

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS DE EMBARCAÇÃO

Grupo 8

Henrique Gabrielli Spina NUSP 9835108

Matheus Shoiti Yoshimura NUSP 10791792

Matheus Silva Coutinho NUSP 10410156

Taiki Hashizume NUSP 10791812

Professor responsável: Prof. Dr. Marcelo Martins

Julho/2021

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS DE EMBARCAÇÃO

Trabalho realizado para avaliação parcial da disciplina PNV3315 – Hidrostática e Estabilidade, do curso de Engenharia Naval da Escola Politécnica da USP.

Julho/2021

RESUMO

No contexto da Engenharia Naval, é notoriamente importante o uso de métodos numéricos para a avaliação de projetos de embarcações. O presente trabalho, proposto na disciplina PNV3315 – Hidrostática e Estabilidade, permitiu que fosse desenvolvido um código computacional para a determinação das propriedades hidrostáticas de uma embarcação, interpolando as splines cúbicas, obtendo assim os pontos intermediários, que estão situados entre as balizas e as linhas d'água. Desse jeito, é possível fazer a comparação entre os resultados obtidos pelo código feito na linguagem Python e os valores obtidos pelo programa DELFTship.

Palavras-chave: Hidrostática, Estabilidade, Propriedades, Casco, Spline.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. DESCRIÇÃO DO NAVIO.....	6
3. TEORIA ALGÉBRICA	7
3.1. INTERPOLAÇÃO POR SPLINES.....	7
3.2. MÉTODOS DOS PAINÉIS	8
3.3. PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS	11
4. RESULTADOS	16
4.1. PYTHON	16
4.2. COMPARAÇÃO	24
5. CONCLUSÕES	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. INTRODUÇÃO

O domínio sobre o conhecimento e determinação das propriedades hidrostáticas de uma embarcação é de suma importância ao engenheiro naval e ao projeto no qual está trabalhando, pois está diretamente ligada à flutuabilidade e estabilidade do navio.

Tais propriedades estão relacionadas à geometria submersa e ao plano de flutuação do casco. O formato complexo do casco traz a necessidade de utilizar softwares para a solução analítica, sendo necessário o uso de ferramentas computacionais. No caso do presente trabalho, foram utilizados o DELFTship e o Python. Através do plano de linhas e das dimensões da embarcação do casco escolhido, foram obtidos os valores das propriedades apresentadas a seguir em Python, comparadas com os valores calculados a partir do DELFTship e de um modelo computacional do casco retirado também do DELFTship, para validar e garantir efetividade dos métodos utilizados.

As propriedades hidrostáticas calculadas foram:

Volume;

Deslocamento;

TCF: posição transversal do centro de flutuação;

TCB: posição transversal do centro de carena;

LCF: posição longitudinal do centro de flutuação;

LCB: posição longitudinal do centro de carena;

KB: altura do centro de carena;

BMt: raio metacêntrico transversal;

BMI: raio metacêntrico longitudinal;

Momentos de inércia transversal e longitudinal do plano de flutuação;

Área do plano de flutuação;

Área molhada.

2. DESCRIÇÃO DO NAVIO

O navio escolhido foi retirado do software DELFTship. As dimensões principais definidas estão na tabela abaixo:

	Medida (m)
Comprimento (LOA)	16,053
Boca (B)	4,8
Calado (T)	1,25

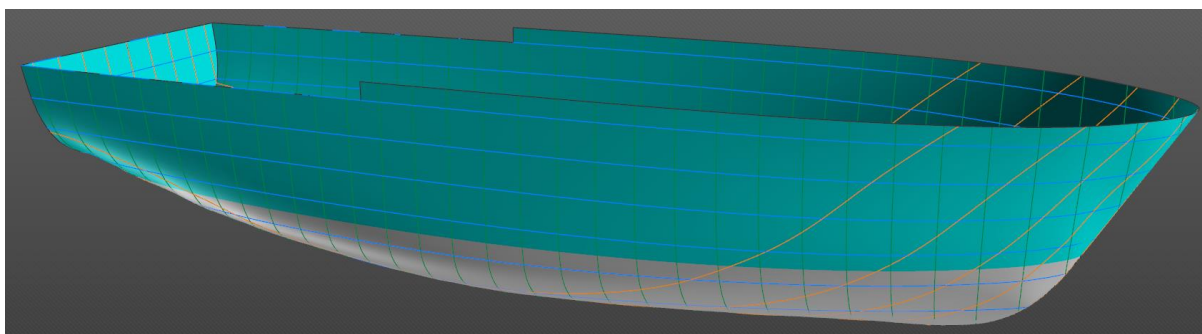


Figura 1: Representação da embarcação escolhida (fonte: autoria própria)

