de equilíbrio, ocorrendo então o soçobramento do navio. No caso representado na Figura 23, estamos perante ao braço de estabilidade. Logo podemos dizer que o braço de estabilidade é chamado geralmente por GZ.

Já podemos ver que, o braço de estabilidade é o \overline{GZ} , logo temos:

$$\overline{GZ} = GM * \text{sen}\theta \quad 24$$

Onde

\overline{GZ} = braço de estabilidade

\overline{GM} = altura metacêntrica transversal

θ = ângulo de adornamento

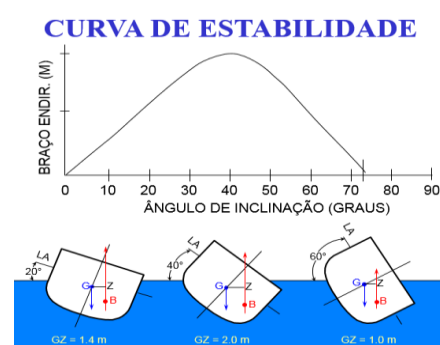


Figura 24- Curva de estabilidade

Com base na Figura 24 acima, podemos observar que para os casco com forma semelhante aos da Figura, o braço de estabilidade tem tendência a aumentar até aproximadamente 42° de inclinação. Então, o navio nesse intervalo apresenta um



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



equilíbrio estável, pois, qualquer que seja o desvio da sua posição inicial ele tenderá a restaurar rapidamente, dependendo da distância da \overline{GM} , a sua posição de equilíbrio. A partir do 42° , a curva de estabilidade apresenta um declive, começamos a diminuir o braço de estabilidade. Neste momento, o navio apresenta pouca força para voltar a sua posição de equilíbrio e em certos casos, dependendo da estrutura estanque do navio, este começa a embarcar água através do convés. O que dificulta ainda mais o retorno a posição de equilíbrio. Podemos dizer que, quando o navio atinge os 72° fica instável, porque, o binário endireitante produzido é muito pequeno e a partir deste ponto o embarque de água fará com que o navio perca completamente o binário de endireitante.

4.3 Estabilidade em avaria

Na possível probabilidade de ocorrência de algum dano estrutural no casco, na qual permita a entrada de água para o navio, ficamos perante a uma estabilidade em avaria. Nestes casos ficamos perante a presença de um alagamento, na qual podemos dividir em duas grandes possíveis consequências. A primeira será a perda de fluabilidade e por consequência a possível mudança no caimento e adornamento. Esta consequência tem tendência a gerar uma inclinação no navio. Esta inclinação irá depender da quantidade de água embarcada. A segunda consequência será no nível transversal, dado o facto de o navio começar a alagar de uma forma descontrolada, acaba por originar a perda da estabilidade do mesmo, que pode fazer com que o navio acabe por soçobrar.

De um modo geral, os navios convencionais não apresentam capacidade para que, quando estes estejam a alagar ou já tenham um compartimento totalmente alagado, possam manter na posição direita, estável. Só os navios apresentam estabilizadores é que ainda conseguem ficar na posição mais próxima da direita em caso de um alagamento, isto depende apenas do volume do compartimento alagado.

O problema dos alagamentos surge quando este passava de um compartimento para o outro. Se observarmos, antigamente os navios não apresentavam portas estanques, o que acabava por originar em alguns casos o alagamento progressivo dos compartimentos. Uma das maneiras de podermos evitar esta catástrofe é a subdivisão dos navios em compartimentos, o que acaba por acarretar em custos acrescidos no projeto. A maioria dos navios que apresentam esta vantagem são os navios preparados para combater, estes aproximam-se mais dos ideais da compartimentação. Na área comercial ou turística, torna-se um compromisso entre o custo e a segurança. Este dilema foi



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



parcialmente resolvido para os navios de passageiros pelo desenvolvimento de padrões internacionais, considerados por todos aceitáveis, considerando o tamanho dos navios, número de passageiros que transporta, a natureza do serviço, ambiente de operação. (SNAME, 1988)

4.3.1. Efeitos do alagamento

Quando estamos perante a um rombo no casco do navio, a água circundante vai entrar por esse rombo, devido a forma que o navio apresenta e diferenças de pressões. O nível de água que está dentro do navio só irá estabilizar quando a água circundante ao navio e o compartimento danificado atingirem o equilíbrio, ou mesmo até que o navio afunde. O objetivo das anteparas estanque no navio é garantir que a água não progrida mais para o interior do mesmo, não afetando assim o resto dos compartimentos. Logo, se um navio tiver muitas anteparas estanques, menos riscos temos que o navio afunde, o que acaba por ser uma conclusão errada. Pois, por mais resistência estrutural que o navio apresente, ele não consegue resistir à mais violenta colisão, ao pior dos encalhes, ou mesmo ao torpedo mais explosivo. A probabilidade de um navio, que sofreu um dano, sobreviver a uma inundação, está dependente do número de variáveis e fatores correlacionados (COMSTOCK & ROBERTSON, 1961), sendo os mais pertinentes a grandeza dos danos, a localização e número de anteparas estanques. Assim, para que o navio não fique comprometido ao rombo, este vai depender da localização do rombo, do seu tamanho e da profundidade, este último penso que seja o mais importante, pois como temos observado e também já foi explicado nos capítulos anteriores, o facto de o rombo situar-se muito abaixo das obras vivas, a água terá maior pressão e maior caudal de entrada no compartimento comprometido, acabando assim por poder comprometer a flutuabilidade do navio. Temos um caso parecido, apesar de a água entrar na escotilha do castelo do navio inglês MV Derbyshire. Pela pesquisa efetuada chegaram a conclusão que durante uma violenta tempestade, a água do mar entrou pela conduta de ar AV e foi alagando o compartimento. Este depois de alagado, a pressão da água salgada e a ajuda da tempestade fizeram que a antepare cedesse e alagasse o compartimento adjacente. O alagamento foi progressivo e até chegar ao espaço de máquinas. Podemos ver que apesar de não termos a água a entrar no compartimento com um caudal elevado, foi o suficiente para fazer com que o mercante fosse ao fundo.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



O navio consegue aguentar um rombo consideravelmente “pequeno”, ou mesmo um alagamento causado por razões demonstradas no exemplo acima. Mas dado o facto de todo o material ter um limite estrutural, uns mais outros menos, neste caso o navio não foge a regra, pois ele apresenta com uma flutuabilidade constante até um determinado ponto, mas chega a uma altura que a sua própria resistência, a sua estrutura, não aguenta com todas as tensões presentes, e acaba por ceder. Ora, mesmo com compartimentação estanque, se forem atingidos mais do que aqueles que o navio necessita para manter a flutuabilidade, certamente que se irá afundar, num curto espaço de tempo. As anteparas estanques ou mesmo as anteparas servirão como um escudo para o navio, elas retardarão o avanço do alagamento, tudo apenas dependerá, como já tinha dito, da resistência da estrutura do navio.

O alagamento vai trazer consequências nas características da estabilidade de um navio. Vou considerar que, o compartimento alagado liga um bordo ao outro, e o centróide do volume está alinhado com o G do navio. Quando o compartimento começa a alagar, acabamos por estar a embarcar peso, surgindo assim o problema da localização do G do compartimento. Pois, se o rombo for muito abaixo da linha de água, por mais pequeno que seja o rombo, a pressão circundante vai fazer que entre um enorme caudal de água, alagando assim o compartimento por completo. A água contida nesse compartimento vai funcionar como se fosse um peso sólido. Funcionará da mesma maneira que um embarque de peso. Ao colocarmos uma carga, será necessário calcular o novo G, pois o KG antigo foi alterado pelo peso embarcado.

Para este cálculo podemos utilizar a seguinte formula:

$$KG_1 = KG + \frac{w*d}{W} \quad 25$$

KG = Altura do centro de gravidade

KG_1 = Altura do novo centro de gravidade

w = Peso adicionado

d = Distância

W = Peso total do Batelão

Consoante a localização da altura do peso embarcado, a estabilidade transversal irá responder diferente para as respetivas disposições do peso. Sendo assim, caso a altura do peso seja inferior a KG , o navio poderá melhorar, piorar ou mesmo manter as características de estabilidade. Caso a altura do peso embarcado seja superior a KG , o



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



navio perderá as características de estabilidade. É de realçar que, estas duas situações, apenas vão depender do valor do w e da KG.

4.3.2. Compartimentação

Antigamente os construtores dos navios, não se preocupavam com a segurança do próprio navio, apenas queriam que estes fossem rentáveis. Esqueciam-se que todos os navios que navegavam no mar eram expostos a determinadas condições, como o Cabo da Boa Esperança, na qual muitos navios não resistiam devido ao elevado esforço mecânico na qual eram submetidos. Dados os navios estarem constantemente expostos ao perigo do alagamento descontrolado, os projetistas decidiram como solução de minimizar os possíveis estragos colocar a compartimentação estanque. Assim já seria possível delimitar a água num espaço, o que limitava o possível alagamento apenas nesse compartimento.

Inicialmente os navios eram construídos apenas com materiais flutuantes, sendo a base de todos eles a madeira, e mais tarde começaram a ser de alumínio. Sabia-se que com base na sua forma e densidade ele era capaz de ter uma boa flutuabilidade, mas se houvesse um alagamento descontrolado não existia garantia da sua flutuabilidade. Como o exemplo, temos o grande acidente marítimo que foi o *Titanic* em 1912, que dado a sua estrutura e fragilidade em termos de arquitetura fez com que o rombo feito no seu casco tenha sido decisivo para o afundamento do navio. Apesar de este navio já apresentar compartimentos estanques, a deficiência da estanquicidade surgiu quando os compartimentos que supostamente eram estanques, de facto não eram estanques no seu topo. Foi com base no acidente que ocorreu o maior desenvolvimento no que diz respeito à segurança marítima, (GILLMER, 1972). Este acidente fez com que os arquitetos comessem a projetar os navios de um outro ponto de vista, dando assim importância às consequências de um rombo no mar, pois as vidas humanas começaram a ter peso, sendo elas as principais razões para o navio sair para o mar. Para isso foi necessário eles concentrarem-se na compartimentação do navio. O estudo da compartimentação evoluiu muito rápido e dada a complexidade das funções dos navios de guerra foi necessário introduzir a compartimentação neles. Contudo foi possível obter bons resultados, como exemplo temos o navio americano *USS Cole*, que foi atingido por um bote, este contendo explosivos, o que danificou o través de bombordo. Mas dado a compartimentação e a rápida intervenção dos marinheiros a bordo, conseguiram fazer com que os



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



compartimentos adjacente aos danificados, suportassem o alagamento e este não danificasse mais a estrutura do navio.



Figura 25- Navio USS Cole depois de ser atingido por um bote cheio de explosivos (Daily Vessel Casualty & Pirate Attack Database 2000)

Os navios de guerra são construídos nestes pressupostos, desde que começaram a ser construídos em metal. Devido a situação de combate, estão expostos a rebentamentos e rombos no casco abaixo da linha de água. Estes tipos de navios são extremamente compartimentados e, por vezes, é excecional a sua capacidade de flutuabilidade, por mais graves que sejam os danos no casco e o nível de inundação dos compartimentos.

4.4 Efeito Dos Espelhos Líquidos

Quando estudamos o equilíbrio dos corpos flutuantes, temos tendência em assumir o centro de gravidade, como todo o interior do navio, como imutável enquanto este adorna. Mas esquecemos, que geralmente este está carregado com água, seja ela salgada ou não, e combustível. Geralmente, o navios quando saem para o mar para fazerem longas distâncias, estes tem os tanques cheios. O problema aparece quando os tanques começam a vaziar. Nesse momento, ficamos com os líquidos a metade da altura do tanque, logo o líquido fica com superfícies livres que acabam por dar liberdade para este movimentar-se de um lado para o outro quando o navio adorna.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados

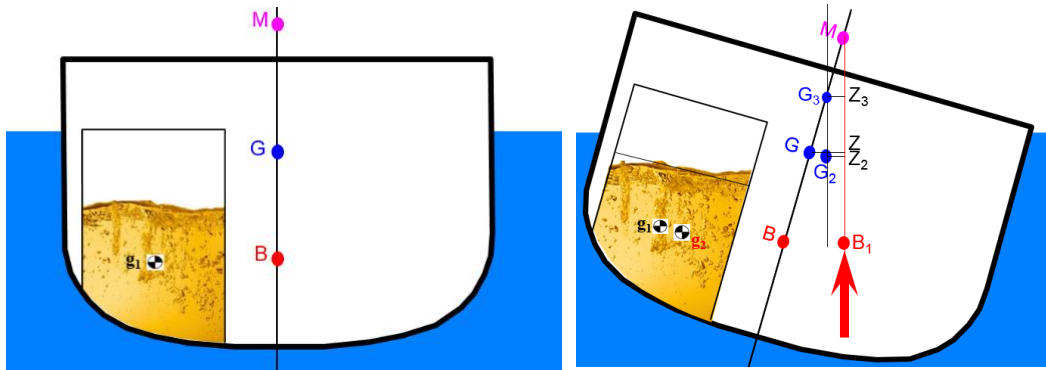


Figura 26 – Efeito do Espelho Líquido

Quando o navio adorna, o nosso líquido seguirá o movimento do navio, logo teremos transferência de uma cunha de água de um bordo para o outro. Ou seja, podemos dizer que estamos presentes a uma movimentação de pesos, na qual será provocada pela movimentação do centro de gravidade do navio de G_0 para G_2 . Este processo, provoca mais adornamento ao navio, dado que inicialmente o navio começou a adornar por motivos de forças externas. Este fenómeno, está ligado com o volume do compartimento, visto que se este for demasiado grande, o movimento do G_2 será muito maior, o que pode fazer com que o momento endireitante não consiga fazer com que o navio volte para a sua posição de equilíbrio.

O batelão, que foi desenvolvido para efetuar a dissertação, apresenta nove aberturas na parte superior, como podemos ver na Figura 27:

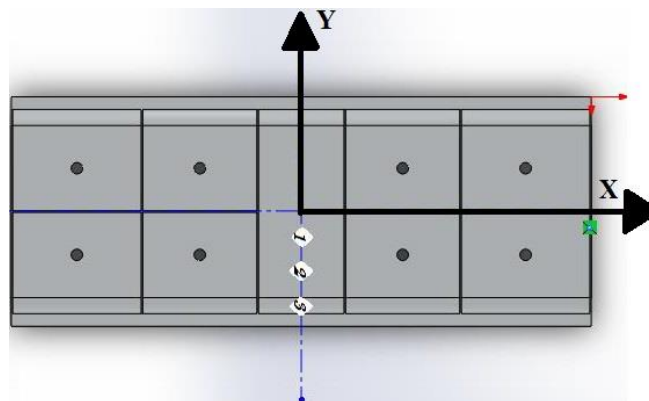


Figura 27-Batelão

Estas aberturas vão facilitar a entrada de água para os diversos compartimentos. No momento, em que estiver a colocar o navio na posição inicial, este vai embarcar água para os cinco possíveis compartimentos. Como já vimos no capítulo anterior, temos o momento que tanto pode ajudar, como também pode dificultar a posicionar o navio na posição de equilíbrio. Logo, ao colocar o navio na posição de equilíbrio, os compartimentos alagados vão comportar-se como superfícies livres. Neste caso, teremos



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



o efeito dos espelhos líquidos no batelão. O que pode tornar-se perigoso, dependendo do compartimento alagado, porque quando o batelão estiver a chegar a sua posição de equilíbrio, devido ao peso embarcado sairá da posição de equilíbrio estimada. Dado isto, ele terá tendência a adornar para outra posição de equilíbrio ou mesmo para virar-se ao contrário.

O alagamento dos compartimentos vai provocar outro fenómeno no batelão, o nosso centro de gravidade vai deslocar-se. Ao alagarmos o compartimento, será o mesmo que introduzirmos o peso na vertical. Pelo facto do alagamento ser rápido, teremos uma subida vertiginosa do centro de gravidade. Este processo torna o nosso batelão ainda mais instável, pois, acabamos por aproximar o centro de gravidade ao metacentro.

$$GG_3 = \frac{B^3 * L * \rho}{12W} \quad 26$$

B = Largura do compartimento na direção BB/EB.

L = Comprimento do compartimento na direção proa/popa.

W = Deslocamento final do navio (já após ter adicionado a carga líquida)

ρ = Densidade do líquido.

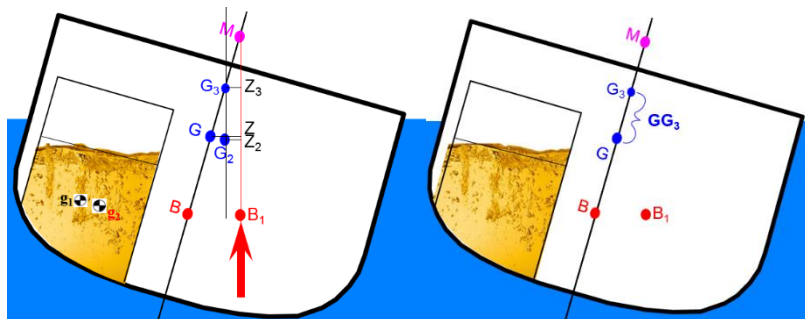


Figura 28 – Subida do centro de gravidade, devido aos espelhos líquidos

Como podemos observar na Figura acima, temos uma subida no centro de gravidade, o que implica uma redução na altura metacêntrica.

Com base na adição de pesos, o batelão só reduz a altura metacêntrica se o alagamento for superior a altura do centro de gravidade. No entanto, se o alagamento for abaixo do centro de gravidade, aumentaremos a altura do metacentro e aumentamos a estabilidade. Mas, estas duas condições não implicam que deixe de haver o efeito dos espelhos líquidos.



Capítulo 5

Modelo experimental



5.1 Modelo

Por ser difícil, saber o comportamento físico de um navio, o normal é basearmos apenas em modelos e pressupostos matemáticos. Dado isto, penso que é importante e muito útil a construção de um modelo á escala ou o mais aproximado possível. Isto permite testar e se possível calibrar todo o sistema, de modo a obter o comportamento pretendido.

Por não ser fácil, a construção de um navio com dimensões mais reduzidas, vou utilizar um batelão, o qual foi contruído em alumínio.

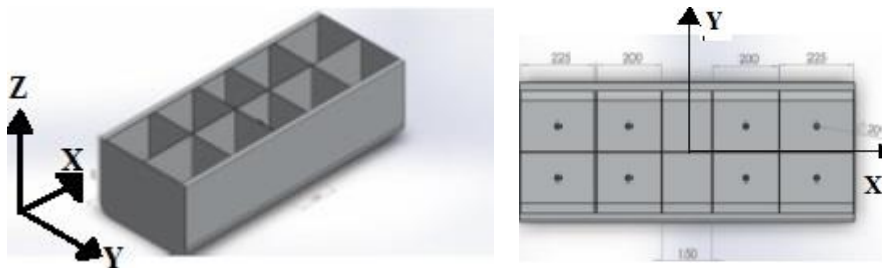


Figura 29- Vista geral do Batelão

Do batelão representado na Figura acima, podemos constatar que ele não apresenta o casco do navio tradicional. Eu escolhi este batelão, pelo facto de apresentar vários compartimentos, o que permitiu fazer uma experimentação controlada nos diversos compartimentos alagados que podem ser estudados. Com o tempo adequado, o objetivo seria aproximar a forma do casco do modelo a uma forma exata à escala de um casco real, com a hipótese de simular os espaços interiores.

Por forma a aplicar uma força ao batelão, é necessário dois cabos de aço. Estes cabos, vão ficar fixos no anel e com um desfasamento de 180° , como mostra a Figura 30 De modo que, quando o batelão estiver na sua posição direita e estável, um dos cabos fixado na parte superior do anel do batelão saia tangente e na horizontal com anel em direção ao motor. O outro cabo, ficará preso na parte inferior do anel e também numa estrutura de metal.

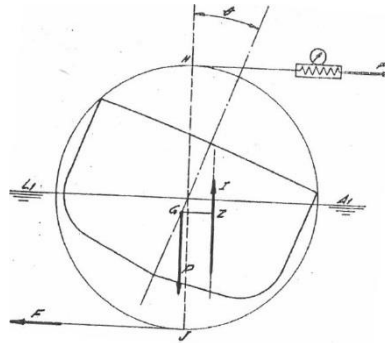


Figura 30- Batelão com o anel. (Rogério S. D'Oliveira)

Como podemos observar na Figura 30 para obtermos a força será necessário colocar no cabo de alumínio um medidor, um dinamómetro seria o ideal. Na ausência do dinamómetro, podemos também utilizar uma balança devidamente calibrado. Para conseguirmos obter o momento endireitante, teremos que saber o braço, \overline{NJ} , e a força obtida no dinamómetro. Assim, conseguimos obter o momento calculado na parte prática e podemos comparar com a parte teórica.

Sabendo que o momento é dado pela seguinte equação:

$$M = F * d \text{ (N.m)} \quad 27$$

M = Momento

F = Força

d = Distância

Assim, para obter o momento do batelão para cada ângulo, posso utilizar a equação acima. Desta forma, a força é obtida no dinamómetro apresentar-se-á em Kg, e a distância que desejamos obter, que será sempre o diâmetro do anel, que será o nosso braço. A única alteração, em relação a fórmula, será em termos de unidades, pois esta em vez de aparecer em $N.m$ apresentar-se-á em $Kg.m$.

Neste momento, será possível calcular todos os momentos para os vários ângulos possíveis. No entanto, será necessário construir ou desenhar escalas, para que possamos retirar os valores dos ângulos com alguma precisão. De forma que, quando o batelão esteja adornado a um determinado ângulo, eu consiga tirar rapidamente o valor no dinamómetro. Assim, podemos obter com a ajuda de um pêndulo, ou outro objeto, os valores dos graus a que este está inclinado. Estes, possivelmente, vão variar entre os 180° e os 90° , porque para valores inferior a 90° a dinamómetro não conseguirá retirar valores, pois o batelão ganhará o momento endireitante e o cabo de alumínio perderá a tensão.

Neste momento, já será possível calcular o momento endireitante para cada ângulo. Apenas, será necessário obter os braços, GZ , para os vários deslocamentos



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



possíveis. Para isso, é necessário estudar as curvas hidrostáticas e as curvas cruzadas, por forma a conhecer melhor o comportamento do batelão em várias situações possíveis. Só, quando obtiver as curvas cruzadas é que poderei calcular o momento na teoria, pois esta curva dá-nos logo o GZ para o um determinado deslocamento e o ângulo.