E o plano de linhas exposto abaixo:

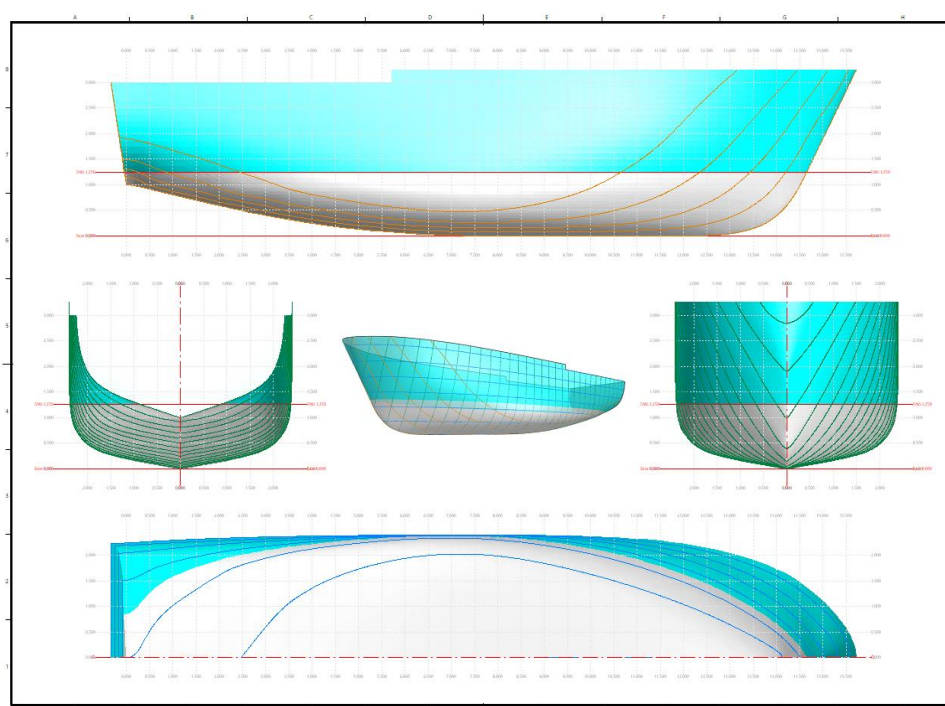


Figura 2: Plano de linhas (fonte: autoria própria)

3. TEORIA ALGÉBRICA

3.1. INTERPOLAÇÃO POR SPLINES

Interpolação, por sua definição, é o método que permite construir um novo conjunto de dados partindo de um conjunto discreto de dados já existentes. No caso do presente trabalho, os dados gerados por essa interpolação são novas linhas d'água e balizas, com a finalidade de elevar a precisão ao discretizar o casco, tendo mais pontos disponíveis.

Para essa interpolação foi utilizada a função *spline*, que permite obter polinômios de graus menores para determinados conjuntos menores de pontos dentre os tais fornecidos. As condições para definir uma função *spline* $S_p(x)$ com grau p traçado pelos nós x_i ($i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$) são:

- em cada subintervalo de pontos $[x_i; x_{i+1}]$ com $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$, $S_p(x)$ é um polinômio de grau p ;
- $S_p(x)$ passa pelos pontos do intervalo;
- $S_p(x)$ é contínua no intervalo e tem derivadas contínuas até a ordem $(p-1)$.

A *Spline* empregada no programa tem grau 3, portanto possui duas derivadas contínuas, evitando assim mudanças bruscas na curvatura e garantindo a linearidade do casco. Sua expressão é dada por:

$$S_k(x) = a_k(x - x_k)^3 + b_k(x - x_k)^2 + c_k(x - x_k) + d_k$$

Definida dentro do intervalo $[x_{k-1}; x_k]$, sendo $k = 1, 2, 3, \dots, n$.