Assim, será possível comparar a teoria com a prática. Para isso, teremos que nos basear na seguinte equação:

$$M = D * \overline{GZ} = F * d \quad 28$$

\overline{GZ} = Braço endireitante

de onde, podemos retirar o valor da força:

$$F = \frac{D}{d} * \overline{GZ}$$

Assim, podemos obter todas as forças aplicadas nos ângulos entre os 180° e 0°. É de realçar que nenhum valor chegara aos 0°, pelo facto do batelão apenas embarcar água em um bordo durante a sua rotação para a posição inicial. O batelão quando estiver numa posição estável, acabará por comportar-se como se tivesse embarcado um peso num bordo.

5.2 Curvas Hidrostáticas

Quando se constrói um navio, é por norma calcular-se e traçar as curvas, como uma série de propriedades hidrostáticas da forma do navio. Estas curvas, são elaboradas por forma a vigorarem as características do navio. Elas são úteis para o estudo da carga e estabilidade durante a fase de projeto.

As curvas hidrostáticas, tem como finalidade apresentar as propriedades de um navio em função do seu calado. Consoante o calado do navio, podemos concluir que através destas curvas obtemos as propriedades hidrostáticas para as diferentes condições de operação. Assim, as curvas dão de uma forma geral a ideia do comportamento da embarcação do ponto de vista hidrostático.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Na execução da dissertação, foi necessário construir as curvas hidrostáticas, também chamada por carenas direitas. Com estas curvas, será mais fácil perceber como o batelão pode responder aos diferentes tipos de alagamentos nos compartimentos. Como um dos objetivos é estudar os alagamentos dos diferentes compartimentos do batelão, então a partir das curvas hidrostáticas posso facilmente saber determinadas características que possibilitam controlo da estabilidade do navio. Isto é, como determinados compartimentos estarão alagados, o deslocamento do batelão irá por consequência aumentar. Com o novo deslocamento posso entrar no gráfico de carenas direitas e tirar qualquer das características que o gráfico apresente, como podemos ver no Anexo B. O gráfico de carenas inclinadas apenas podemos retirar o braço de estabilidade.

Os cálculos que são necessários envolvem, em sua grande maioria, a integração de áreas e volumes. Assim é fundamental um bom conhecimento das regras e métodos de integração. Atualmente, é possível produzir curvas apenas com base nos programas, que já fazem os cálculos necessários com maior rapidez e precisão, com base na forma de casco desenhada em determinados programas.

No Anexo B podemos ver representadas as curvas hidrostáticas do batelão em estudo, na qual podemos ver as tendências do batelão para as diferentes imersões.

Com base no Anexo B podemos observar que a partir das diferentes linhas de água conseguimos retirar diferentes tipos de grandezas como o deslocamento, raio metacêntrico e a altura do centro de carena.

Este gráfico foi efetuado para o estudo do batelão no Tanque do Laboratório de Arquitetura Naval. Como é costume calcular as grandezas do gráfico para a água salgada, não nos podemos esquecer que para esta dissertação vou utilizar a água do tanque. Vou partir do pressuposto que, a densidade da água terá o valor de $1Kg/m^3$, devido ao facto da água do tanque ser água doce.

O gráfico de curvas hidrostáticas ou carenas direitas são indispensáveis em todos os problemas de estabilidade. Pois, como já vimos, a sua apresentação é variável no que respeita a várias sobreposições das diversas curvas.



5.3 Curvas Cruzadas De Estabilidade

Como já vimos no capítulo anterior, a fórmula utilizada para o diagrama de estabilidade

$$\overline{GZ} = GM * \text{sen}\theta \quad 29$$

só é válida para os ângulos de estabilidade que variam entre 0° e os 8°. Pois, a partir desta gama de resultados começamos a entrar para os cálculos de estabilidade a grandes ângulos de inclinação, onde as linhas de flutuação com o navio direito e inclinado acabam por não estar coincidentes com o eixo simétrico do navio. Como pudemos observar, a grandes ângulos o metacentro também sairá da sua posição inicial.

Dado ao facto do deslocamento e do C.G. variarem, o braço de estabilidade é reproduzido com base a três variáveis: a posição do C.G., o ângulo de inclinação e o deslocamento. Logo, ao considerarmos um Polo, obtemos a seguinte expressão:

$$\overline{GZ} = f(\theta, D) \quad 30$$

Assim, se obtivermos o diagrama de estabilidade, teremos uma curva para um valor de deslocamento ou imersão. Da função, para o respetivo gráfico de carenas inclinadas, posso entrar para o mesmo gráfico com vários valores de deslocamento, e cada valor de deslocamento ao intersestar com a linha do respetivo ângulo dará o valor do braço, GZ . Podemos concluir que, ao entrarmos com um determinado deslocamento, os valores que retiro do braço para esse deslocamento, serão os mesmos valores que obtemos em um gráfico de estabilidade para esse mesmo deslocamento, como podemos ver no Anexo C.

Para obtermos o braço de estabilidade, são conhecidos vários métodos de cálculo, na qual muitos programas utilizam para calcular de uma forma mais aproximada e rápida.

Para a dissertação, será necessário contruir um gráfico de carenas inclinadas. Só assim consigo saber a evolução do braço de estabilidade do batelão, para os diferentes ângulos de inclinação e deslocamentos. Apenas, vou focalizar-me na integração numérica para poder obter a vasta gama de resultados, como momentos do volume transversal, e da respetiva área para um determinado deslocamento e ângulo de inclinação.

No início do cálculo, temos que considerar um ponto arbitrário, na qual é chamado por **Polo**, para assim conseguir obter os valores dos braços de impulsão. O polo, terá a mesma posição que o centro de gravidade.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Assim, para um determinado deslocamento, teremos um volume e um momento do volume para um dado eixo perpendicular às linhas de flutuação. O que na prática, quando o batelão estiver adornado a um determinado ângulo, a área ocupada terá que ser igual à calculada anteriormente para a posição inicial. O navio ao adornar a um ângulo superior aos 8°, a linha mediana não irá dividir por igual as áreas de um bordo e do outro bordo. Logo, teremos um bordo com uma cunha acima da linha de água muito menor que a cunha que esta dentro de água. Dado ao facto, o volume imerso quando o batelão estiver adornado ser igual ao volume imerso do batelão na sua posição direita, ficamos assim com uma ligeira facilidade, em calcular o centróide da nova posição do batelão. Este novo centróide, vai indicar-nos a linha da localização do nosso ponto Z . Dado o braço de estabilidade ser GZ , e sabendo que, o nosso polo está coincidente com o nosso C.G., então podemos concluir que os novos braços de estabilidade a grandes ângulos serão PZ_p .

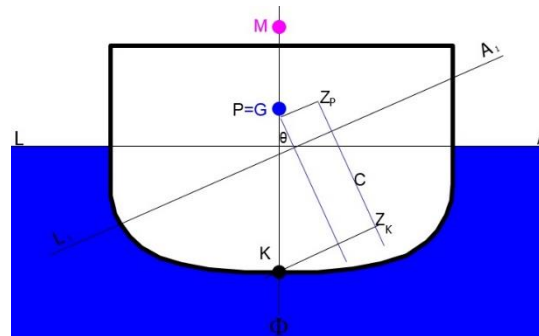


Figura 31 braço de estabilidade PZ_p

Da Figura acima indicada, conseguimos deduzir o braço de estabilidade. Que será:

$$PZ_p = KZ_k - KP \text{sen}\theta$$

Com base na fórmula, podemos saber os braços possíveis para todos os ângulos. Então, para obtermos o gráfico de carenas inclinadas, apenas é preciso definir os deslocamentos possíveis, e com base nos ângulos saberemos o braço de estabilidade.

Com base no gráfico do Anexo C, carenas inclinadas, conseguimos observar a tendência que o braço de binário endireitante tem em relação ao seu deslocamento.

Neste gráfico, de carenas inclinadas, apenas aparecem ângulos que serão possíveis de observar o batelão, enquanto este apresenta o momento endireitante.

Quando o batelão estiver soçobrado, ele irá apresentar-se com um ângulo de 180°. Isto porque, vou considerar que quando o batelão estiver na sua posição direita, estável, ele terá 0°. E quando ele apresentar-se soçobrado ele vai estar nos 180°. Logo, o processo



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



de colocar o batelão na sua posição direita, vai fazer com que o batelão varie dos 180° até aos 0° , sendo a sua posição inicial, soçobrado, os 180° .

Como podemos observar no gráfico de carenas inclinadas, os valores apenas variam entre os 0° e 90° . Isto porque, o braço do batelão quando este está soçobrado ou quando está adornado 90° é zero e quando este volta a sua posição inicial também é zero. Logo, apenas interessa quando ele varia entre os 180° e 90° , na qual é apenas uma diferença de noventa graus, porque a partir deste ponto ele terá o seu próprio momento endireitante e até ele chegar a esse ponto nós é que aplicamos a força.

Assim, poderemos tirar o valor GZ máximo de cada ângulo, o que possibilita saber qual o maior momento endireitante do batelão para dada posição do batelão.

Dado o facto de o batelão estar a flutuar e virado ao contrário, quando formos soçobra-lo, haverá um gama de ângulos que varia entre os 80° e os 100° , que teremos um GZ muito pequeno. Este será um ponto crítico, porque é o momento em que o batelão se apresenta com um adorno de 90° . O facto de o batelão estar com essa inclinação fará com que a água entre para os compartimentos, provocando assim um alagamento progressivo e descontrolado. Este ponto crítico apenas vai depender, da quantidade de compartimentos que estiverem abertos.



Capítulo 6

METODOLOGIA



6.1 Ambiente para efetuar testes

As provas têm como objetivo aferir e estudar o comportamento do batelão concebido. Logo, para isso vou trabalhar no Tanque do Laboratório de Arquitetura Naval da EN como é mostrado na imagem seguinte:



Figura 32- Tanque do Laboratório de Arquitetura Naval da EN

O tanque acima apresenta as seguintes características:

- Comprimento: 933 cm;
- Largura: 189 cm;
- Profundidade: 89,5 cm.

Com este tanque, é possível obter bons resultados devido às suas boas condições, em termos de ausência de forças exteriores e de materiais auxiliares, isto é, não encontramos ondulação, correntes de ar ou objetos que possam prejudicar os testes. Com ele é possível simular ambientes mais calmos, como também podemos simular ambientes mais agitados. As suas dimensões facilitam a movimentação do batelão, dado que é necessário que ele tenha uma boa profundidade, para que o anel não toque no seu fundo para todos os possíveis deslocamentos do batelão.

Este laboratório apresenta uma outra facilidade para o procedimento da experimental, que é um motor elétrico. Este motor vai auxiliar na movimentação do batelão, dado que é necessário aplicar uma força tangencial ao anel do batelão. Logo, dado o facto de ser possível trabalhar com o motor a uma velocidade constante e podermos arrancar/parar quando for necessário, assim, podemos obter resultados precisos com os ângulos que o pêndulo indica.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Figura 33-Interruptor



Figura 34-Motor



Figura 35-Roda

É de referir que este motor elétrico está ligado a uma roda, por uma correia. Esta roda acaba por ajudar-nos pelo facto de a sua altura estar muito aproximada à altura do anel do batelão, quando este se encontra a flutuar, caso contrário estaríamos a medir outras forças que não fossem tangenciais, o que acaba por facilitar-nos, porque seria necessário construir uma roda, ou movimentar a roda de forma que ficasse alinhada com o anel, dado facto ser necessário esta movimentar o cabo de alumínio na horizontal e este fosse tangente a saída do anel.

6.2 Aparato para a recolha de dados

O aparato a ser construído, terá todos os seus componentes baseados nas características do batelão já obtido, Figura 4. Escolhi este batelão, pelo facto dele ser simétrico e dos compartimentos estarem abertos na superfície. O facto de os compartimentos serem simétricos e abertos acaba por facilitar nos cálculos do deslocamento e do volume de água embarcada.

O batelão sofreu ligeiros ajustes, dos quais foi necessário soldar na parte inferior do batelão por forma a tapar as aberturas que já tinha. Para proceder com a soldadura, foi necessário primeiramente colocar discos de alumínio e de seguida fazer o enchimento, por forma a não haver nenhuma possibilidade da água entrar para os compartimentos. Uma outra alteração, foi colocar a anel de alumínio no batelão, pois esta foi a forma mais simples e direta para achar a força. Para isso, é necessário que esse anel esteja localizado no centro do batelão, no sentido longitudinal, e que seja perpendicular para com este. Isto para que, quando for exercida alguma força no anel, a sua distribuição seja uniforme e faça com que o batelão rode em torno do eixo do x e que não apresente movimentos adicionais. Isto é, ao aplicarmos a força ao batelão não podemos observar que este tenha movimentações laterais, apenas uma rotação em relação ao eixo longitudinal. Para fixar o anel ao batelão, foi necessário arranjar pequenas varetas cilíndricas de alumínio, visto que o batelão e o anel são de alumínio, assim torna-se fácil a soldadura. A disposição das



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



varras não foi aleatória, elas apresentam uma ligeira inclinação, dado o facto de apenas rodarmos o batelão num sentido, para o pôr na posição direita. Logo, sempre que for aplicada a força no anel, essas forças serão transmitidas através das varetas. Dado ao facto de estas terem um diâmetro de 1cm e serem de alumínio, ao apresentar-se forças ligeiramente maiores elas podem ceder e ganharem uma ligeira curvatura, foi um dos fatores que fez com que eu escolhesse varras com comprimentos pequenos, isto também foi com base no anel, pois o diâmetro escolhido tinha de ser pequeno. Como as varetas estão distribuídas simetricamente, vou considerar o peso do anel e das varetas como um. Como o anel situa-se a meio navio, não haverá problemas na movimentação do G em relação a longitude do batelão. Logo, vou considerar que o peso do conjunto, anel e varetas, aplicado no eixo dos Z na mesma linha que o G. Isto, acabará por ter o mesmo efeito que a adição de um peso Na linha do G. Dado o facto de termos a adição do peso acima do G, acabaremos por ter subida do G, ou aumento do KG como podemos observar nos seguintes cálculos:

	Varetas	Anel de alumínio	Peso total
Quantidade	11	1	
Peso	112g	753g	865g

Tabela 1 - Peso do anel e das varetas

$$KG_1 = KG_0 + \frac{w*d}{W} \quad 31$$

$$KG_1 = 15,1 + \frac{0,865 * 14,9}{17,315 + 0,865}$$

$$KG_1 = 15,8cm$$

Pelo facto do batelão ser completamente aberto no topo, foi necessário vedar a parte superior, por forma a controlarmos o endireitamento do batelão. Só conseguimos controlá-lo, sem nenhuma ajuda externa, ao isolar completamente os seus compartimentos, pois qualquer que seja o objeto, independentemente da sua forma, se a sua densidade for superior à da água, este certamente irá ao fundo. Pela simetria que encontramos na sua estrutura é possível saber quais os compartimentos que devemos isolar. Para esta dissertação, vou utilizar cinco possibilidades de avarias, logo como ponto de partida vou escolher o seguinte bordo que ficará estanque:



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Figura 36 - Batelão com um dos bordos isolado

Esta escolha é necessária por duas razões:

O batelão na sua rotação apenas vai alagar um dos bordos. Para isto acontecer é necessário que o movimento de rotação seja muito rápido, caso contrário ele vai logo ao fundo do tanque. Este acontecimento dá-se porque o batelão ao chegar ao 90° apresenta um braço nulo. Isto é, o batelão ao chegar aos 90° apresenta um $GZ=0$, sendo o braço zero não existe nenhum momento que faça com que o batelão adorne para um dos bordos. Visto que todos os compartimentos estão abertos ficamos perante a um alagamento progressivo., pois o casco do batelão não o permite flutuar nessas condições.

Durante a rotação nota-se que o outro bordo fica completamente livre, sem água, ao isolar apenas um dos bordos, o bordo isolado terá o mesmo efeito que uma boia apresenta, então, ao vedarmos o bordo que não fica alagado acabamos por ficar com uma massa de ar retida no batelão, caso este não tenha fugas.

Com base na escolha do bordo que iria ficar vedado, foi determinado o sentido de rotação do batelão, pois só depois de se escolher o bordo que iria ficar vedado é que se poderia colocar o anel e as respetivas varetas devidamente orientadas. Isto porque, é necessário que ele apresente sempre o mesmo sentido de rotação, caso contrário não seria possível fazer os testes. Pois, quando o aparato estivesse a funcionar, em vez do batelão rodar em torno ao eixo do x e a água entrar pelo bordo que não está vedado, o que iria permitir o batelão aumentar o seu deslocamento, simplesmente não iria acontecer nada, porque não haveria alagamento. O que não nos permitia efetuar teste porque as características do batelão mantiveram-se constantes. Então, a rotação desejada não terá o mesmo efeito para os dois sentidos de rotação, apenas num único sentido. Foi com base o bordo isolado que se delineou a orientação das varas do anel, para que, o esforço aplicado no batelão seja sempre no sentido que as varas apresentem maior resistência.

A estanquicidade do batelão é um ponto crucial nesta dissertação, pois os dados retirados do batelão serão com base ao isolamento perfeito. A necessidade de termos que



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



colocar as chapas de alumínio e depois ter que removê-las, tirou a possibilidade de soldar as chapas ao batelão. No entanto, foi possível arranjar uma cola, na qual as suas características possibilitam a boa aderência no ambiente húmido e permitem o bom isolamento da água. O facto de a cola ser um bom vedante e também por facilitar a remoção das chapas, acabou por ser muito importante par este trabalho.

Para podermos retirar os dados do batelão, enquanto ele roda em torno do eixo do x, é necessário desenhar as medidas do batelão numa folha do tamanho da área frontal do batelão. O objetivo da folha é auxiliar na leitura dos ângulos, que vão variar entre os 180 e 90°. Para obter os ângulos será necessário colocar um pêndulo por forma a sermos mais precisos. Esta folha também ajudará a tirar a área frontal, o que vai acabar por nos dar o deslocamento do batelão. Este deslocamento retirado, com base na folha, vai indicar-nos o volume de água embarcado nos compartimentos que estiverem abertos e o deslocamento inicial do batelão. Portanto, será sempre possível, com base na folha e nos compartimentos que não estão vedados, saber o volume de água embarcado.

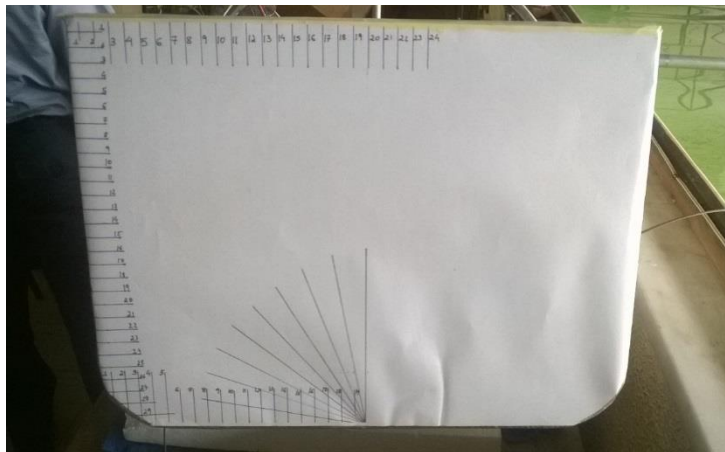


Figura 37- Folha graduada

Esta folha graduada, auxilia-nos na recolha de dados durante a rotação do batelão, mas acaba por estar limitada pelo facto de, a partir dos 90° que estão marcados na folha, apenas conseguimos retirar o deslocamento. Isto porque, a folha graduada deixa de apresentar valores para ângulos inferiores a 90°. Logo, como base na leitura indicada pelo pêndulo não conseguimos retirar valores dos respetivos ângulos. Caso fosse necessário teríamos que construir, desenhar, uma nova folha para podermos retirar os dados do batelão para ângulos inferiores a 90°. Isto porque, quando o batelão está soçobrado, nos 180°, encontra-se numa posição estável. O facto de estarmos a aplicar uma força ao batelão, para que este rode para a sua posição inicial, 0°, fará com que o batelão ganhe um momento que o volte a pôr na sua posição estável, 180°, será então o seu momento endireitante e o



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



momento que estaremos a aplicar ao batelão será o momento inclinante. Este momento endireitante cessa quando o batelão atinge os 90° , acabando este assim por ficar numa posição instável. Quando o batelão passa para os valores compreendidos entre os 90° e 80° , volta a ganhar o momento endireitante, só que este momento não o leva para os 180° , soçobrado, mas sim para a sua posição inicial. Podemos concluir que, o batelão apresenta dois momentos endireitantes, um para colocá-lo na posição de soçobrado outro na posição inicial. É por este motivo que apenas conseguimos retirar valores dos 180° aos 90° na folha graduada. Seria necessário fazer uma outra folha graduada para obter os valores dos ângulos que variam entre os 90° e os 0° . O batelão quando volta a ganhar o momento endireitante, não conseguimos obter nenhum dado para calcular o braço. Quando o batelão volta à sua posição estável, ele apresenta um novo deslocamento. O facto de sabermos o ângulo em que ele ganha o momento endireitante e também sabermos o seu deslocamento final, permite-nos saber, com base na folha do algoritmo em Excel, como será o desenvolvimento da curva com o deslocamento final.

Com base no tamanho do tanque, foi possível estudar as várias formas para o posicionamento do batelão, por forma a obter resultados credíveis. Como já existem meios para a execução do trabalho, o que facilitou o posicionamento do batelão, foi possível estudar uma forma de reduzir os meios adicionais.

Dado o facto de ser necessário prender a parte inferior do anel anexado ao batelão a um cabo, e este ser uma estrutura submersa, tornou-se necessário contruir uma estrutura em alumínio que ficasse fixa ao tanque e no centro desta estrutura teríamos outra estrutura agregada, por forma a ficar submersa.



Figura 38- Estrutura

Como podemos observar na Figura 38, a estrutura está apoiada nas laterais do tanque. A estrutura ficou presa por parafusos, para que esta fique fixa e não sofra deslocamentos com a força do batelão, o que poderia influenciar os resultados obtidos nos testes.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



A profundidade do agregado, foi escolhida com base no raio do anel. Sabendo que o batelão vai aumentar o seu deslocamento consoante a rotação do próprio, isto é, enquanto o batelão estiver a rodar em torno do eixo do x, ele terá tendência a afundar devido ao embarque de água. O agregado tem finalidade de segurar o cabo de alumínio que liga ao anel, por forma a manter o cabo de alumínio sempre na horizontal. Dado o facto não ser possível saber com alguma precisão a profundidade que o anel, tive que colocar o agregado com um comprimento de 5 centímetros mais abaixo do anel.

Para o procedimento dos testes, é necessário utilizar cabos, na qual, estes vão ser os elementos que vão transmitir a força do motor elétrico ao batelão. Dado isto, resolvi utilizar o cabo de alumínio em alumínio de 3mm pelo facto de este ser leve, a sua corrosão ser mais difícil e apresentar menos riscos de rotura, para a gama de deslocamento em estudo.

Pelo facto de ser difícil encontrar um dinamómetro para medir binários com gamas de valores mais pequenos, resolvi arranjar um improvisado. Este tem uma capacidade de 50Kg e apresenta-se numa escala dividida em 500g, como podemos ver na Figura 39:



Figura 39- Dinamómetro Improvisado

Como podemos observar, a escala acaba por dificultar na precisão do peso obtido. Pois, nunca poderei saber com exatidão o valor das casas decimais do dinamómetro, o que acaba por induzir-me em erro. A forma, que cheguei, para obter menos erros possíveis foi, obter pelo menos três resultados, de diferentes pesagens, para o mesmo ângulo e de seguida fazer a média do mesmo, só assim consigo reduzir os erros de leitura.



6.3 Metodologia utilizada na medição

O batelão apresenta cinco hipóteses para podermos proceder com a medição, mas para isso é necessário colocar uma chapa de alumínio em cima do compartimento e isolá-lo para que este fique estanque. Os compartimentos isolados têm que ter o mesmo volume, por formas a não destabilizar o batelão durante a sua rotação em relação ao eixo do x. Como podemos ver na Figura 40:

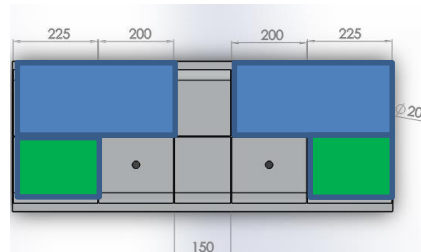


Figura 40-Batelão com o bordo isolado

Os compartimentos apesar de serem simétricos transversalmente, não são longitudinalmente. Isto é, os compartimentos simétricos na longitudinal estão direcionados de fora para dentro, como podemos ver são os que estão pintados a verde. O que acaba por facilitar na obtenção da medição vários deslocamentos, porque os volumes que se encontram abertos são iguais, tirando o volume do centro.

Para efetuar a medição é necessário ajustar a velocidade do motor elétrico, por forma a conseguirmos que este fique sempre com uma velocidade constante e poder utiliza-la para todos os testes. O teste não é totalmente dinâmico, isto porque, para obter o valor representado na dinamómetro e no pêndulo, é necessário que não haja o movimento contínuo na rotação. Só assim podemos conseguir obter medições mais credíveis para a dissertação.

Com já foi dito a rotação do batelão será quase-estática, pois para retirar os dados num determinado ângulo é necessário que este não esteja em movimento. Assim, para proceder com a medição são necessárias duas pessoas para conseguir obter os dados. Uma delas será necessária para ficar de frente para o batelão, para que assim consiga tirar os valores do pêndulo sem nenhum erro de paralaxe e que também possa avisar o outro individuo quando o pêndulo chega ao ângulo previamente determinado. A outra pessoa irá controlar os movimentos do batelão, isto é, com base nos botões de controlo do motor elétrico poderá colocar o batelão no ângulo indicado. O dinamómetro situa-se perto do motor elétrico, para não correr o risco de entrar em contato com a água, o que permite também a essa mesma pessoa ler os dados do dinamómetro.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Serão feitas três medições para o mesmo ângulo já determinado, e com essas mesmas medições será feita a média para assim obteremos menos erros possíveis na remoção dos valores obtidos no dinamómetro. Para isso, é sempre necessário colocar o batelão virado ao contrário no início de cada medição. Isto, para que possamos voltar a ter o deslocamento inicial, dado que o batelão ao virar vai embarcar água.

No final de cada teste, será necessário remover as chapas de alumínio coladas no topo do compartimento, após a remoção temos que limpar a cola que se encontra junto ao batelão, por forma a aumentar a simplicidade em voltar a colar a chapa de alumínio. No entanto será sempre necessário inspecionar o fundo do batelão, depois de remover a chapa de alumínio, pelo fato de poder haver o risco de passagem da água para o interior do mesmo. Apesar da cola utilizada apresentar as melhores características para o trabalho, pode sempre haver locais onde podemos encontrar pequenos orifícios que acabam por deixar que a água passe. Caso note-se a presença de água no fundo do batelão, teremos que remover toda a água e repetir os testes. Isto porque, a água que vai se infiltrar irá aumentar o deslocamento do batelão. Logo, ao aumentarmos o deslocamento, todos os resultados obtidos na prática serão incorretos, o que implicaria no final uma grande discrepância entre os resultados obtido na teoria e na prática.



Capítulo 7

Provas no tanque



7.1 Dados

Como primeiro teste no tanque, não com objetivos de obter resultados mas sim de confrontar os resultados, resolvi isolar por completo o batelão, colocando assim todas as chapas de alumínio no batelão por forma a tapar todos os compartimentos. Este passo apenas vai influenciar o deslocamento e o CG, como podemos ver nos seguintes cálculos:

	Cola	Chapa	Peso total
Quantidade	—	8	
Peso	80g	927g	1007g

Tabela 2 - Peso da cola e das chapas

$$KG_1 = KG_0 + \frac{w*d}{w} \quad 32$$

$$KG_1 = 15,8 + \frac{1,007 * 14,2}{18,18 + 1,007}$$

$$KG_1 = 16,55cm$$

Devido ao facto de as chapas serem de alumínio, terem pouca espessura e a cola depois de solidificada ser bastante leve, o que acabava por não influenciar significativamente na estabilidade do batelão e no resultado pretendido. Podemos observar que o deslocamento do batelão aumenta aproximadamente um quilograma, acabando por não ser significativo no comportamento do batelão. Desta forma o teste foi feito com o objetivo de observar e comparar os momentos do batelão obtidos no gráfico de carenas inclinadas com a realidade. Na qual consegui obter o seguinte gráfico:

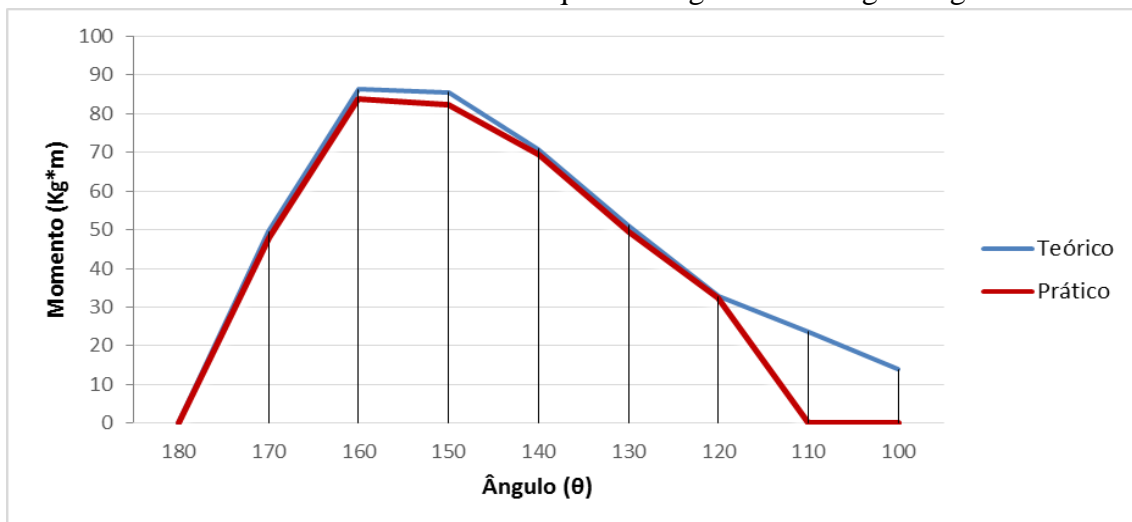


Gráfico 1 - Comparação de resultados



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Como o batelão encontra-se soçobrado e sendo o nosso objetivo endireitá-lo, por forma a ficar na posição direita e estável, então os ângulos medidos começam nos 180° , a qual o batelão se encontra soçobrado. Podemos observar que, a partir dos 120° até ao ângulo onde o batelão ficará estável, deixa-se de conseguir tirar valores no dinamómetro. Isto porque, como já foi falado no capítulo anterior, o batelão apresenta dois momentos endireitantes. Um que vai dos 180° aos 90° e outro que vai dos 90° aos 0° . Neste caso observamos que ele ganha o segundo momento endireitante a partir dos 120° . O facto de ser aos 120° e não ser aos 90° onde o braço é zero, dá-se porque ao ligarmos o motor eléctrico, que supostamente iria ajudar-nos a medir o momento nos 110° , ele vai fazer com que o momento inclinante aplicado para movimentar o batelão seja ligeiramente superior aos 120° e conseqüentemente 110° . Pois, o braço que o batelão apresenta neste instante começa a reduzir. Com isto, o batelão já não apresenta muita resistência ao motor eléctrico e facilmente passa a ter o seu novo momento endireitante.

Como podemos observar no gráfico acima, o teste realizado acaba por não ser divergente do resultado teórico. Com base nos resultados experimentais obtidos, tive apenas um erro máximo de 1,9%, com base o aparato desenvolvido penso que tenha sido um resultado muito bom. O intervalo onde apresenta mais divergência é entre os valores de 160° e 170° .

Na prova efetuada também observamos uma ligeira aceleração do batelão para a sua posição direita, isto deve-se ao facto e o batelão ao passar dos 90° , local onde não existe nenhum momento por não haver braço, existir uma força antes de o batelão chegar ao 90° e ela ajudar na transição dos ângulos, até ao ponto que começa a existir o momento para haver momento endireitante, e com a ajuda dessa força acabamos por acelerar o movimento para a sua posição estável.

7.2 Recolha de dados

Os dados recolhidos foram baseados em cinco modos de compartimentação do batelão. Para tal, foi necessário retirar todos os dados do batelão quando este já se encontrava na posição invertida. Com a ajuda do aparato e dos acessórios colocados ao batelão, foi possível retirá-los com base no pêndulo e a respetiva folha de leitura de dados.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Para a recolha de dados como já tinha dito, o batelão tem que se encontrar já na posição invertida, pois esta será a base necessária para começar a fazer os testes. Caso contrário, o batelão não estaria na sua posição de equilíbrio. Isto, porque o batelão ao sofrer um rombo, a água começará a entrar pelas superfícies abertas e, em compensação, haverá um novo deslocamento. Como a água terá tendência a encher o compartimento aberto, esta só parará de alagar o compartimento quando o batelão ficar em equilíbrio com a água em seu redor. No fundo seria como se adicionássemos um peso sólido ao batelão, pois se adicionarmos um peso com o mesmo peso do volume ocupado pela água no compartimento do batelão, este também iria aumentar o seu deslocamento. Neste caso poderíamos aumentar o caimento AV ou AR, ou mesmo fazer com que o batelão ficasse adornado. Devido a complexidade do aparato construído, não é possível meter o peso AV ou AR, pois o batelão ficaria em desequilíbrio quando fosse puxado pelo cabo de alumínio. Isto é, em vez de termos o batelão a rodar em torno do seu eixo, acabávamos por ter um batelão a rodar aproximadamente em torno do compartimento que esta cheio de água. Logo, para isso não acontecer, é necessário enchermos os compartimentos de uma forma simétrica. Então neste caso, temos que deixar dois compartimentos do mesmo bordo abertos de uma forma simétrica.

A partir do momento em que temos o deslocamento inicial é possível começar a retirar os valores dos ângulos. Dadas as cinco possíveis hipóteses, o batelão não apresentará o mesmo deslocamento nem o mesmo adorno para todos os casos. Portanto o ângulo inicial não será 180° e por vezes não chegará aos 170° . Para a presente dissertação os ângulos utilizados estarão desfasados de 10° em 10° . Se tentássemos ser ainda mais precisos teríamos que escolher ângulos desfasados de 1° em 1° , assim acabaríamos por correr ainda mais riscos. Porque, como no dinamómetro apenas temos a graduação de 0,5 em 0,5 gramas, obteríamos ainda mais erros ou mesmo não conseguiríamos obter os valores com precisão.

Como sabemos, a cada ângulo que o batelão adorna, existe uma quantidade de água que é embarcada e, como já tinha dito antes, é impossível com o material que tenho de momento fazer a medição de 1 em 1° . Logo, a forma de saber o deslocamento em cada 10° vai ser com base na folha auxiliar que está AV do batelão. Assim, no momento em que pararmos a rotação do batelão, de 10 em 10° , calculo a área com base na folha. Assim, ao multiplicarmos o comprimento do mesmo conseguimos ter o volume imerso, por consequência obtemos o deslocamento. Como podemos ver na seguinte fórmula:



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



$$\nabla = A_{ST} * L_{PP} \quad 33$$

Como sabemos, o momento é dado pela seguinte fórmula:

$$M = F * D \quad 34$$

Pela segunda Lei de Newton, a força é:

$$F = m * a \quad 35$$

A força, F, será apresentada em Kg dado facto estarmos a trabalhar com dinamómetro improvisado. Com base nisso o deslocamento também será considerado em Kg. A distância, D, com base nos cálculos que foram efetuados no algoritmo, na teoria será considerado o braço endireitante e para a realização dos testes será o diâmetro do anel. Sendo assim, temos todos os dados para podermos fazer um gráfico de momentos com base no deslocamento do batelão.

É de salientar que, os gráficos que vão ser produzidos terão uma configuração ligeiramente diferente do Gráfico 1. Isto, porque este gráfico foi efetuado com os compartimentos do batelão completamente fechados, enquanto os gráficos que irão ser reproduzidos terão aberturas na parte superior do compartimento o que implica alagamento dos compartimentos. O que acaba por provocar um deslocamento para uma variação angular de 10° do batelão. Como não é possível estimar a quantidade de água que vai alagar o compartimento para cada 10°, sem ajuda de um programa. Vou primeiramente calcular o deslocamento já com o batelão na água a efetuar os testes. Isto é, com a ajuda da folha graduada, vou retirar o valor do deslocamento do batelão, este ainda soçobrado, e de seguida vou retirar para o desfasamento de cada 10°. Só depois de ter o deslocamento de cada 10°, é que posso calcular a imersão do batelão para o respetivo ângulo. Depois de saber a imersão do batelão, tenho que calcular o braço do batelão no respetivo instante. Para isso devo introduzir a imersão e o respetivo ângulo, que o batelão se encontra, no algoritmo de carenas inclinadas. Assim, consigo obter o braço, do respetivo ângulo, para poder fazer o gráfico do momento. Só assim é que será possível saber os momento com base na teoria. Logo, o nosso gráfico não dependera apenas de um deslocamento inicial, mas sim de vários deslocamentos em encadeamento com os ângulos.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Cada hipótese, foi organizada numa tabela, que estão em Anexo-F. Em cada uma delas é possível obter o braço inclinante do batelão durante a sua rotação, sabendo que durante esta há um aumento de deslocamento, como podemos observar a Tabela-Resultados Experimentais:

θ	P.Cabo+P.Balança (Kg)	Dados da Balança (Kg)	Braço (cm)	Braço*Peso (Kg*cm)
180	0	0	45	0
170	0,435	0,635	45	48,15
160	0,435	1,351	45	80,37
150	0,435	1,39	45	82,125
140	0,435	1,125	45	70,2
130	0,435	0,715	45	51,75
120	0,435	0,325	45	34,2
110	0	0	45	0
100	0	0	45	0

Tabela 3 - Resultados Experimentais da primeira Hipótese

Podemos constatar que, é apresentado uma coluna onde aparece a soma do peso do cabo e o peso do dinamómetro, isto porque, a dinamómetro ao estar no meio do cabo faz com que o cabo de alumínio apresente uma curvatura desde o batelão até a roldana, uma catenária. Como o dinamómetro também está suspenso, podemos observar que ele acaba por ler o valor do peso do cabo de alumínio, pelo facto de este ser longo, e o valor do seu próprio peso. Isto, porque reparei que sempre que observava o valor do dinamómetro quando este estava acoplado ao cabo de alumínio, nunca apresentava o valor no zero. Apresentava com um valor aproximado 0,5Kg.

Com os dados obtidos no dinamómetro e com o diâmetro do anel, conseguimos obter o valor do braço inclinante. No qual é representado na última coluna, da tabela dos resultados experimentais, por Braço*Peso.

Na tabela podemos observar que na coluna dos dados retirados do dinamómetro existem três valores com zeros. O primeiro é referente aos 180°, neste ângulo como o batelão apresenta-se estável não é possível retirar nenhum dado, só conseguimos obter quando o batelão chega aos 170°. O segundo e o terceiro zero são referentes ao facto do batelão começar a ganhar a força de rotação e acabar por rodar sozinho e colocar-se na sua posição direita. Pelo facto do batelão começar a essa rotação, o cabo de alumínio acaba por ficar demasiado folgado o que acaba por fazer com que a dinamómetro deixe de fazer leituras.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



O cálculo da força, que é necessária para podermos soçobrar o batelão, está diretamente ligado com a fórmula do momento. Isto porque, ao decompor o momento temos:

$$M = D * \overline{GZ} = \text{Peso} * \text{Braço}$$

Como podemos ver na fórmula acima indicada, ao conseguirmos calcular o momento poderemos saber automaticamente a força. A força, como podemos observar está marcada no dinamómetro. Pois, o dinamómetro vai medir a força que o batelão faz em cada 10° de rotação. Não podemos dizer que a força sentida no dinamómetro é o mesmo que o motor faz. Porque o motor apenas vai puxar o conjunto, cabo e dinamómetro para si, mas será o batelão vai fazer com que essa força possa ser lida. Isto é, o batelão ao tentar voltar para a sua posição estável, 180°, vai provocar uma força/momento contrária. Será, esta a força contrária que o dinamómetro irá ler. Mas na realidade, o que está a acontecer é, o batelão está a provocar um momento endireitante, ao tentar voltar para os 180°, e o motor elétrico um momento inclinante.

Sendo assim, foi possível retirar os braços inclinantes e as forças de todas as hipóteses, os quais estão representados em Anexo-F.

7.3 Comparação dos valores obtidos

Como não foi possível obter um programa, o qual pudesse introduzir o desenho da estrutura do batelão, por forma a obter uma série de dados como gráficos de carenas direitas e inclinadas ou mesmo o comportamento do batelão em caso de avaria, tive que primeiro recorrer ao resultado na prática para depois poder retirar o deslocamento e aplicá-lo na teoria. Como o batelão apresenta um movimento contínuo, sabemos que durante a rotação o batelão vai incrementar o seu deslocamento, devido ao peso embarcado. Logo, para não haver riscos de aproximações, em relação ao gráfico e tabela que vai comparar os valores teóricos com os reais, é sempre necessário saber o deslocamento retirado em cada ângulo estimado, neste caso com intervalo de 10 em 10°. Neste caso, estaríamos a correr o erro de retirar do gráfico de carenas inclinadas apenas um valor de deslocamento. Assim, podemos retirar os vários deslocamentos obtidos em cada ângulo. O deslocamento que é retirado quando o batelão está invertido será o inicial e quando este estiver na sua posição direita será o final. Assim, conseguimos saber a quantidade de água que este irá embarcar durante a sua rotação.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Com base nisto, ao tirarmos na prática o deslocamento do batelão consigo saber qual é a imersão do batelão, independentemente do ângulo em que o batelão se apresente. Logo, temos assim o principal dado que é necessário para entrar no algoritmo de carenas inclinadas, na qual com base nele conseguimos o braço PZ. Assim, com o braço e o deslocamento, posso obter uma tabela que dar-nos-á o momento endireitante que o batelão fará para cada ângulo e respetivo deslocamento. Ver na tabela seguinte:

Θ	Imersão (cm)	∇ (Kg)	PZ (cm)	$\nabla * PZ$ (Kg*cm)
180	4,643	16,77524	0	0
170	4,687625	17,51452	2,818	49,35591
160	4,73225	17,71442	4,9	86,80066
150	4,776875	17,91495	4,869	87,2279
140	4,8215	18,11611	4,059	73,53328
130	4,866125	18,31789	2,993	54,82545
120	4,91075	18,5203	2,029	37,57769
110	4,955375	18,72333	1,573	29,4518
100	5	18,92699	0,91	17,22356

Tabela 4- Resultados Teóricos da primeira Hipótese

Com base na tabela acima, conseguimos observar o momento endireitante do batelão.

Como tivemos que recorrer primeiro ao comportamento do batelão no tanque, para depois serem efetuados os cálculos na teórica. Neste momento, como já temos os cálculos dos momentos, já podemos comparar os resultados obtidos. Dado o facto os momentos retirados são quase-estáticos, isto é, só medimos os valores quando o batelão está parado numa posição angular previamente determinada. Os momentos obtidos na prática são os mesmos momentos que o batelão faz, isto é, acabamos por medir os momentos endireitantes do batelão. Pois, durante a movimentação o batelão irá apresentar o momento endireitante. Quando este ficar parado, o momento inclinante, que será provocado pelo motor, desaparece e ficamos perante a um momento endireitante, que será o momento que acabaremos por medir. Logo, dado ambas as tabelas darem os mesmos momentos, terei que ver se os valores coincidem, o que é muito pouco provável, pelo facto de existirem alguns erros.

Com base no cálculo do erro, poderei analisar os dados observados. A fórmula do erro que será utilizada é a do erro relativo:

$$E_r = \frac{x_0 - x}{x} \quad 36$$

x_0 - Valor verdadeiro (teórico)

x – Valor calculado (prático)



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Com esta fórmula conseguimos ter a percepção do erro originado na prática e ver se existe muita divergência nos resultados obtidos.

Com base na Tabela 3 e na Tabela 4, foi efetuado no Excel o cálculo do erro relativo. Dados os valores poderem ser demasiado pequenos foi necessário multiplicar o resultado por cem. Logo, acabamos por ficar com um erro percentual. Para a comparação dos resultados, considero como aceitável o erro inferior a 15%. O que não quer dizer que os valores dos erros não possam ser superiores a 15%. O valor de 15% será um ponto de apoio para avaliar o resultado.

Kg*PZ (cm)	Braço*Peso (Kg*cm)	%
0	0	0
49,35591	48,15	2,443285
86,80066	80,37	7,408542
87,2279	82,125	5,850079
73,53328	70,2	4,533028
54,82545	51,75	5,609525
37,57769	34,2	8,988541
29,4518	0	0
17,22356	0	0

Tabela 5- Erro percentual da primeira Hipótese

Na tabela acima conseguimos observar três colunas, nas quais as duas primeiras são os momentos retirados da teoria e da prática, na terceira coluna temos o erro percentual. Nesta última coluna podemos observar três resultados com valores zero, o que significam que na prática não foi possível obter resultado, pelo fato do batelão já estar nessa mesma posição e não existir para esse instante uma força. Também, pelo facto do batelão voltar instantaneamente á sua posição de equilíbrio e não conseguirmos retirar nenhum dado do dinamómetro. Dado isso, sem esse valor não conseguimos obter nenhum erro relativo percentual.