Considerando:

$$g_k = S_k''(x_k) \quad \text{e} \quad h_k = x_k - x_{k-1};$$

Podemos obter os valores de a_k , b_k , c_k e d_k por:

$$a_k = \frac{g_k - g_{k-1}}{6h_k} \quad b_k = \frac{g_k}{2} \quad c_k = \left[\frac{y_k - y_{k-1}}{h_k} + \frac{2h_k g_k + h_k g_{k-1}}{6} \right]$$

$$d_k = y_k$$

É possível determinar g_k pela solução de um sistema linear $Ax=b$:

$$A = \begin{pmatrix} h_1 & 2(h_1 + h_2) & h_2 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 2(h_2 + h_3) & h_3 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & h_{n-1} & 2(h_{n-1} + h_n) & h_n \end{pmatrix}_{(n-1) \times (n+1)}$$

$$b = 6 \cdot \begin{pmatrix} \frac{y_2 - y_1}{h_2} - \frac{y_1 - y_0}{h_1} \\ \frac{y_3 - y_2}{h_3} - \frac{y_2 - y_1}{h_2} \\ \vdots \\ \frac{y_n - y_{n-1}}{h_n} - \frac{y_{n-1} - y_{n-2}}{h_{n-1}} \end{pmatrix}_{(n-1) \times 1}$$

$$x = (g_0, g_1, \dots, g_n)^T$$

3.2. MÉTODOS DOS PAINÉIS

Para a análise das propriedades hidrostáticas de um casco precisamos de uma representação de sua superfície para estudo, e ela será feita usando o método dos painéis. Os painéis se situam entre as balizas e as linhas d'água interpoladas anteriormente, sendo subdivisões da superfície representada, e sendo formados sempre por 4 pontos adjacentes de modo que o vetor normal à superfície tenha orientação externa à embarcação. Os painéis são organizados do seguinte modo:

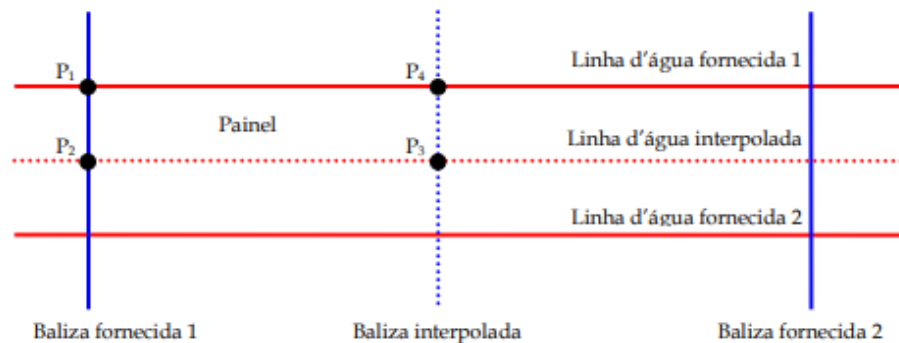


Figura 3: Representação de painéis (fonte: Alvarez, 2008)

É possível perceber que quanto menor o espaçamento entre as balizas e entre as linhas d'água, menor serão os painéis, ou seja mais bem descrita será a embarcação.

Usando o painel representado como referência, e lembrando que o sentido do vetor é determinado pela regra da mão direita é possível perceber que o único modo do vetor ter orientação para fora da superfície é impor a ordem da leitura dos pontos do jeito que foi representado.

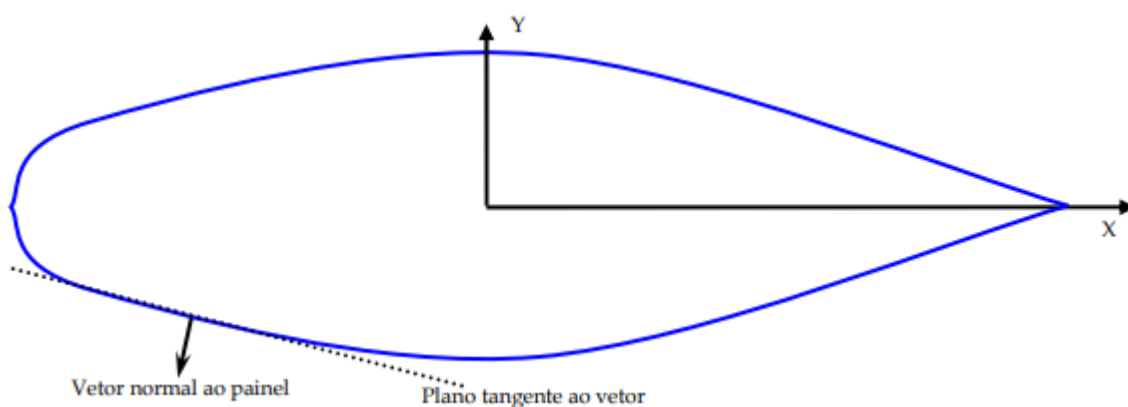


Figura 4: Painel usado no cálculo vetorial (fonte: Alvarez, 2008)