A última coluna mostra-nos o erro percentual do resultado obtido na teoria e na prática, na qual os valores variam entre 2,4 à 8,99%, o que mostra valores muito razoáveis para a primeira Hipótese efetuada.



Capítulo 8

Forma para reduzir os
momentos e forças
calculados



8.1 Endireitar um Navio

Com base no estudo das forças e momentos, conseguimos saber a força necessária que os motores, guias, macacos hidráulicos e outras máquinas necessitam para colocar um navio soçobrado na sua posição direita.

O processo de colocar um navio na sua posição inicial, geralmente, não é previamente estudado. Pois, não existem soluções para todo o tipo de condição de soçobramento. Isto porque, as estruturas dos navios não são todas iguais e a localização do sinistro nem sempre é a mesma, em termos de aproximação da costa.

Um dos principais fatores a ter em conta para colocar o batelão na sua posição direita é o número de compartimentos que se encontram alagados e a sua localização a bordo. Não se pode efetuar nenhuma operação antes de saber esta informação. Isto porque, não sabemos o volume e o peso da água presente no navio. Este facto torna a estrutura do navio demasiado frágil, podendo fazer com que alguma parte da estrutura ceda. Assim sendo, são enviados para o local do sinistro os mergulhadores. Apenas estes, podem dizer com alguma certeza os compartimentos alagados ou danificados. (Titan, 2014)

Após sabermos os compartimentos alagados, consegue-se chegar ao deslocamento do navio. Os compartimentos alagados dão-nos o novo centro de gravidade do navio. O que possibilita saber o possível comportamento do navio durante a sua rotação. Este deslocamento, ajuda-nos a saber qual a força necessária a ser aplicada na presente situação. Pois, com base no deslocamento e na localização dos compartimentos alagados saberemos qual a posição, ângulo de adornamento, transversal e a respetiva imersão que o navio terá. Estes dados, possibilitam a utilização dos gráficos das curvas hidrostáticas do navio, e também possibilita o cálculo do momento máximo que é efetuado na rotação do navio.

Com base na análise efetuada no parágrafo anterior, pode-se começar a pensar no melhor método para colocar o navio na sua posição direita.

O problema de colocar o navio na sua posição direita surge quando, a solução do problema depende das condições ambientais da zona do sinistro, da própria condição do navio em termos de degradação, do conteúdo que o navio transporta e se este está assente



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



no fundo do mar ou não. Devido a estes fatos é que não existe sempre uma solução prévia para colocar o navio na sua posição direita e removê-lo do local. (Titan, 2014)

Temos o exemplo do *Costa Concordia*, o processo de endireitamento do navio no porto de *Isola del Giglio* foi bastante demoroso, na qual demorou 19 horas, pois, foi feito com bastante precaução. Dado ao facto de haver um possível derrame, o que provocaria alterações no ecossistema da respetiva área. Este navio ficou adornado e assentou nas rochas da costa com um ângulo de 80°. Houve várias ideias para remover o navio do local, mas quando tentavam pô-las em prática perceberam que não eram viáveis. (Titan, 2014)

A empresa por fim conseguiu chegar a uma solução. Eles colocaram cerca de trinta tanques junto ao costado do navio. Estes tanques tinham capacidade de auto encher e esgotar de água, para que servisse de boia para o navio. O facto de os tanques se poderem encher e esgotar com a água do mar, permitiu que o endireitamento do navio fosse muito mais controlado. Não permitindo assim, que o navio pudesse adornar demasiado para o lado oposto e possivelmente soçobrar. Assim, quando o navio já se encontrava na posição direita, colocou-se tanques do outro bordo do costado, completando assim os trinta tanques em redor do navio, para que assim o navio pudesse emergir o seu casco e ficar mais estável, para o poderem levar para o estaleiro em Itália. O *Costa Concordia* efetuou depois a sua derradeira viagem no Mediterrâneo, percorrendo ao longo de quatro dias os 280 quilómetros de distância entre a ilha de Giglio e o porto de Génova. *O desmantelamento desta embarcação de 290 metros de comprimento e 61 de largura durará 22 meses e será realizada em duas áreas dentro do porto genovês: o estaleiro de Prà-Voltri e o de Sampierdarena.* (UOL, 2014)

8.2 Método utilizado para endireitar o Batelão com menor esforço possível

O batelão em estudo apresenta uma condição na qual não foi indicada para o estudo. Essa condição apresenta os compartimentos de bombordo abertos na sua superfície. Esta condição, ainda não tinha sido estudada porque, o aparato utilizado para o estudo, não apresentava resistência o suficiente para colocar o batelão na sua posição direita e mesmo que o conseguisse este nunca ficaria na sua posição direita. Isto porque, a água que iria alagar todos os compartimentos de bombordo, faria com que este ficasse numa posição estável com adorno de 90°. Logo, o batelão voltaria sempre para a



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



sua posição inicial, que neste caso é adornado a 90°. Como podemos ver nas Figuras 41 e 42

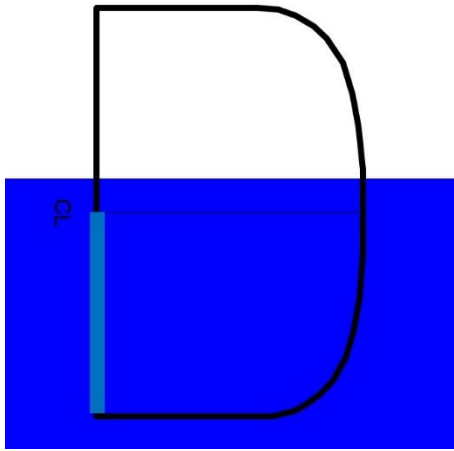


Figura 41 – Batelão adornado a 90°

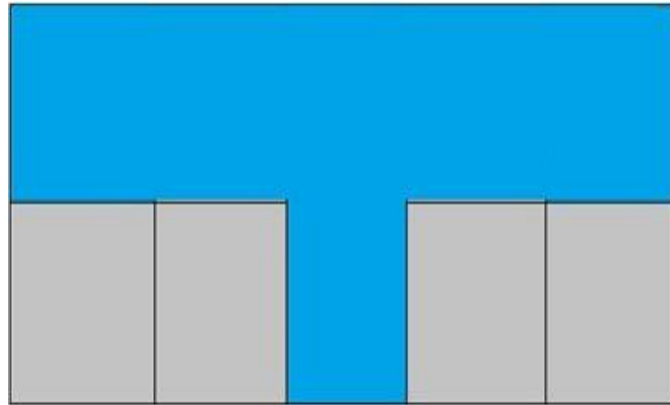


Figura 42 – Batelão com o compartimento de bombordo e central alagado

Por forma a reduzir a área transversal imersa do batelão, será necessário utilizar flutuadores. Para isso é necessário criar uma boia, para diminuir a respetiva área do batelão. A boia acabará por ter o mesmo efeito que os tanques do *Costa Concordia* tiveram.

Para os cálculos do deslocamento, a densidade da água do laboratório terá a densidade de $1000 \frac{Kg}{m^3}$. Dado o facto da densidade da esferovite ser muito inferior que a da água, como podemos ver na Equação 37:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{água}} &> \rho_{\text{esferovite}} && 37 \\ 1000 \frac{Kg}{m^3} &> 30 \frac{Kg}{m^3} \end{aligned}$$

Neste caso, não será necessário utilizar a esferovite nos dois bordos do batelão. Isto porque, os compartimentos do estibordo do batelão encontram-se totalmente isolados, o que acaba por fazer o efeito de uma boia nesse bordo. Como a água entrará em todos compartimento de bombordo, então por forma a reduzir o deslocamento, colocou-se a esferovite em todo costado de bombordo. Como também se pretende que o batelão fique o mais direito possível, ângulo mais perto do zero, colocou-se a esferovite na parte inferior do batelão. Na qual começará na quilha e cobrirá toda a parte inferior de bombordo, até ao início do costado. Ao colocarmos a esferovite no batelão acabamos por alterar a forma do casco do batelão. O volume do batelão deixa assim de ser um paralelepípedo regular, o que acaba por alterar as curvas hidrostáticas. Dado este fator, acabamos ter um erro no cálculo do volume do batelão com esferovite. Assim, todos os



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



cálculos efetuados para o batelão com esferovite terão uma aproximação ao batelão sem esferovite, assumindo assim o erro por aproximação.



Figura 43- batelão com esferovite

Como podemos observar na Figura 43, a esferovite tem a forma de um prisma retangular. O seu centro de gravidade situa-se automaticamente no centro do prisma. Como vou colar a esferovite no batelão antes de este estar na água, não será possível observar a redução do volume imerso do batelão, enquanto este se encontra na água. Mas, quando o batelão ainda se encontra soçobrado é possível ver a diferença de área do batelão quando este não tem a esferovite e quando estamos com um batelão com esferovite.

Com a folha graduada conseguimos retirar a área imersa do batelão, com esferovite e sem esferovite, e também a sua imersão. Logo, ao termos a área transversal imersa conseguimos calcular o volume imerso do batelão.

Batelão sem esferovite:

$$V_{Im} = A_{ST} * L_{PP} \quad 38$$

$$V_{Im} = 684,63 * 100$$

$$V_{Im} = 68363cm^3$$

Batelão com esferovite:

$$V_{Im} = A_{ST} * L_{PP} \quad 39$$

$$V_{Im} = 290 * 100$$

$$V_{Im} = 29000cm^3$$

A diferença entre os dois acaba por ser:

$$V_{Im} = V_{sem\ esferovite} - V_{com\ esferovite} \quad 40$$

$$V_{Im} = 39363cm^3$$

Com base na Equação 40, podemos observar a redução do volume imerso do batelão provocado pela esferovite. Com a esferovite, conseguimos reduzir $39363cm^3$.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Como podemos ver, quando o batelão ainda se encontra soçobrado e sem esferovite, o batelão apresenta todo o seu bordo dentro da água e quando é colocado a esferovite no seu casco ele tem a tendência de diminuir o seu volume imerso na água. O que acaba por reduzir a força a eventual máquina a ser utilizada na recuperação do batelão como modelo de um navio soçobrado realiza e diminuirá a força aplicada no aparato.

A esferovite, por ser muito menos densa que a água acaba por flutuar e apresentar pouco volume deslocado. Este fator acaba por ser muito relevante, pois dado o fato de a esferovite ser menos densa que a água, quando introduzimos pesos na esferovite notamos que a impulsão acaba por ser muito maior. Isto é, como já tínhamos observado no Capítulo 3, a força de impulsão deve ser igual ao peso de todo o corpo imerso e para que o corpo flutue a densidade do corpo, a esferovite, tem que ser inferior que a do líquido. Como podemos ver na Figura 44:



Figura 44 – Placa de esferovite a flutuar com 10Kg de água situados no seu centróide.

$$V = L * h * c \quad 41$$

$$V = 0,5 * 0,05 * 0,49$$

$$V = 0,01225m^3$$

V- Volume

b - Largura

h - Altura do objeto

c – Comprimento do objeto

Podemos observar que, a placa de esferovite com um volume de $0,01225m^3$ consegue sustentar 10Kg de água, apesar de praticamente todo o seu volume estar submerso, este continua a flutuar sem nenhum desequilíbrio.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Durante a rotação do batelão, a esferovite vai apresentar-se em várias posições. Nas quais, a sua posição estável será quando ela tiver a sua largura e comprimento em contato com a água. No entanto, a esferovite apresenta maior força de impulsão quando está na sua posição estável. Logo haverá duas posições, do batelão, em que a esferovite terá maior força de impulsão. Uma será quando, o batelão se encontra na posição transversal a 90° e outra será quando ele se encontra na posição direita. Mas, apenas quando o batelão se encontrar na posição transversal a 90°, é que a esferovite apresentará a força resultante com sentido ascendente.

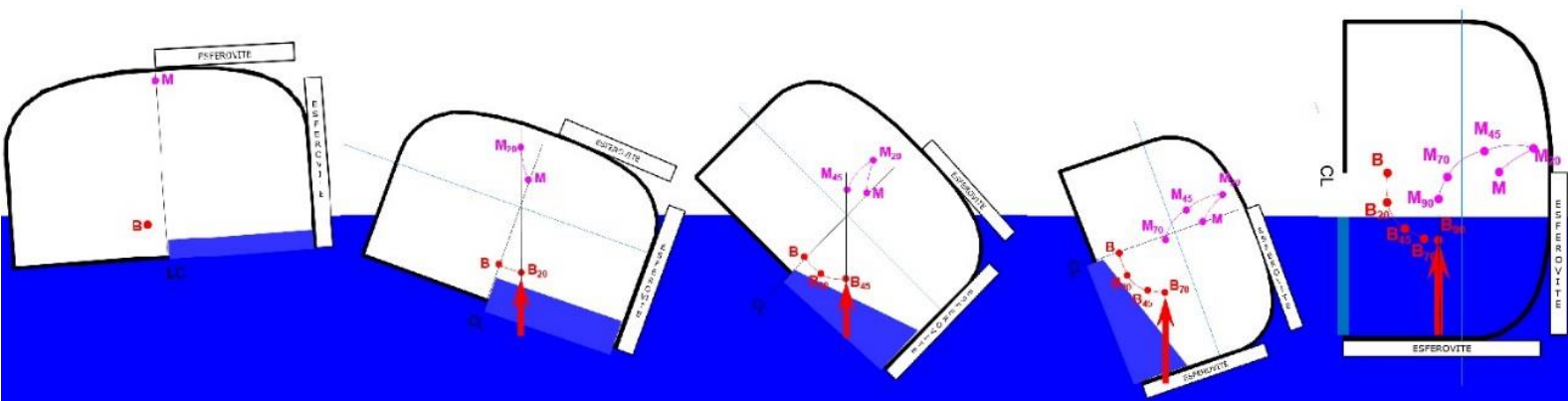


Figura 45 – Rotação em torno do eixo do x do batelão com esferovite

Como podemos ver na Figura 45, a placa de esferovite, que se encontra no costado, só fica submersa quando o batelão se apresenta com 135° de adornamento, começando a contar a partir dos 180° quando este está soçobrado. Podemos observar a evoluta metacêntrica do batelão, na qual é possível observar o comportamento do metacentro e do centro de carena. Para calcular o centro de carena do batelão, foi necessário saber qual era a área transversal imersa durante a rotação, por forma a poder-se calcular o seu centróide, sendo este calculado com um desfaseamento de 10 em 10° de adornamento. Como teve-se que parar o batelão de 10 em 10°, foi possível calcular o volume imerso e o momento da área transversal do batelão. Com base na equação 42, conseguimos saber o raio metacêntrico, distância entre o centro de carena e o metacentro.

$$\overline{BM} = \frac{I}{V} \quad 42$$

I = Momento de inércia da área transversal

O metacentro, apresenta uma precisão não-linear devido ao facto do volume deslocado alterar-se durante a rotação do batelão. Pois, o raio metacêntrico tem tendência a diminuir se o deslocamento do batelão aumentar, e a aumentar se o deslocamento diminuir.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Logo, ao saber o centro de carena, o qual foi calculado pelo centróide da área, é possível saber a posição do metacentro, pois, o centro de carena e o metacentro ficam na mesma linha de impulsão. O ângulo de adornamento do navio é o mesmo que a linha de impulsão faz com a linha centro do batelão, como podemos ver na Figura 46

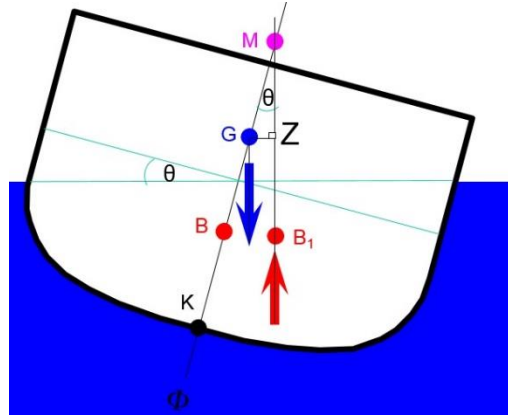


Figura 46 – O mesmo ângulo θ para diferentes linhas do batelão

Como podemos observar na Figura 47, sabemos que a pressão do líquido atua perpendicularmente à superfície imersa e a força de impulsão atua diretamente no centróide da objeto imerso. Com base na figura observamos que, as pressões laterais que estão aplicadas na placa de esferovite são anuladas pelo fato de esta estar junto ao costado, no entanto, a pressão aplicada na parte inferior da esferovite não é anulada por nenhuma força. Logo, como a esferovite apresenta menor densidade que a água e a impulsão aplicada na parte inferior não é anulada, ela apresentará uma força resultante tangente ao costado.

Força exercida pelo motor ao anel do batelão

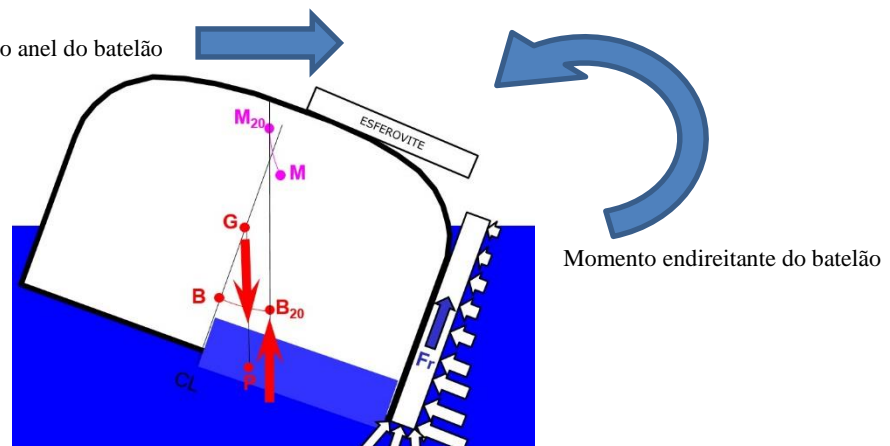


Figura 47- Força resultante aplicada a esferovite e o momento endireitante do Batelão

A força que a placa apresenta, até o batelão ficar adornado a 90° , terá a mesma direção que o momento endireitante do batelão. Não podemos esquecer, que o momento endireitante, neste caso, coloca o batelão na sua posição de soçobrado. Esta força, provoca



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



um aumento no esforço que o motor faz, devido a força resultante da esferovite ter a mesma direção que o momento endireitante. Acabando assim, por haver uma resistência á força do motor elétrico.

Quando o batelão se encontra adornado á 90° , a placa de esferovite apresenta todo o seu volume imerso. Como este encontra-se na horizontal, apresenta mais área sob a influência da força de impulsão. Quanto maior for a área, da esferovite, sob a força de impulsão, menos volume o batelão apresentará dentro de água.



Figura 48 – Esferovite sob força de impulsão

Dado o facto de este, na posição que se encontra, apresentar mais área de contato, acaba por suportar mais peso na sua área de contato.

Apesar de este apresentar maior área de contato, o deslocamento do batelão acaba por fazer com que a placa de esferovite acabe por ficar submersa. A densidade da placa, neste caso, apenas vai reduzir o volume imerso do batelão.

O topo dos compartimentos, do lado de bombordo, apresentam-se abertos. Logo, durante a rotação do batelão, em torno do eixo dos x, a água irá alagar todos os compartimentos. Mas, dado ao facto de estarmos perante a um batelão com esferovite, do lado em que os compartimentos estão abertos, o alagamento fica com tendência a reduzir. Isto porque, quando o batelão se encontra adornado a 90° à força resultante da impulsão tem tendência para ficar perpendicular ao costado do batelão. Devido ao facto de o batelão ser aberto no topo dos compartimentos, e de este se encontrar a 90° , a água que alagou o batelão vai começar a sair do batelão. Logo que a água começa a sair, o deslocamento do batelão começa a diminuir. Então, teremos um movimento ascendente do batelão. O batelão ao começar a perder o deslocamento torna-se instável. E dado a esse facto e com a ajuda da força exercida pelo motor, o batelão começa a adornar para a sua posição direita.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados

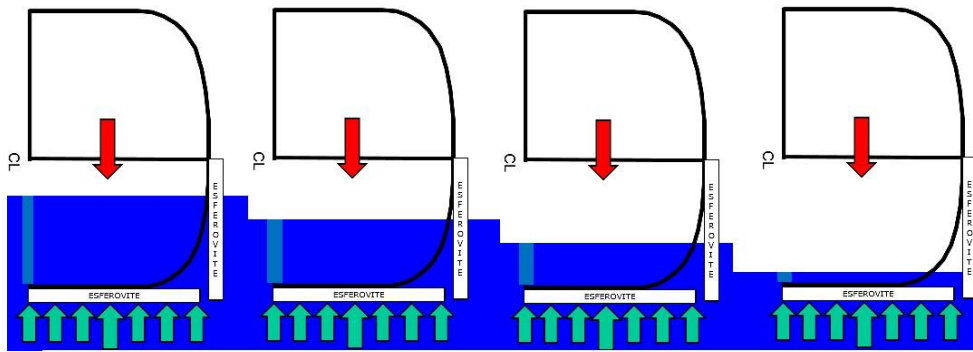


Figura 49 – Efeito do compartimento aberto e da esferovite

Como podemos observar na Figura 49, o nível de água começa a diminuir devido ao fato do compartimento não estar totalmente isolado. Dado isto, a força da esferovite começa a ser superior ao deslocamento do batelão e este começa a ter um movimento ascendente. O motor permite que, o batelão volte para a sua posição inicial, dado que este quando esta adornado a 90° está numa posição instável.

8.3 Testes realizados

Por forma a observar o comportamento do batelão com a esferovite anexada, foram efetuados testes no Tanque do Laboratório de Arquitetura Naval. Foi utilizado o mesmo aparato, construído para calcular forças e momentos, por forma a saber a diferença de forças exercidas no batelão.

Como já foram efetuados cálculos do batelão sem esferovite, agora será necessário calcular do mesmo com esferovite.

O batelão com esferovite apresenta a particularidade de o sentido da força de impulsão da esferovite e do seu ponto de aplicação, relativamente ao centro de gravidade do conjunto batelão e esferovite, resulta um momento de direção e sentido igual ao momento endireitante do batelão sem esferovite. Esta particularidade vai aumentar a força necessária para o batelão voltar a sua posição direita. Isto porque, apesar do batelão apresentar esferovite, o que acaba por reduzir o seu volume imerso, o momento necessário para imergir a esferovite é muito superior a qualquer momento que o batelão possa desenvolver. Com base no aparato construído, foi possível obter a força máxima que o dinamómetro apresenta, sendo esta 5Kg. Isto é:

$$M_{aparato} = Braço * Peso \quad 43$$

$$M_{aparato} = 45 * 5$$

$$M_{aparato} = 225Kgcm$$

Braço = Comprimento do raio do anel



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Peso = Valor apresentado no dinamómetro

Com este momento transversal, conseguimos saber qual o possível deslocamento do batelão, caso este não tivesse esferovite. Mas, para sabermos o possível deslocamento teremos que dividir o momento do aparato pelos deslocamentos do batelão, e ver qual é o valor que mais se aproxima do valor do *PZ*. Os deslocamentos do batelão vão variar com as imersões, portanto, vou escolher imersões com intervalos de 5cm para assim ter os respetivos deslocamento. Assim, ficaremos a saber qual o deslocamento aproximado que o batelão tem quando esta sem a esferovite anexada.

Imersão (cm)	Área transversal (cm ²)	Volume (cm ³)	Deslocamento (Kg)
4,643	173,1596267	17315,96	17,31596267
5	189,269875	18926,99	18,9269875
10	389,269875	38926,99	38,9269875
15	589,269875	58926,99	58,9269875
20	789,269875	78926,99	78,9269875
25	989,269875	98926,99	98,9269875

Tabela 6- Cálculo do deslocamento do navio

Para o cálculo do deslocamento foi utilizado a água com a densidade de $\rho = 1000 \frac{Kg}{m^3}$.

$$M_{teórico} = \nabla * PZ \quad 44$$

Momento (Kg*cm)	Deslocamento (Kg)	Possível PZ (cm)
225	17,31523	12,99434082
225	18,927	11,88777936
225	38,927	5,780049837
225	58,927	3,818283639
225	78,927	2,85073549
225	98,927	2,274404359

Tabela 7- Cálculo do deslocamento

Como podemos ver, em Anexo I do funcionamento do gráfico de carenas inclinadas, não existe nenhum valor que se aproxime do possível polo. Logo, concluo que, a força retirada no dinamómetro, é muito superior ao possível deslocamento do batelão possa ter.

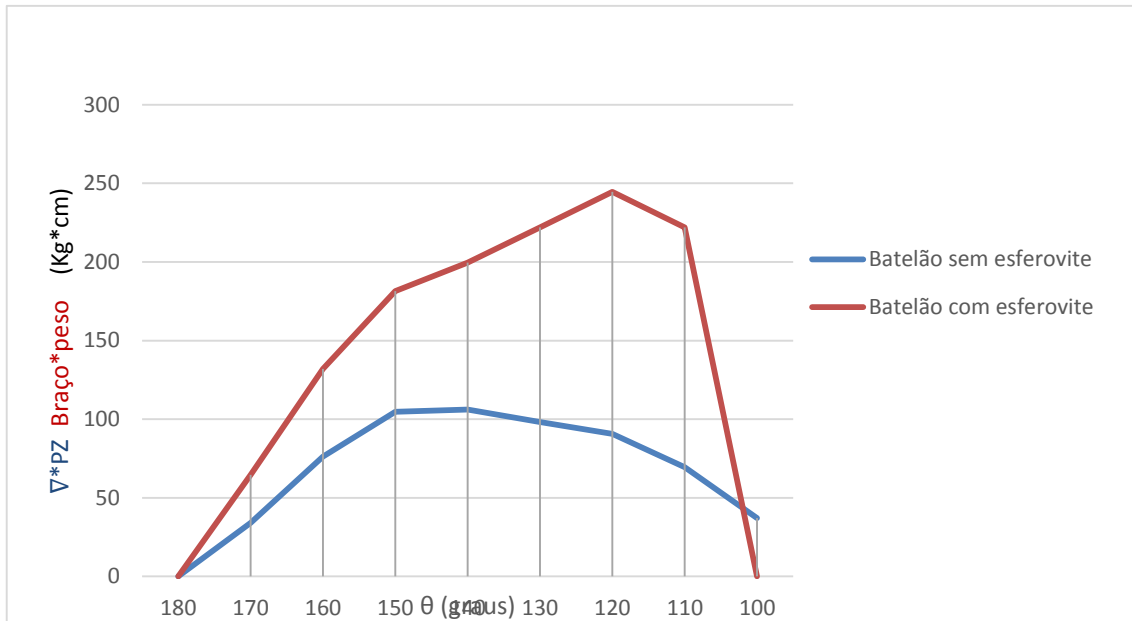


Gráfico 2- Comparação do momento do batelão sem esferovite e com esferovite

O Gráfico 2 apresenta duas curvas, uma do batelão com esferovite e outra do batelão sem esferovite. No entanto é impossível introduzir no algoritmo um batelão que contenha esferovite. Mas, com base na folha graduada ficamos a saber a área transversal que está imersa, isto possibilita-nos calcular o volume imerso do batelão com esferovite. Com base na folha retiramos o ângulo em que o alagamento cessa e passa a esgotar água dos compartimentos que se encontram abertos. Logo, com os dados tirados na folha é possível introduzir no algoritmo a imersão que o batelão tem durante toda a sua rotação, em torno do eixo dos x. O valor obtido será aproximado, pois o volume do batelão encontra-se ligeiramente alterado, dados ter sido calculado como se não tivesse esferovite.

Como podemos ver no Gráfico 2, o momento do batelão com esferovite acaba por ter um momento muito superior do que sem esferovite. Como já tinha referido antes, a esferovite ao imergir vai criar uma força contrária a força exercida do motor, essa força apenas cessa quando o batelão aproxima-se dos 90°. Como podemos observar, a curva do batelão com esferovite vai aumentando conforme o volume da esferovite imerge na água, sendo este o principal fator para que haja tanta discrepância entre as duas curvas. Com base no gráfico, podemos concluir que, apesar de a esferovite reduzir a área transversal imersa do batelão, ela acaba por aumentar o momento endireitante do batelão, quando este se encontra soçobrado. O que não é o objetivo do trabalho. Pois, o objetivo do uso



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



da esferovite seria reduzir o momento/força que o dinamómetro mostra, apesar de ela conseguir de facto reduzir o deslocamento.

Dado o primeiro teste não ter sido bem-sucedido, resolvi fazer um segundo teste.

Por forma a reduzir a força que a esferovite faz ao entrar na água, teve-se que reduzir a área da esferovite no costado do batelão, para que a força resultante da esferovite tivesse tendência para reduzir. Logo, se a força reduzir, estando o batelão adornado a 90° , a esferovite continuará a ter força suficiente para reduzir o deslocamento do batelão, só que a força que reduz a área transversal imersa será mais pequena. Então, se a área transversal a ser reduzida variar pouco, dificilmente o batelão ficará mais próximo da posição direita. Pois, o batelão apresentara água embarcada nos compartimentos abertos, o que o leva a ficar adornado. Isto leva a que haja mais esferovite ao longo do eixo dos x, entre a meia-nau e o costado do bordo onde os compartimentos se encontram abertos no topo.

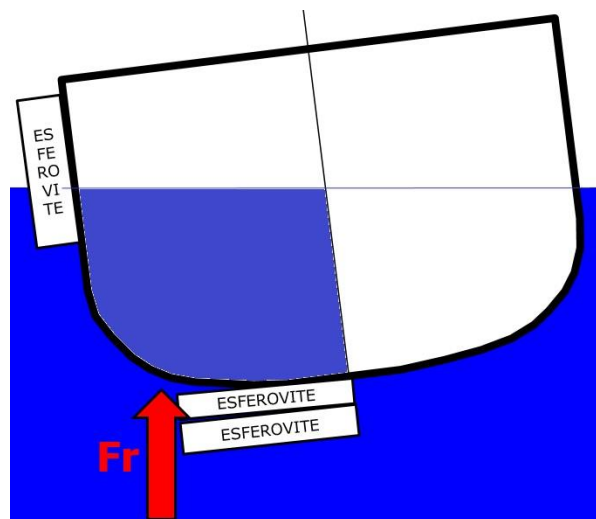


Figura 50 – batelão com a disposição das esferovites alteradas

Com base na Figura 50, conseguimos observar que a nova disposição da esferovite mantém o batelão mais próximo da posição direita. Com base no aparato construído, a força máxima que o dinamómetro indica é 2Kg. O que acaba por ser menos que a metade da força obtida anteriormente. No entanto, com base na Tabela 8, podemos observar que conseguimos ter uma diferença máxima, entre os momentos do batelão com a esferovite e sem a esferovite, de $95,253Kg * cm$.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



θ	Output PZ (cm)	Z= m*y + b	∇ (Kg)	$\nabla * PZ$ (Kg*cm)	θ	P.Cabo+P .Balança (Kg)	Dados da Balança (Kg)	Braço (cm)	Braço*P eso (Kg*cm)	Diferença entre os momentos (Kg*cm)
180	0,000	12,27	48	0	180	0	0	45	0	0
170	0,377	12,27	48	18,096	170	0	0	45	0	0
160	0,931	12,27	48	44,688	160	0	0	45	0	0
150	1,906	12,27	48	91,488	150	0,435	1,72	45	96,975	5,487
140	3,094	11,917	48	148,512	140	0,435	2	45	109,575	38,937
130	3,613	10,662	48	173,424	130	0,435	1,5	45	87,075	86,349
120	3,236	8,694	48	155,328	120	0,435	0,9	45	60,075	95,253
110	2,371	4,997	48	113,808	110	0,435	0	45	19,575	94,233
100	1,241	-5,642	48	59,568	100	0	0	45	0	59,568

Tabela 8- Comparação dos momentos realizados na Teoria do batelão sem esferovite e na Prática do batelão com esferovite

A placa esferovite, que se encontra no costado do batelão, apesar de ser pequena em termos de volume, ela continua a fazer o mesmo papel que a placa da Figura 49 fazia.

A alteração do dimensionamento e da exposição das placas acabou por afetar significativamente na força realizada pelo motor.

O batelão soçobrado com a esferovite passa a ter um volume imerso de:

$$V_{Im} = A_{ST} * L_{PP} \quad 45$$

$$V_{Im} = 480 * 100$$

$$V_{Im} = 48000cm^3$$

Quando este volta para a sua posição direita fica com:

$$V_{Im} = A_{ST} * L_{PP} \quad 46$$

$$V_{Im} = 185 * 100$$

$$V_{Im} = 18500cm^3$$

Logo, a diferença de volume imerso será de:

$$V_{Im} = V_{Posição de soçobrado} - V_{Posição inicial} \quad 47$$

$$V_{Im} = 29500cm^3$$

O Volume imerso do batelão só reduz porque, o batelão no topo dos compartimentos está aberto. Pois, pelo facto de estar aberto a água que alagou os compartimentos começa a esgotar para o tanque.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados

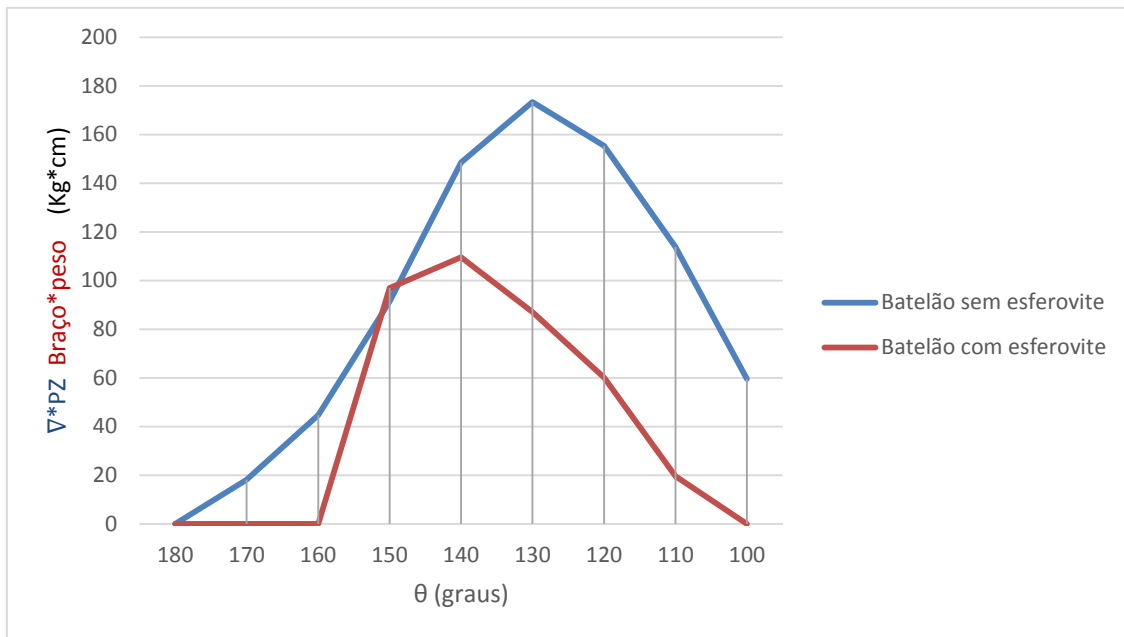


Gráfico 3- Comparação do momento do batelão sem esferovite e com esferovite

Com base no Gráfico 3, podemos observar perfeitamente o efeito da esferovite no batelão. Ela faz força na mesma direção que o momento endireitante, o que leva a que o momento medido nesse instante seja superior ao momento do batelão sem esferovite. No entanto, quando o batelão adorna até aos 20°, quando estamos situados nos 140°, notamos que a esferovite que se encontra no costado deixa de fazer força na mesma direção que o momento endireitante e passa a fazer a mesma força que a esferovite faz na figura 49. Ao mesmo tempo começa-se a sentir a for exercida pela esferovite, que se situa perto da quilha. Esta placa ajudará o batelão, quando estiver adornado a 90°, a diminuir a área transversal e também ajudará o batelão a ficar o mais próximo possível da posição direita, quando este estiver na sua posição inicial.

Com base no estudo, que foi feito no Costa Concordia, foi possível perceber que, apesar da densidade do material facilitar a operação, ela não resolve completamente o problema. Isto porque, caso também tivesse utilizado tanques no costado do batelão, que pudessem encher e esgotar rapidamente, poderia ajustar o nível de água e de ar no tanque, por forma a ajustar a força e a velocidade de rotação do batelão. Isto é, quando o batelão começasse a rodar, o tanque abriria as válvulas e deixaria entrar a água, por forma a encher as válvulas que iriam fazer com que a força resultante do tanque não tivesse a mesma direção que o momento endireitante do batelão. Assim, quando o batelão chegasse ao 90°, começaria a esgotar de uma forma contínua e controlada, para que este reduzisse o seu deslocamento. A partir deste momento, com os tanques já vazios, os tanques anexados ao



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



batelão iriam ter o mesmo comportamento que a esferovite, servindo assim de boia para o batelão.



Capítulo 9

Conclusões e recomendações



9.1 Conclusões

Esta dissertação teve como objetivo construir um aparato para poder calcular momentos e forças de navios soçobrados. Dado o facto de já existir um batelão simétrico, tive que estudar a estabilidade do mesmo para conseguir obter os gráficos de carenas direitas e inclinada. Estes foram conseguidos com a ajuda dos algoritmos feitos no Excel, o qual é utilizado na Escola Naval para fazer trabalhos de Arquitetura Naval. Caso contrário só iria ser possível com a ajuda de um software específico para navios. Com o algoritmo disponível, apenas tive que recolher os resultados do aparato já construído e confrontá-lo com a teoria.

Com os resultados já obtidos no Excel, em anexo, foi possível observar os valores e os respetivos erros relativos percentuais, o que facilitou a noção da divergência dos resultados obtidos. Tive como base o valor abaixo dos 9% para qualquer resultado do erro. Como podemos ver nos gráficos e tabelas em anexo. Apesar de muitos valores aproximarem-se dos 9%, nenhum deles foi além desse valor, o que acaba por traduzir um bom resultado. Com os resultados obtidos conseguimos ver que o erro de precisão de leitura não foi suficientemente grande para fazer que o resultado final divergisse muito, acabando assim por não aumentar o erro relativo.

Durante o trabalho prático no Laboratório de Arquitetura, deparei-me com alguns problemas que poderiam pôr em causa a viabilidade do projeto:

- **Compartimentação:** que era o facto dos compartimentos entre si não estarem bem soldados e alguma água passava para o interior dos compartimentos que tinham sido colados. O que acabava por distorcer por demasia o resultado, porque o batelão já não reagia nem se comportava do mesmo modo. Só através do comportamento do batelão e, também, quando se abria os compartimentos selados, é que era possível ver se havia água ou não dentro deste. Caso algum deste problema fosse identificado, tinha de repetir todos os testes já feitos, por forma a reduzir o erro final.
- A cola a ser utilizada foi um dos fatores que teve de ser estudado, pelo facto de ser necessário ter uma cola que fosse capaz de estancar por completo as chapas de alumínio amovíveis e que também fosse de fácil remoção. Isto, porque, para testar as diferentes hipóteses, era necessário



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



alternar as chapas. Foi necessário estar sempre a descolar e voltar a colar, ou mesmo, quando houvesse infiltração de água teria, que tirar as chapas e voltar a colá-las de novo.

- Inicialmente houve o problema do dinamómetro, que dava valores completamente errados, não estava calibrada. Foi necessário levar ao laboratório do Arsenal do Alfeite para o poderem calibrar, que inicialmente estava-se a por dúvida nos algoritmos feitos no Excel.
- A estrutura inicialmente estudada não era resistente, o que contribuiu para que os primeiros testes efetuados danificassem a estrutura em “T”. Devido ao deslocamento do batelão, a estrutura na sua parte inferior cedia, e isto fazia com que o batelão, em vez de fazer a sua rotação em torno ao eixo do x, fosse arrastado pela força do motor elétrico.

Como já foi dito, a medição utilizada nesta dissertação foi quase-estática, o que permitiu saber precisamente o valor do momento endireitante. Mas, não podemos esquecer que, se os dados retirados tivessem sido num movimento uniforme, o resultado seria completamente diferente. Como podemos ver nos gráficos no Anexo F e também nas respetivas tabelas, o valor do momento retirado na teoria é ligeiramente superior que na prática. Se tivéssemos a trabalhar de uma forma dinâmica, seria suposto o resultado prático ser superior. Isto é, como podemos observar no gráfico, os resultados teóricos apresentam-se sempre com valores superiores aos práticos. Isto acontece pelo facto de, trabalharmos de uma forma quase-estática. Caso não fosse quase-estática, então o valor do momento, nos resultados práticos, seria superior que o teórico. Pois, teríamos o motor elétrico a aplicar uma força sempre superior a força contrária a que o batelão exerce. Mas como o objetivo é saber a força e o momento para endireitar o navio, ao efetuarmos os cálculos no modo quase-estático sabemos logo que a força/momento que temos que aplicar terá que ser superior ao valor obtido na prática.

Durante os testes do batelão, houve uma hipótese que não era possível obter resultados. O aparato em estudo, não tinha resistência suficiente para poder-se prosseguir com os testes. Quando a hipótese era estudada, o aparato cedia, e tinha que voltar a fixar o aparato. Isto aconteceu, pelo facto do batelão apresentar um deslocamento muito elevado para o aparato em estudo. A resolução do problema passava por reduzir o volume imerso do batelão. Logo, como resolução, resolveu-se colocar esferovite, por forma a



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



emergir o casco do batelão, para que esta tivesse um desempenho parecido com os tanques utilizados no *Costa Concordia*.

Inicialmente a esferovite foi colocada com base na simetria do batelão. Isto é, foi colocada ao longo do casco que se encontraria imerso caso ela não tivesse anexada ao batelão. O que parecia dar um bom resultado, porque apresentaria mais força na impulsão. Mas dado ao facto de ser necessário que ela imergisse na água, a esferovite acabou por provocar forças contrárias as que estávamos a espera. Pois, para colocarmos uma placa de esferovite na água é necessário aplicarmos uma determinada força. Logo, quando rodássemos o batelão para o colocar na posição direita, estaríamos a forçar a esferovite a imergir na água, acabando assim por estarmos a aumentar a força ou momento necessário para colocar o batelão na sua posição inicial. Por forma a reduzir a força de impulsão da esferovite, resolveu-se diminuir para a metade a área ocupada pela esferovite no costado do batelão. Sabendo que, ao diminuir a área da esferovite teríamos menos força de impulsão para fazer com que o batelão tivesse um movimento ascendente, reduzindo assim o seu volume imerso, e se colocasse na posição direita. Logo, foi necessário aumentar o volume da placa de esferovite localizada junto a quilha. Esta iria diminuir o adorno do batelão, colocando-o mais perto da sua posição inicial. Com esta última alteração da localização da esferovite, foi possível obter resultados bastante satisfatórios, pois conseguiu-se diminuir significativamente o momento do navio sem esferovite.

Contudo, os resultados finais são muito satisfatórios, o que traduz alguma viabilidade ao aparato construído. Para o cálculo da força/momento apenas foi utilizada uma velocidade no motor elétrico, por forma a ter todos os resultados para aquelas rotações. Assim, perante as dificuldades existentes durante a dissertação penso que consegui obter resultados satisfatórios para concluir o principal objetivo da dissertação.

Pelo facto dos resultados terem sido satisfatórios, penso que apenas com base neste aparato, é possível aplicar este método a um navio. Isto porque, ao sabermos a localização do novo possível centro de gravidade do batelão, apesar de não saber identificar á priori qual é a resistência da estrutura em relação a quantidade de água que foi embarcada, conseguimos aplicar as forças em determinados pontos específicos, postos estes que o navio tem para suportar muita carga. Com a ajuda do software, também consigo analisar a estrutura do navio com uma determinada pressão na antepara. Logo há uma necessidade de haver alguns estudos específicos quanto a material em trabalho.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



O anel em volta do batelão foi somente para o estudo, pois seria difícil colocar um anel em um navio soçobrado, mas sabemos que os navios apresentam localizações onde as estruturas são reforçadas. Logo, são nessas supostas localizações que deve-se aplicar a força para não comprometermos a estrutura do navio.

9.2 Recomendações

Os resultados obtidos, com base aparato em estudo, são viáveis perante os testes efetuados, no entanto ainda assim os erros encontrados pode ser reduzido. As duas formas de reduzir o erro seria modificar a dinamómetro de analógica para digital, assim conseguiríamos ver se o efeito dos resultados era mais preciso. Propunha que, em vez de utilizarmos os algoritmos em Excel, utilizarmos um programa específico para a área em estudo, como o AUTOHYDRO.

Depois destas duas modificações, poderíamos simular, com a ajuda de autómatos, alagamentos em diversos compartimentos e ver qual seria a posição exata que o batelão tomaria.

Proponho a alteração física do batelão, em vez de termos uma proa com um formato perpendicular ao plano longitudinal, esta fossem mais hidrodinâmica. Pois, alguns softwares não conseguem ler o modelo do batelão, devido ao seu formato. Sendo esta modificada, gostava que o mesmo estudo fosse feito, mas que não fosse usado o anel. Isto porque, o anel implica simetria e uma distribuição equitativa de pesos. Sendo que, na realidade não conseguiríamos colocar um anel em um navio, e também os compartimentos alagados não são simétricos. Assim, seria estudado os vastos postos de aplicação de forças sem que este ficasse danificado. Só assim será possível chegarmos mais próximos da realidade.