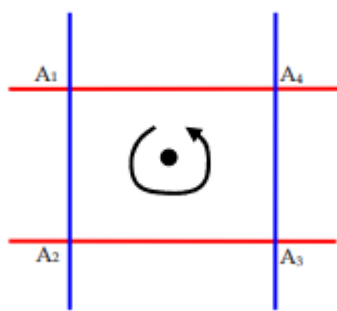


Figura 5: Ordenação do sentido de leitura dos pontos (fonte: Alvarez, 2008)

Após a construção dos painéis, vamos usar o método do cálculo da média dos produtos vetoriais entre vetores que conectam vértices consecutivos para calcular a área do painel e assim obter o valor do vetor área. O painel por ter 4 pontos não é necessariamente plano então ele será dividido entre dois triângulos que, por serem formados por 3 pontos, são necessariamente planos e, assim temos a área total do painel pela soma das duas áreas dos triângulos.

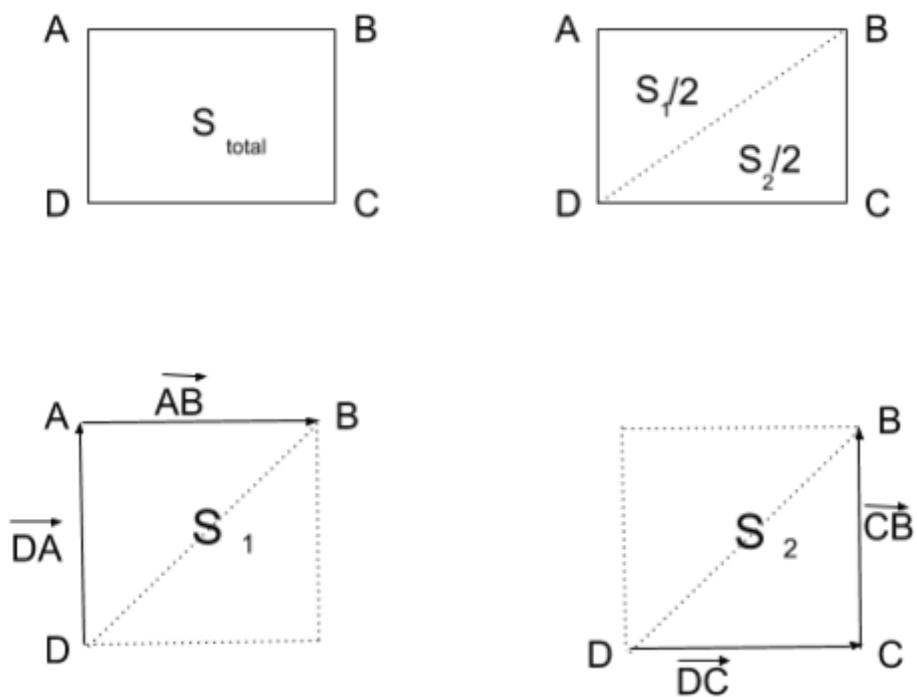


Figura 6: Esquema da divisão do painel em triângulos

Assim, usando as fórmulas e substituindo os valores, chegamos no módulo do vetor área.

$$S_1 = |\overline{AB}| \times |\overline{DA}| \text{ e } S_2 = |\overline{CB}| \times |\overline{DC}|$$

$$S_{total} = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{(|\overline{AB}| \times |\overline{DA}|) + (|\overline{CB}| \times |\overline{DC}|)}{2}$$

3.3. PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS

As propriedades hidrostáticas dependem de maneira direta do formato da superfície submersa da embarcação, logo vão variar de acordo com o carregamento pois ele altera a porção submersa e a altura da linha d'água.

a) Volume deslocado (∇)

O volume submerso ou volume deslocado (∇ ou V) corresponde ao volume do navio abaixo da linha d'água, e tem a tendência de aumentar com o aumento do calado. É possível calculá-lo usando o vetor área e posição do painel submerso da seguinte maneira: realizando o produto escalar do vetor área e posição de dois painéis opostos na mesma direção, o volume entre eles pode ser obtido quando isso é realizado em todos os painéis. Durante o processo, um conjunto de pequenos volumes será obtido, esses volumes são somados e tal soma é dividida por 3 para encontrar o volume real corrigido.