Referências bibliográficas



Referências bibliográficas

- BEER, Ferdinand, & JOHNSTON JR., E. *Mecânica Vectorial para Engenheiros: Estática*, tradução de Ildefonso Neves, António Gago & Joaquim Dias, 6ª Edição, Amadora, McGraw-Hill, 1998.
- BHATTACHARYYA, Rameswar. *Dynamics of Marine Vehicles*, Annapolis, U.S. Naval Academy, John Wiley & Sons, 1978.
- ÇENGEL, Y. A., & CIMBALA, J. M. (2007). *Mecânica dos Fluidos - Fundamentos e Aplicações*. (K. A. ROQUE, & M. M. FECCHIO, Trads.) São Paulo, Brazil: McGraw - Hill. Group, Defence Procurement Agency, Bristol.
- COMSTOCK, J., & ROBERTSON, J. (1961). *Survival of Collision Damage versus the 1960 Convention on Safety of Life at Sea*. Oxford University Press.
- GATES, D. J., & LYNN, N. M. (1990). *Ships, Submarines and the Sea*. UK: Brassey's.
- GILLMER, T. C. (1972). *Modern Ship Design*. Annapolis, Maryland, Estados Unidos da América: United States Naval Institute.
- GERHARD, D. S. (2012). *Safety and Shipping*. Hamburg: Allianz.
- IMO. (1993). *Critérios de Estabilidade*. United Kingdom: International Maritime Organization
- ITIDINAV 802. (1996). *Critérios de Estabilidade das UN'S e UAM'S da MARINHA PORTUGUESA*. Portugal, Direção De Navios
- LEWIS, E. *Principles of Naval Architecture*. Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1989.
- NES 109 CATEGORY 1. (2000) *Stability Standards For Surface Ships*. Sea Technology



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



THE SNAME. (1939). *Principles of Naval Architecture* (Vol. I). (H. E. ROSSELL, & L.

B. CHAPMAN, Edits.) New York: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

TITAN. (2 de Agosto de 2014). *Titan Maritime*. Fonte: Titan Salvage:

<http://www.titansalvage.com/>

ROGÉRIO D'OLIVEIRA, Capitão de Fragata Engenheiro de Construção Naval. *Elementos de Arquitectura Naval vol.1*, Escola Naval, Serviço de Publicações Escolares, 2004.

RAWSON, K., & TUPPER, E. *Basic Ship Theory vol.1*, Fifth Edition, England, Butterworth-Heinemann, 2001.

———. *Basic Ship Theory vol.2*. Fifth Edition, England, Butterworth-Heinemann, 2001.

UOL. (10 de Agosto de 2014). *UOL*. Fonte: UOL Notícias:

<http://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/efe/2014/07/27/costa-concordia-prepara-se-para-atracar-em-genova-onde-sera-desmantelado.htm>



Anexos



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Anexo A- Regra do trapézio para calcular a área do batelão

Nº da entrada	Valor da entrada	Multiplicador	Produto por área
Z_0	15	0,5	7,5
Z_1	16,2	1	16,2
Z_2	17,4	1	17,4
Z_3	18,6	1	18,6
Z_4	19,8	1	19,8
Z_5	20	1	20
Z_6	20	1	20
Z_7	20	1	20
Z_8	20	1	20
Z_9	20	1	20
Z_{10}	20	1	20
Z_{11}	20	1	20
Z_{12}	20	1	20
Z_{13}	20	1	20
Z_{14}	20	1	20
Z_{15}	20	1	20
Z_{16}	20	1	20
Z_{17}	20	1	20
Z_{18}	20	1	20
Z_{19}	20	1	20
Z_{20}	20	1	20
Z_{21}	20	1	20
Z_{22}	20	1	20
Z_{23}	20	1	20
Z_{24}	20	1	20
Z_{25}	20	0,5	10
Somatório			489,5



Anexo B- Gráfico de carenas direitas

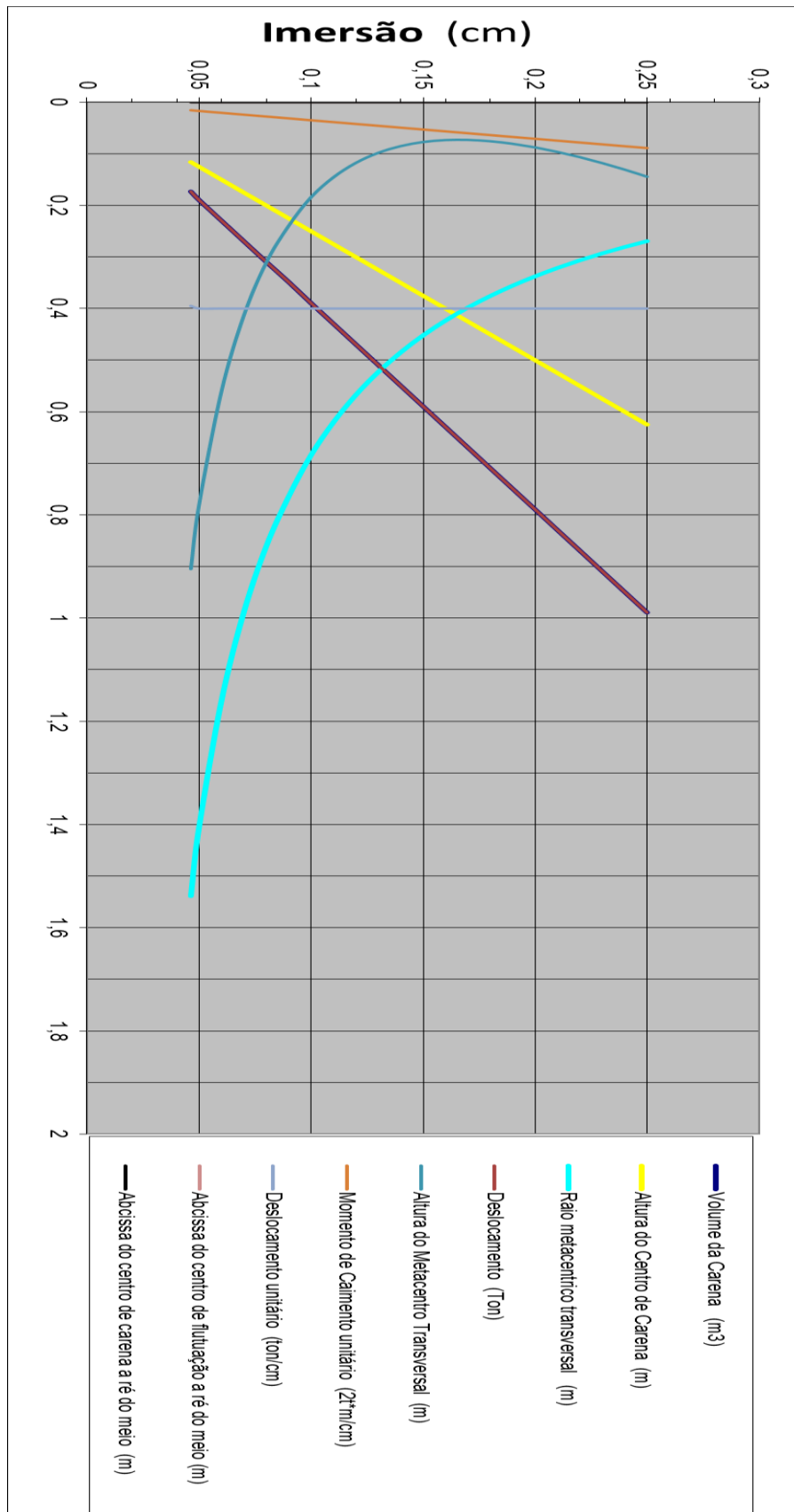


Gráfico 4- Gráfico de carenas direitas



Anexo C – Gráfico de carenas inclinadas

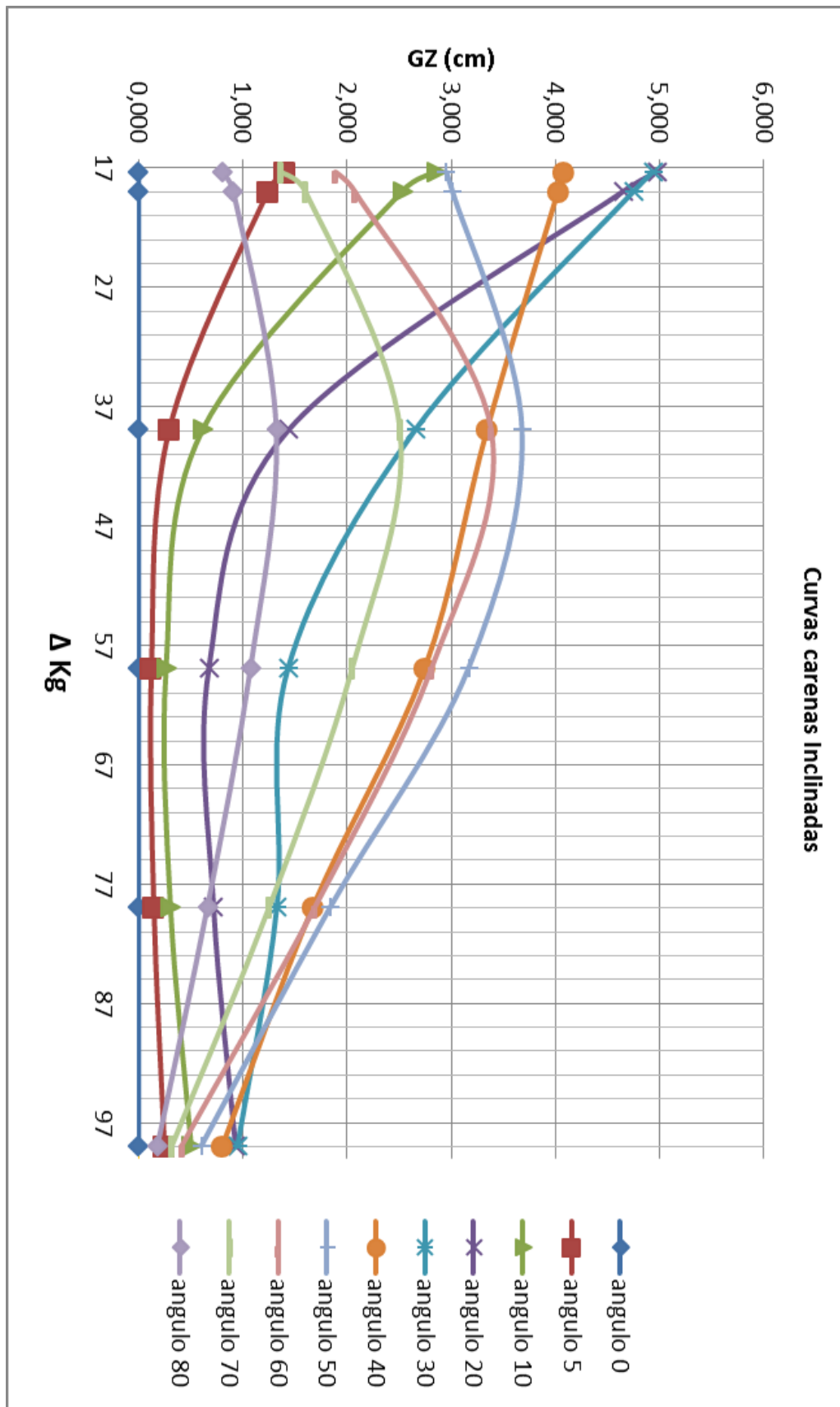


Gráfico 5- Gráfico de carenas inclinadas



Anexo D — Diagrama de estabilidade dos 0° até aos 180°

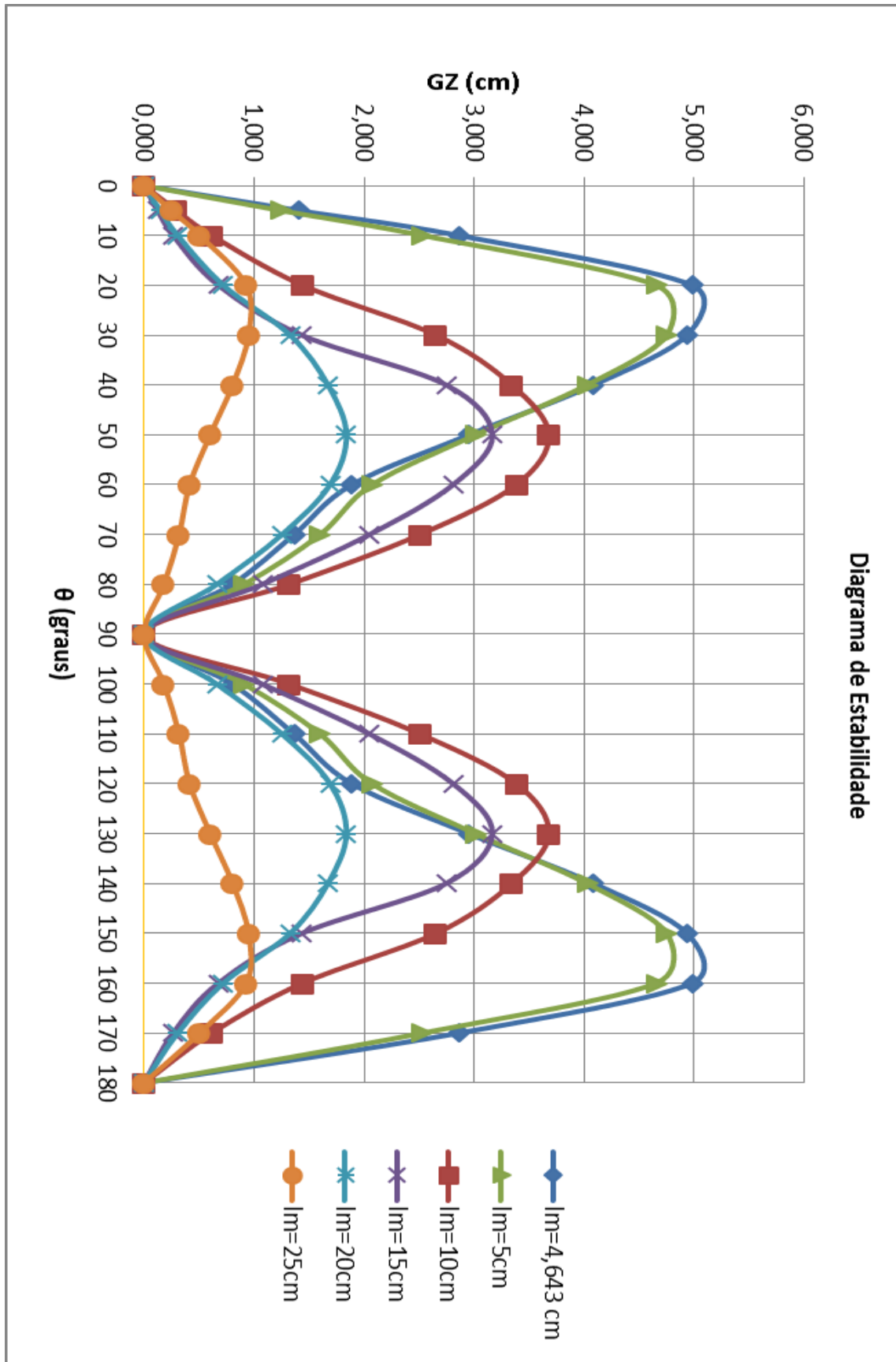


Gráfico 6- Diagrama de estabilidade dos 0° até aos 180°



Anexo E- Obter o diagrama de estabilidade através de um gráfico de carenas inclinadas

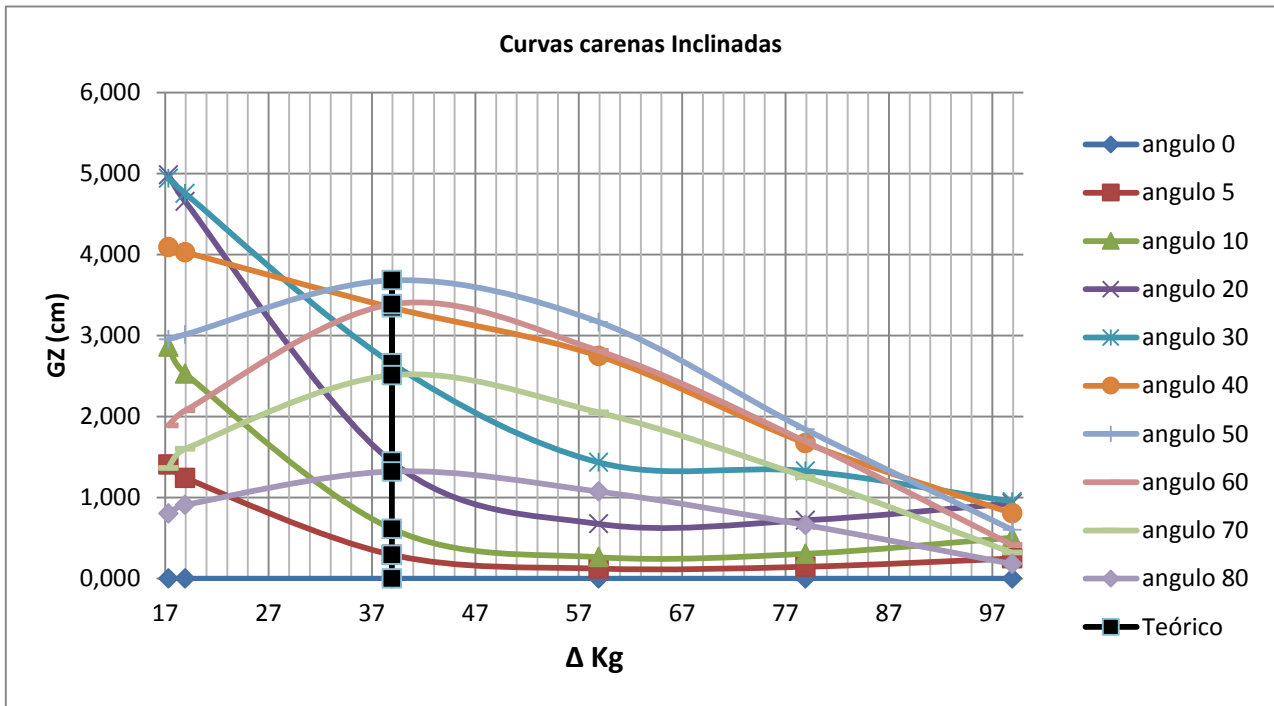


Gráfico 7- Gráfico de carenas inclinadas

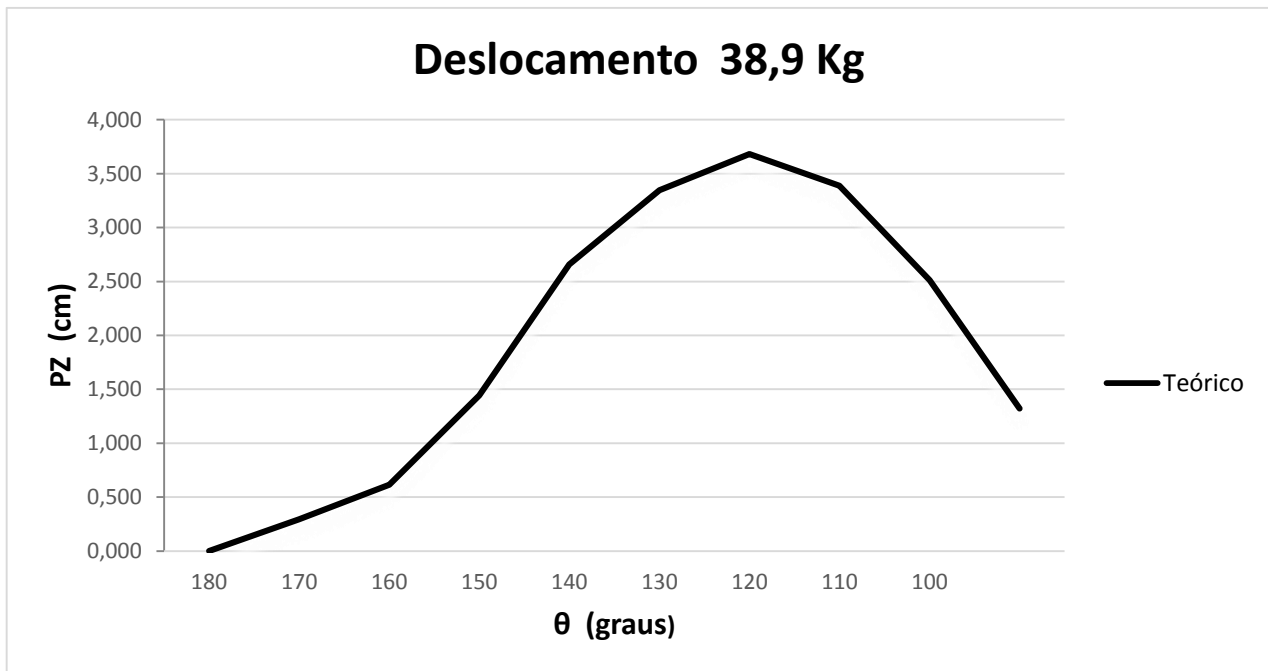


Gráfico 8- Diagrama de estabilidade para o deslocamento de 38,9 Kg

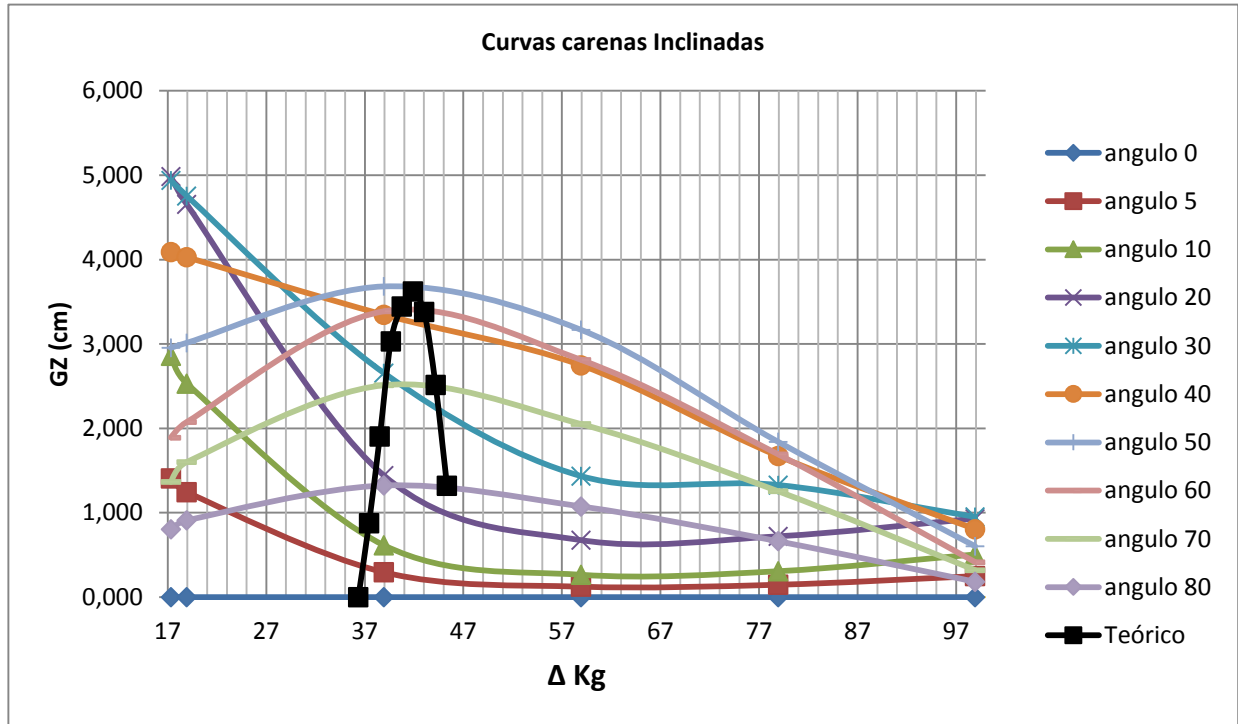


Gráfico 9- Interceção do deslocamento da segunda hipótese no gráfico de carenas inclinadas

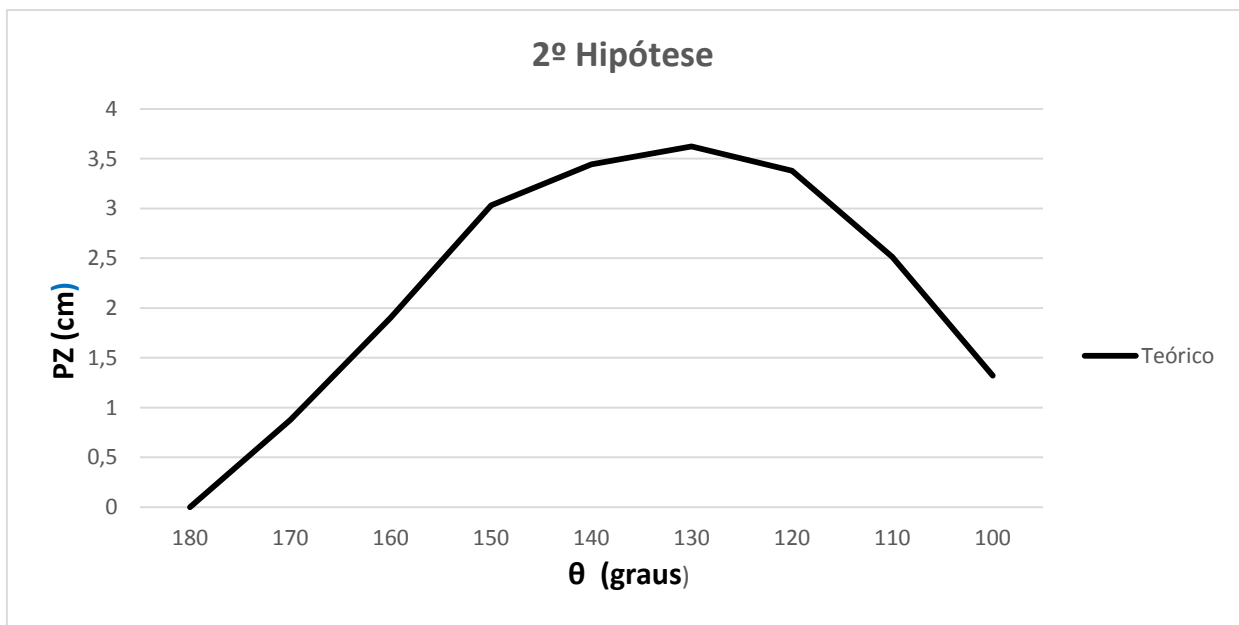


Gráfico 10- Gráfico de estabilidade para a segunda hipótese



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Anexo F- Comparação de resultados e os respetivos gráficos

θ	Imersão (cm)	Deslocamento (Kg)	PZ (cm)	Kg*PZ (Kg*cm)	θ	P.Cabo+P.Balança (Kg)	Dados da Balança (Kg)	Braço (cm)	Braço*Peso (Kg*cm)	%
180	4,643	16,77523617	0	0	180	0	0	45	0	0
170	4,68763	17,51451585	2,818	49,35591	170	0,435	0,635	45	48,15	2,443285
160	4,73225	17,71442115	4,9	86,80066	160	0,435	1,351	45	80,37	7,408542
150	4,77688	17,91495206	4,869	87,2279	150	0,435	1,39	45	82,125	5,850079
140	4,8215	18,11610858	4,059	73,53328	140	0,435	1,125	45	70,2	4,533028
130	4,86613	18,31789072	2,993	54,82545	130	0,435	0,715	45	51,75	5,609525
120	4,91075	18,52029847	2,029	37,57769	120	0,435	0,325	45	34,2	8,988541
110	4,95538	18,72333184	1,573	29,4518	110	0	0	45	0	0
100	5	18,92699082	0,91	17,22356	100	0	0	45	0	0

Tabela 9- Dados Teóricos e Práticos da primeira hipótese

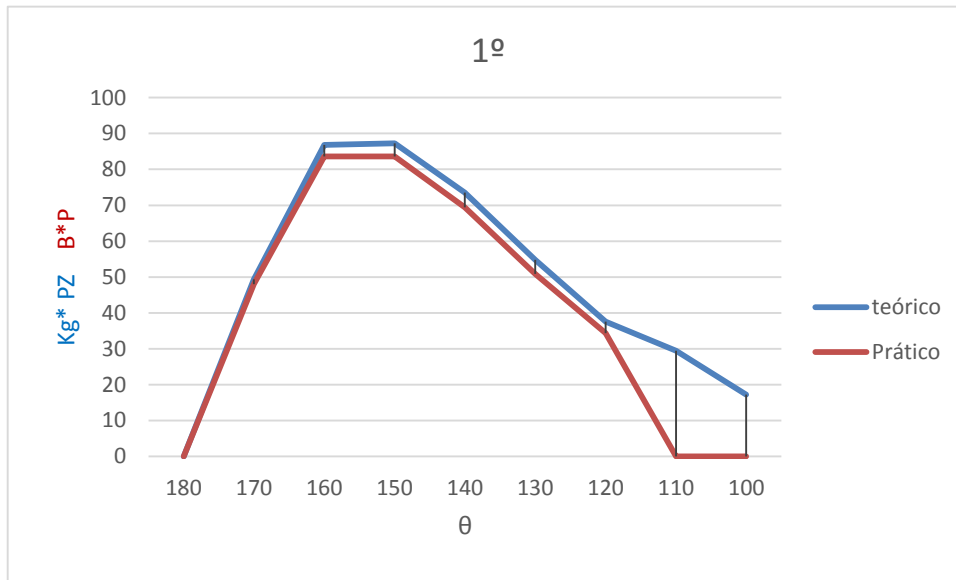


Gráfico 11- Comparação de dados Teóricos e Práticos da primeira hipótese

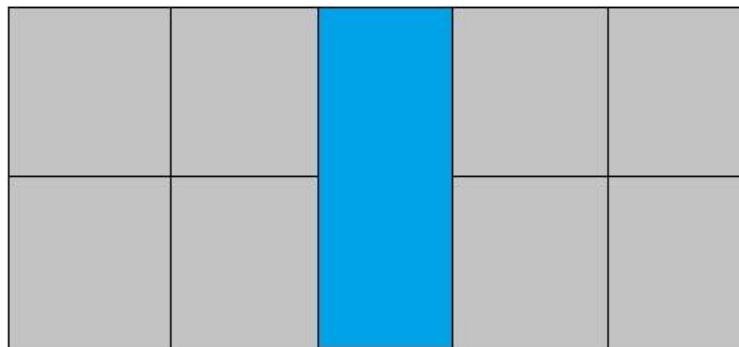


Figura 51- 1ª hipótese



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



θ	Imersão (cm)	Deslocamento (Kg)	PZ (cm)	Kg*PZ (Kg*cm)	θ	P.Cabo+P.Balança (Kg)	Dados da Balança (Kg)	Braço (cm)	Braço*Peso (Kg*cm)	%
180	8,41	36,33994397	0	0	180	0	0	45	0	0
170	8,60125	37,42473709	0,876	32,78407	170	0	0	45	0	0
160	8,7925	38,52102108	1,903	73,3055	160	0,435	1,15	45	71,325	2,701711
150	8,98375	39,62879593	3,03	120,0753	150	0,435	2,1	45	114,075	4,997076
140	9,175	40,74806166	3,444	140,3363	140	0,435	2,5	45	132,075	5,886804
130	9,36625	41,87881824	3,623	151,727	130	0,435	2,8	45	145,575	4,054625
120	9,5575	43,02106569	3,38	145,4112	120	0,435	2,52	45	132,975	8,552437
110	9,74875	44,17480401	2,514	111,0555	110	0,435	1,85	45	102,825	7,411124
100	9,94	45,3400332	1,321	59,89418	100	0	0	45	0	0

Tabela 10 - Dados Teóricos e Práticos da segunda hipótese

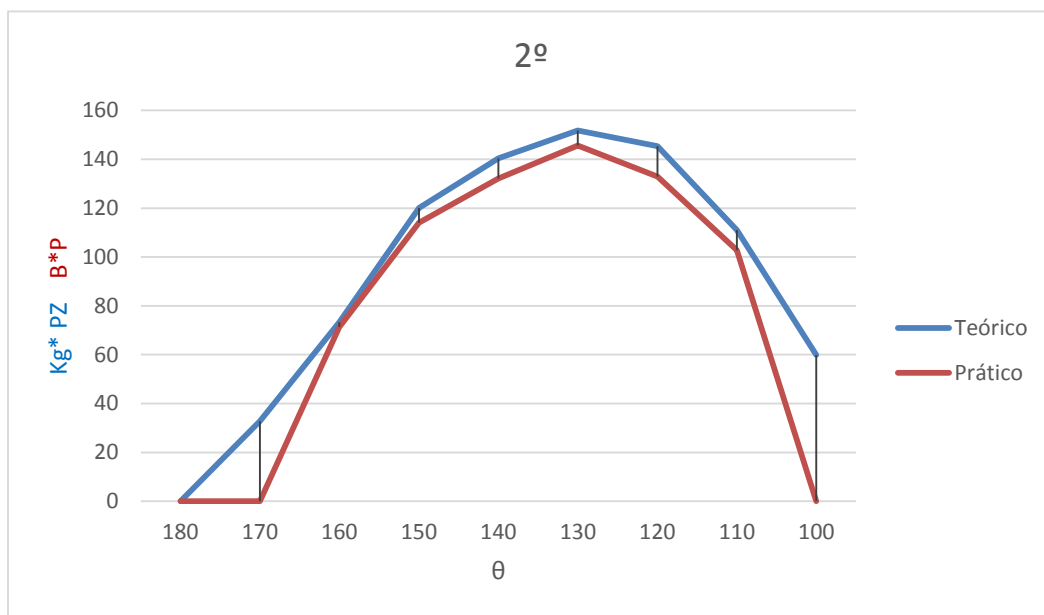


Gráfico 12- Comparação de dados Teóricos e Práticos da segunda hipótese

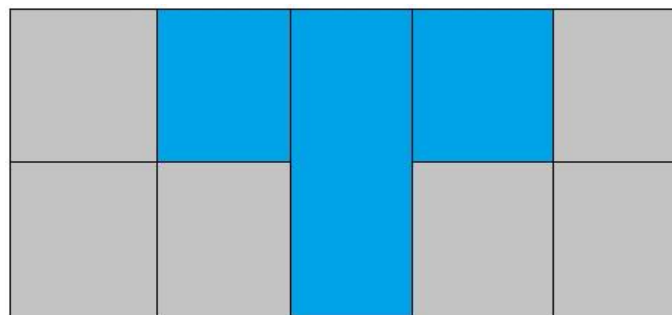


Figura 52- 2ª hipótese



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



θ	Imersão (cm)	Deslocamento (Kg)	PZ (cm)	Kg*PZ (Kg*cm)	θ	P.Cabo+P.Balança (Kg)	Dados da Balança (Kg)	Braço (cm)	Braço*Peso (Kg*cm)	%
180	8,72	38,10408394	0	0	180	0	0	45	0	0
170	8,94875	39,42520687	0,8	31,54017	170	0	0	45	0	0
160	9,1775	40,76276866	1,737	70,80493	160	0,435	1,1	45	69,075	2,443233
150	9,40625	42,11676934	2,872	120,9594	150	0,435	2,15	45	116,325	3,831338
140	9,635	43,48720888	3,389	147,3782	140	0,435	2,6	45	136,575	7,330226
130	9,86375	44,87408731	3,672	164,7776	130	0,435	2,95	45	152,325	7,557244
120	10,0925	46,2774046	3,385	156,649	120	0,435	2,75	45	143,325	8,505649
110	10,3213	47,69716077	2,5	119,2429	110	0,435	2	45	109,575	8,107738
100	10,55	49,13335582	1,309	64,31556	100	0	0	45	0	0

Tabela 11 - Dados Teóricos e Práticos da terceira hipótese

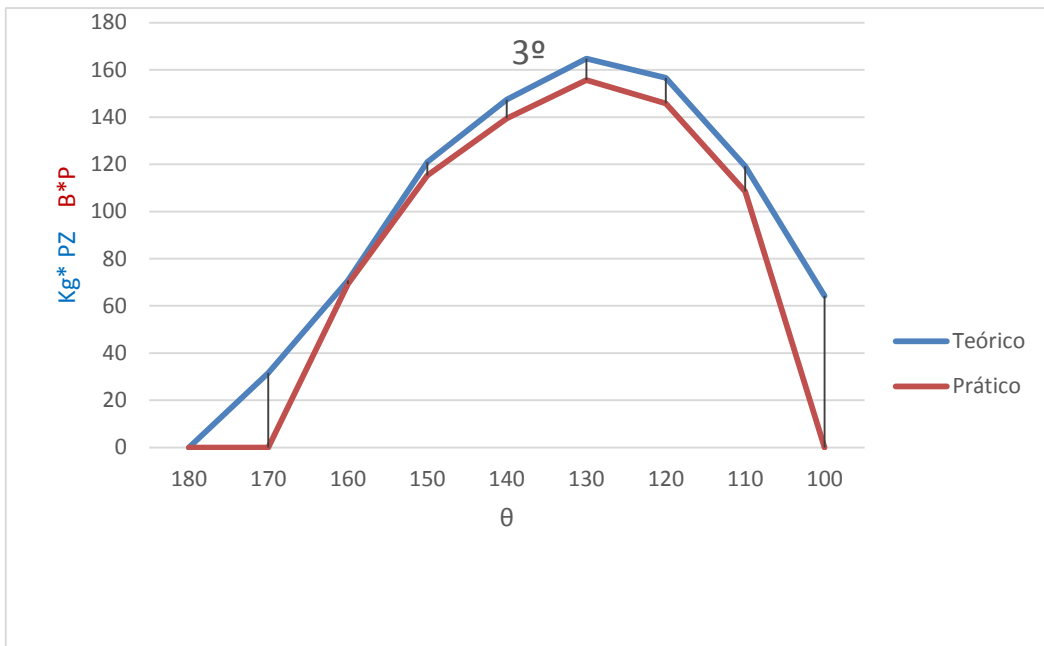


Gráfico 13 - Comparação de dados Teóricos e Práticos terceira hipótese

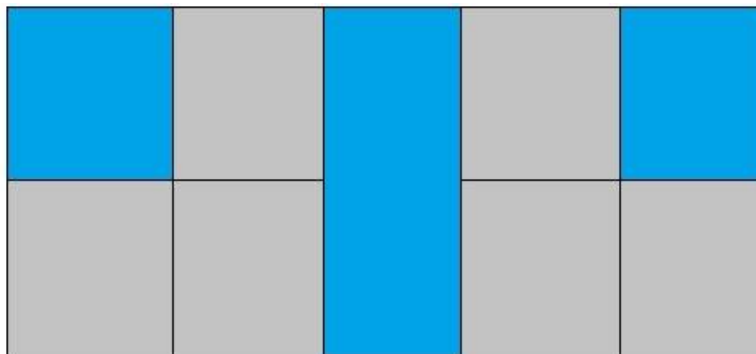


Figura 53 – 3ª hipótese



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



θ	Imersão (cm)	Deslocamento (Kg)	PZ (cm)	Kg*PZ (Kg*cm)	θ	P.Cabo+P.Balança (Kg)	Dados da Balança (Kg)	Braço (cm)	Braço*Peso (Kg*cm)	%
180	6,55	26,38910894	0	0	180	0	0	45	0	0
170	6,66875	26,99193101	1,5	40,4879	170	0,435	0,45	45	39,825	1,637271
160	6,7875	27,59918322	3,168	87,43421	160	0,435	1,48	45	86,175	1,440183
150	6,90625	28,21086557	3,867	109,0914	150	0,435	1,86	45	103,275	5,331691
140	7,025	28,82697805	3,724	107,3517	140	0,435	1,85	45	102,825	4,216671
130	7,14375	29,44752067	3,377	99,44428	130	0,435	1,67	45	94,725	4,74565
120	7,2625	30,07249342	3,06	92,02183	120	0,435	1,425	45	83,7	9,043321
110	7,38125	30,70189631	2,38	73,07051	110	0,435	1,1	45	69,075	5,468024
100	7,5	31,33572934	1,277	40,01573	100	0	0	45	0	0

Tabela 12 - Dados Teóricos e Práticos da quarta hipótese

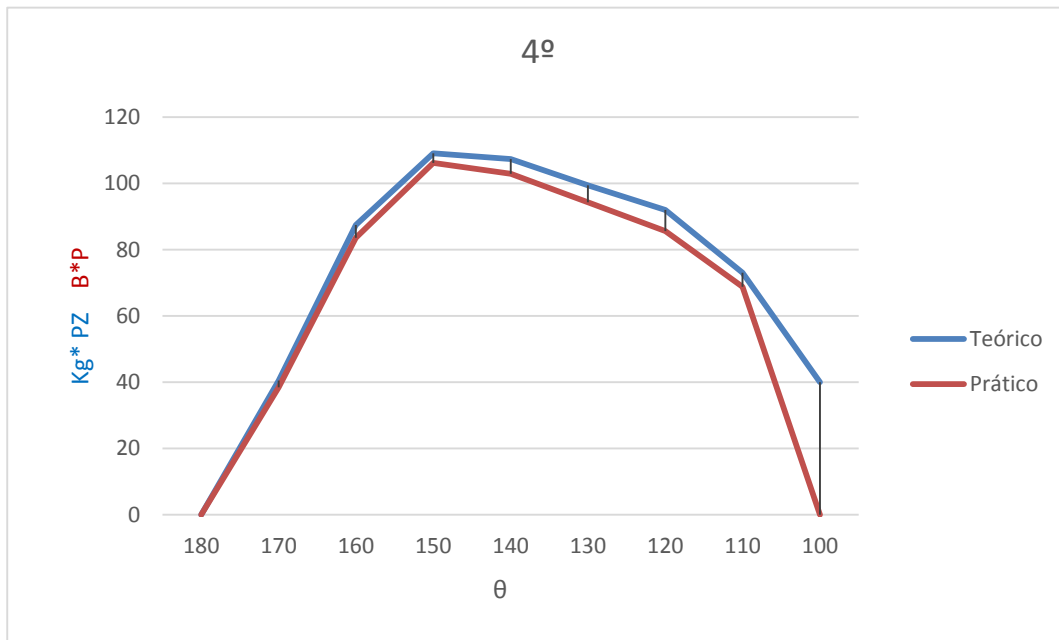


Gráfico 14 - Comparação de dados Teóricos e Práticos da quarta hipótese

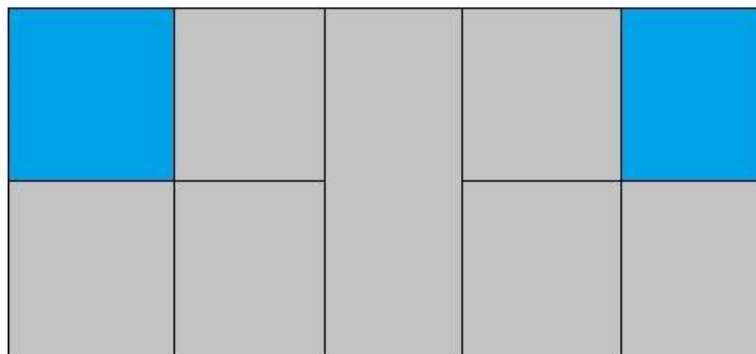


Figura 54- 4ª hipótese



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



θ	Imersão (cm)	Deslocamento (Kg)	PZ (cm)	Kg*PZ (Kg*cm)	θ	P.Cabo+P.Balança (Kg)	Dados da Balança (Kg)	Braço (cm)	Braço*Peso (Kg*cm)	%
180	5,11	19,43167908	0	0	180	0	0	45	0	0
170	5,2125	19,90537816	2,359	46,95679	170	0,435	0,595	45	46,35	1,292224
160	5,315	20,38237789	4,376	89,19329	160	0,435	1,487	45	86,49	3,030817
150	5,4175	20,86267825	4,547	94,8626	150	0,435	1,513	45	87,66	7,592664
140	5,52	21,34627924	3,946	84,23242	140	0,435	1,32	45	78,975	6,241561
130	5,6225	21,83318087	3,114	67,98853	130	0,435	1	45	64,575	5,020737
120	5,725	22,32338314	2,43	54,24582	120	0,435	0,675	45	49,95	7,919174
110	5,8275	22,81688604	1,994	45,49687	110	0,435	0,5	45	42,075	7,521112
100	5,93	23,31368958	1,116	26,01808	100	0	0	45	0	0

Tabela 13 - Dados Teóricos e Práticos da quinta hipótese

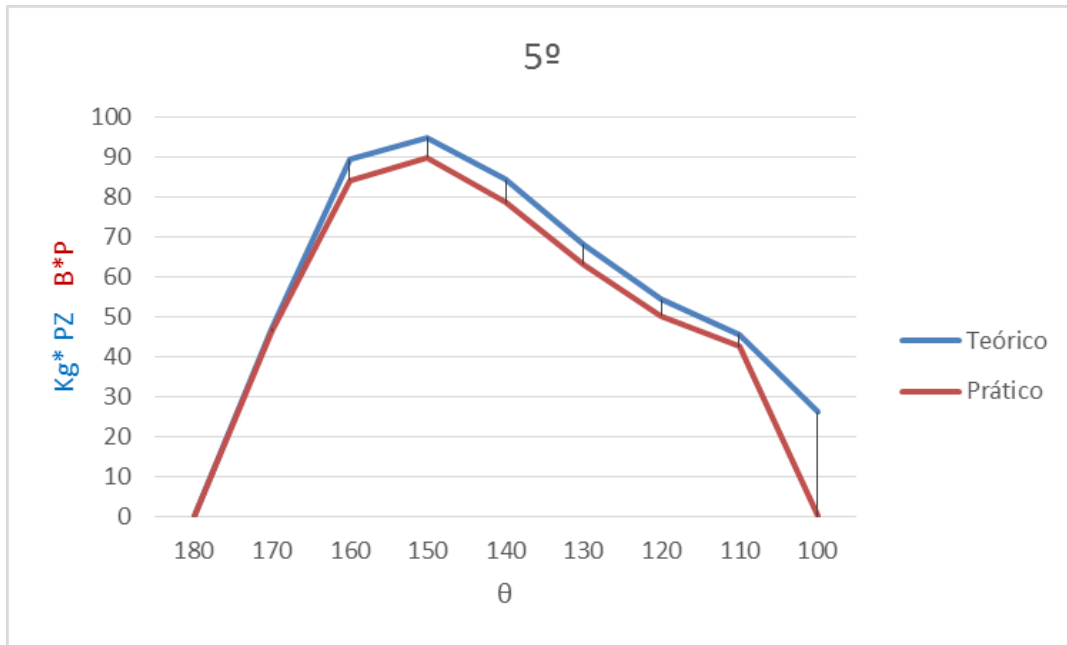


Gráfico 15 - Comparação de dados Teóricos e Práticos da quinta hipótese

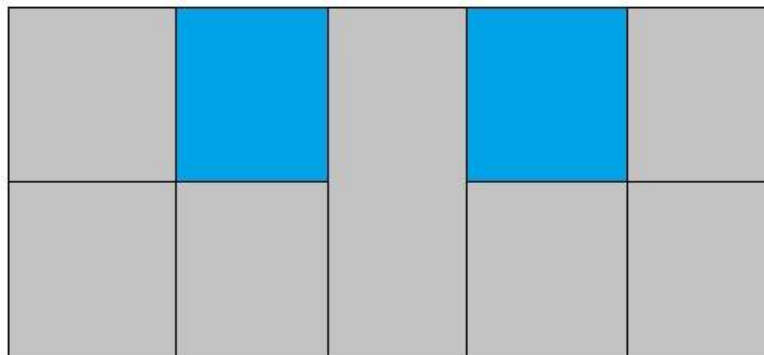


Figura 55– 5ª hipótese



Anexo G- Imagens do batelão



Figura 56- Batelão da primeira hipótese



Figura 57- Segunda hipótese com o batelão soçobrado



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Figura 58- Segunda hipótese com o batelão na posição direita

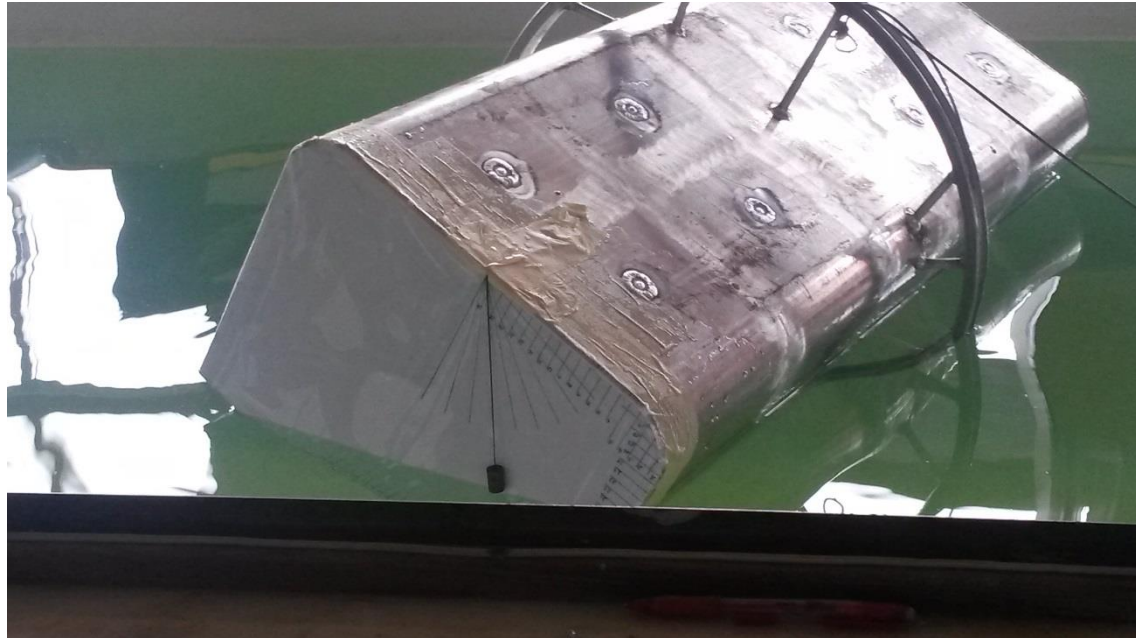


Figura 59- Terceira hipótese com o batelão soçobrado, este apresenta mais deslocamento e a rotação não é perpendicular ao cabo de alumínio, logo existe um compartimento que tem água e que não devia ter.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Figura 60- Terceira hipótese, o batelão apresenta demasiado deslocamento para o número de compartimentos abertos



Figura 61- Quarta hipótese, Batelão soçobrado



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Figura 62- Quarta hipótese, batelão na posição direita. Este apresenta um adorno um pouco excessivo devido a má vedação das chapas de alumínio



Figura 63 – Quinta hipótese, batelão na sua posição direita



Anexo H- Algoritmo de carenas direitas- Funcionamento

O algoritmo utilizado para fazer o gráfico de carenas direitas, teve como base o Excel. Este algoritmo é utilizado na disciplina de Arquitetura Naval para efetuar trabalhos.

Na folha de Excel, o algoritmo está dividido em três partes:

- Para começarmos a trabalhar com o algoritmo é necessário introduzir dados na Tabela 14. Na parte superior direita, introduzimos os valores do Batelão, como a boca, o comprimento, a altura e o G do batelão. Este último tem que ser calculado a parte e depois é que é introduzido na tabela. O volume de carena e o deslocamento, são calculados a parte. Dado o facto de, não saber à priori, o deslocamento e o volume de carena, tive que colocar o batelão, ainda este com deslocamento leve, na água e retirei a respetiva imersão. A imersão permitiu-me calcular o deslocamento e o volume de carena. Depois de introduzir o respetivos valores, o algoritmo com base nas fórmulas, utilizadas na arquitetura naval, preenche automaticamente o resto dos campos da Tabela 10.
- A Tabela 15, apenas permite-nos converter as unidades que os dados se encontram. Nesta tabela, os dados do conversor podem ser alterados para que todos os valores apareçam no gráfico.
- A Tabela 16, apresenta todos os dados em função da imersão que foi definida. Para obter estes valores terei que modificar a imersão na primeira tabela. Para o raio metacêntrico transversal, momento de caimento unitário, deslocamento unitário, terei que voltar a calcular o volume de carena e o deslocamento, para os respetivos valores poderem ser alterados. Logo para cada imersão ter-se-á que fazer os cálculos de novo. O gráfico é o resultado dos valores obtidos na tabela.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Imersão	0,05	B	0,4 m	
		L	1 m	
1 Volume da Carena	0,02	P	0,3 m	
2 Deslocamento	0,02	KG	0,15 m	
3 Altura do Centro de Carena	0,02	p	1 t/m ³	
4 Raio Metacentrico Transversal	0,31			
5 Altura do Metacentro Transversal	0,18	aw	4,00E-01	
6 Momento de Cairmento unitário	0,03	iw	5,33E-03	
7 Deslocamento unitário	0,00	IW/V	3,08E-01	BMT
8 Abcissa do centro de flutuação a ré do meio	0,00	iw	3,33E-02	BML
9 Abcissa do centro de carena a ré do meio	0,00	IW/V	1,92	
			1,8	GM/L

Tabela 14 – Carenas direitas. Valores introduzidos



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



7 Deslocamento unitário	1 cm	100 ton/cm
3 Altura do Centro de Carena (m)	1 cm	0,2 m
1 Volume da Carena (m3)	1 cm	0,1 m3
6 Momento de Caimento unitário	1 cm	2 tm/cm
4 Raio Metacentrico Transversal	1 cm	0,2 m
2 Deslocamento	1 cm	0,1 ton
5 Altura do Metacentro Transversal	1 cm	0,2 m
8 Abcissa do centro de flutuação a ré do meio		
9 Abcissa do centro de carena a ré do meio		

Tabela 15- Carenas direitas. Conversor

Inversão	Volume da Carena	Deslocamento	Altura do Centro de Carena	Raio metacentrico transversal	Altura do Metacentro Transversal	Momento de Caimento unitário	Deslocamento unitário	Abcissa do centro de flutuação a ré do meio	Abcissa do centro de carena a ré do meio
0,046433	0,17316361	0,17316361	0,11608125	1,539006946	0,905088196	0,01556895	0,39486504	0	0
0,05	0,18926991	0,189269908	0,125	1,408042107	0,783042107	0,01701705	0,4	0	0
0,06	0,22926991	0,229269908	0,15	1,162385428	0,562385428	0,020613406	0,4	0	0
0,07	0,26926991	0,269269908	0,175	0,989713266	0,414713266	0,024209762	0,4	0	0
0,08	0,30926991	0,309269908	0,2	0,861706856	0,311706856	0,027806118	0,4	0	0
0,09	0,34826991	0,348269908	0,225	0,765211101	0,240211101	0,031312565	0,4	0	0
0,1	0,38926991	0,389269908	0,25	0,684614954	0,184614954	0,03499883	0,4	0	0
0,11	0,42926991	0,429269908	0,275	0,620821528	0,145821528	0,038595186	0,4	0	0
0,12	0,46926991	0,469269908	0,3	0,567903451	0,117903451	0,042191542	0,4	0	0
0,13	0,50926991	0,509269908	0,325	0,52239149	0,098239149	0,045787898	0,4	0	0
0,14	0,54926991	0,549269908	0,35	0,485189645	0,085189645	0,049384254	0,4	0	0
0,15	0,58926991	0,589269908	0,375	0,452254555	0,077254555	0,052980611	0,4	0	0
0,16	0,62926991	0,629269908	0,4	0,42306665	0,073506665	0,056576967	0,4	0	0
0,17	0,66926991	0,669269908	0,425	0,398195103	0,073195103	0,060173323	0,4	0	0
0,18	0,70926991	0,709269908	0,45	0,375738484	0,075738484	0,063769679	0,4	0	0
0,19	0,74926991	0,749269908	0,475	0,35679572	0,080679572	0,067366035	0,4	0	0
0,2	0,78926991	0,789269908	0,5	0,337653821	0,087653821	0,070962391	0,4	0	0
0,21	0,82926991	0,829269908	0,525	0,321367021	0,096367021	0,074558747	0,4	0	0
0,22	0,86926991	0,869269908	0,55	0,306579116	0,106579116	0,078155103	0,4	0	0
0,23	0,90926991	0,909269908	0,575	0,293092291	0,118092291	0,081751459	0,4	0	0
0,24	0,94926991	0,949269908	0,6	0,280742071	0,130742071	0,085347815	0,4	0	0
0,25	0,98926991	0,989269908	0,625	0,269390586	0,144390586	0,088944171	0,4	0	0

Tabela 16- Carenas direitas. Compilação de todos os valores obtidos



Anexo I- Algoritmo de carenas inclinadas. Funcionamento

O algoritmo utilizado para fazer o gráfico de carenas direitas, teve como base o Excel. Este algoritmo é utilizado na disciplina de Arquitetura Naval para efetuar trabalhos. O método mais utilizado e mais fácil para fazer um gráfico de carenas inclinadas, é a utilização do software.

O algoritmo em Excel, foi dividido em três partes:

- A primeira parte, que é demonstrada na Tabela 17, é onde introduzimos os valores e também acabamos por obter o valor da distância do polo à linha de impulsão, que será o nosso braço. Nesta tabela, introduzimos o valor do G, a qual considero igual ao valor do Polo, a imersão, o ângulo de adorno do batelão, a boca, comprimento e a sua altura.
- A segunda tabela, não está presente na dissertação mas pode ser consultada no CD que está anexada a dissertação. Pois, devido a grandeza do seu tamanho seria impossível de consultá-la. Esta tabela, primeiramente compila os dados que foram introduzidos e calcula pela regra de Simpson o volume imerso do batelão. Em seguida, pela mesma fórmula de Simpson, calcula o volume de carena e o momento do volume de carena, em relação ao plano perpendicular a flutuação e passando pelo polo. Isto para o ângulo escolhido. No final, obtemos o a altura do centróide. A diferença entre o centróide e o G dar-nos-á o nosso braço PZ.
- Assim, com base na imersão que introduzo, a qual terei o valor de PZ, posso contruir uma tabela que varie dos 0 aos 180°. Da tabela posso obter o diagrama de estabilidade. Para fazer o gráfico de carenas direitas, apenas é necessário ter a várias tabelas com os respectivos deslocamento desejados. Tendo as tabelas, seleciona-se o mesmo ângulo de cada tabela e reproduz-se o gráfico. Repetindo o mesmo processo para cada ângulo.



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



ST Rectangular:	
L (m)=	100,000
Bmax (m)=	40,000
Bmin (m)=	0,000
P (m)=	30,000
Input lmc (m)=	5,000
V Lim deck (m.cub)=	120000,000
V LA0 (m.cub)=	20000,000
Output V LA1 (m.cub)=	23712,581
dif V (m.cub)=	-3712,581
Input b LA1 (m)=	5,000
(.) H0 LA0 (m)=	5,000
(.) B0 LA0 (m)=	40,000
YC0 (m)=	0,000
ZC0 (m)=	2,500
Input θ FS (graus)=	30,000
% V=	16,667
KP (m)=	18,180
PZ (m)=	2,714

Tabela 17- Carenas Inclinadas. Valores introduzidos



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Input θ	Output PZ (cm)	$Z = m \cdot y + b$	Kg
$l_m = 5$			
0	0,000	5	18,927
5	1,244	5	18,927
10	2,532	5	18,927
20	4,656	4,787	18,927
30	4,755	3,65	18,927
40	4,029	1,538	18,927
50	3,014	-2,002	18,927
60	2,075	-8,32	18,927
70	1,601	-21,642	18,927
80	0,910	-60,611	18,927
90	0,000	-1677716,6	18,927
100	0,910	-60,611	18,927
110	1,601	-21,642	18,927
120	2,075	-8,32	18,927
130	3,014	-2,002	18,927
140	4,029	1,538	18,927
150	4,755	3,65	18,927
160	4,656	4,787	18,927
170	2,532	5	18,927
180	0,000	5	18,927

Tabela 18 - Valor do PZ para um determinado deslocamento



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



Anexo J – Cálculo da evoluta do batelão

O cálculo da evoluta metacêntrica foi efetuado no Excel. Para o presente cálculo, foi necessário fazer duas tabelas. Uma, que é a Tabela 19, calculou-se o centróide da área que se encontrava imersa. Esta área foi retirada com a ajuda da folha graduada, o que permitiu ter alguma precisão ao tirar à área imersa quando o batelão se encontrava parado num determinado ângulo.

Figura 1= Retângulo Figura 2= Triângulo

Centróide da área imersa para o respetivo ângulo de adornamento							
40°							
Figura	Área	x _g	Y _g	M _{yy}	M _{xx}	Y _g	X _g
1	60	15	1	60	900	9,5866667	10,55555556
2	480	10	10,66	5116,8	4800		
TOTAL	540			5176,8	5700		
50°							
Figura	Área	x _g	Y _g	M _{yy}	M _{xx}	Y _g	X _g
1	120	15	2	240	1800	7,4	11,14285714
2	405	10	9	3645	4050		
TOTAL	525			3885	5850		
60°							
Figura	Área	x _g	Y _g	M _{yy}	M _{xx}	Y _g	X _g
1	210	15	3,5	735	3150	4,90625	12,1875
2	270	10	6	1620	2700		
TOTAL	480			2355	5850		
70°							
Figura	Área	x _g	Y _g	M _{yy}	M _{xx}	Y _g	X _g
1	240	15	4	960	3600	4	12,85714286
2	180	10	4	720	1800		
TOTAL	420			1680	5400		
80°							
Figura	Área	x _g	Y _g	M _{yy}	M _{xx}	Y _g	X _g
1	255	15	4,25	1083,75	3825	3,6746809	13,61702128
2	97,5	10	2,17	211,575	975		
TOTAL	352,5			1295,325	4800		
90°							
Figura	Área	x _g	Y _g	M _{yy}	M _{xx}	Y _g	X _g
1	36	15	3	108	540	3	15
TOTAL	36			108	540		

Tabela 19- Cálculo do centróide da área imersa



Aparato para medição de forças e momentos de navios soçobrados



A área que se encontrava imersa podia ser dividida em duas partes, uma teria a forma de um retângulo e a outra a forma de um triângulo. Com base nestas duas figuras geométricas, foi possível obter as coordenadas do centróide do conjunto de figuras. Este centróide dá-nos o centro de carena da área imersa. Estes cálculos foram efetuados sem se considerar a esferovite.

θ (graus)	Ast (cm ²)	Imersão (cm)	Deslocamento (Kg)	Yg (cm)	Xg (cm)	KG _{1v} (cm)	KG _{1H} (cm)	PZ (cm)	BM (cm)
10	0	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0	-	-	-	-	-	-	-	-
30	0	-	-	-	-	-	-	-	-
40	540	13,8	54	9,5866667	10,55556	5,50275	6,7935185	6	9,87654321
50	525	13,4	52,5	7,4	11,14286	5,562581	6,7019048	7,7	4,285714286
60	480	12,3	48	4,90625	12,1875	5,657547	6,3927083	8,2	4,6875
70	420	10,8	42	4	12,85714	5,642286	5,877381	7,8	5,357142857
80	352	9,1	35,2	3,6746809	13,61702	5,309609	5,0809659	6,55	6,392045455
90	36	6	3,6	3	15	11,42917	38,097222	0	62,5

Tabela 20 - Raio metacêntrico e a localização do cento de gravidade

A segunda tabela, Tabela 20, é necessária para calcular o raio metacêntrico e o centro de gravidade do batelão.

O raio metacêntrico foi calculado com base no momento de inércia da figura e o deslocamento que o navio tem no respetivo ângulo de adornamento. Este valor permitiu localizar o metacentro. Com estes dados foi possível desenhar a evoluta em uma folha graduad-a como podemos ver nas seguintes imagens



Anexo K – Evoluta na folha graduada

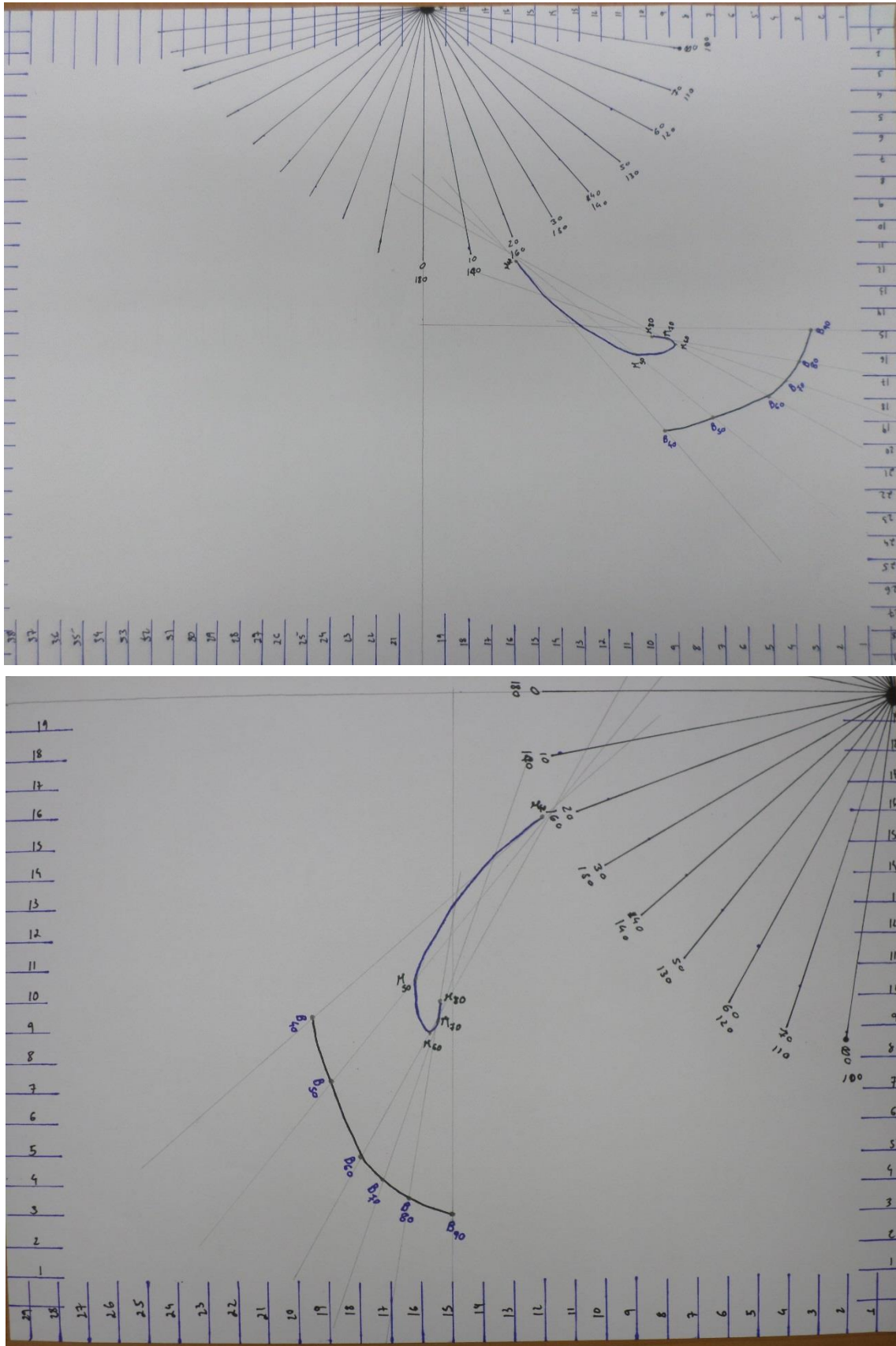


Figura 64 – Folha graduada com o desenvolvimento da evoluta, para a esferovite com a área reduzida