É preciso definir a origem do referencial cartesiano, pois o vetor posição depende de tal origem.

O volume submerso é encontrado substituindo os valores na fórmula a seguir, considerando n painéis, A sendo as componentes cartesianas do vetor área de cada painel e C_i como o vetor posição deles:

$$\nabla = \frac{(\sum_{i=0}^n A_i(C_i - O))_x + (\sum_{i=0}^n A_i(C_i - O))_y + (\sum_{i=0}^n A_i(C_i - O))_z}{3}$$

b) Deslocamento (Δ)

Deslocamento de uma embarcação é a massa do líquido deslocado pelo volume da embarcação que está submerso, geralmente expresso em toneladas. Seu valor é dado pela multiplicação do peso específico do líquido pelo volume submerso:

$$\Delta = \gamma * \nabla$$

c) Área molhada (S_w)

Área molhada é a área da superfície do casco que está submersa, e é encontrada pela somatória dos módulos dos vetores área dos painéis submersos:

$$S_w = \sum_{i=0}^n |\overline{A}_i^{(x,y,z)}|$$

d) Área do plano de flutuação (A_{WL})

É a área do plano horizontal do casco que é cortado pela linha d'água. Para obter seu valor, é preciso somar as componentes z de cada vetor área dos painéis submersos:

$$A_{WL} = \sum_{i=1}^n -A_i^z$$

e) Centro de carena (B)

É o centróide da porção submersa do navio, por onde passa a linha de ação do empuxo. Possui três coordenadas: KB (posição vertical), LCB (posição longitudinal) e TCB (posição transversal).

Para encontrar o valores das coordenadas é necessário fazer uma média ponderada entre seus volumes e centros geométricos:

$$LCB = \frac{\sum_{i=1}^n [(A_i * C_i) * \frac{C_i}{2}]_x}{V}$$

$$TCB = \frac{\sum_{i=1}^n [(A_i * C_i) * \frac{C_i}{2}]_y}{V}$$

$$KB = \frac{\sum_{i=1}^n [(A_i * C_i) * \frac{C_i}{2}]_z}{V}$$

f) Centro de flutuação longitudinal e transversal

Corresponde ao centro geométrico da área do plano de flutuação de um navio. É caracterizado pelo LCF (posição longitudinal) e TCF (posição transversal). São calculadas a partir das áreas distribuídas dos painéis ao longo do plano de flutuação pelas fórmulas a seguir:

$$LCF = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i^z * C_i^x)}{\sum_{i=1}^n -A_i^z}$$
$$TCF = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i^z * C_i^y)}{\sum_{i=1}^n -A_i^z}$$

g) Coeficiente de bloco e coeficiente de plano de linha d'água

Coeficiente de bloco (C_b): é um adimensional que indica o quanto o navio se aparenta com um paralelepípedo de dimensões L (comprimento), H (calado) e B (boca). Sempre terá um valor menor ou igual a 1. Quanto menor seu valor, mais hidrodinâmico será o casco, conseqüentemente tendo menor resistência ao movimento.

$$C_B = \frac{V}{blh}$$

O coeficiente de plano de linha d'água é um adimensional que tem a função de relacionar a área do plano de flutuação e o retângulo (com dimensões iguais) com a boca máxima e o comprimento do navio em um plano que a circunscreve.

$$C_{WL} = \frac{A_{WL}}{bl}$$

h) Raio Metacêntrico

É a distância entre o centro de carena e o BMT (metacentro transversal) ou o BML (metacentro longitudinal). É assumido que o metacentro é um ponto fixo onde passa sempre a componente vertical da força empuxo, qualquer que seja o ângulo de inclinação, desde que a trajetória do centro de carena aparente um arco circular para uma faixa de pequenos ângulos.

Tendo o raio metacêntrico calculado para uma certa posição do centro de carena, é possível obter as coordenadas do metacentro, tendo a possibilidade assim de obter o braço de retorno e o momento de retorno pelas fórmulas a seguir:

$$BM_L = \frac{I_L}{V}$$

$$BM_T = \frac{I_T}{V}$$

i) Momento de Inércia

Por definição, o momento de inércia de uma embarcação é a somatória do produto de cada porção da área da linha d'água pela sua distância até o eixo de rotação da área. Fisicamente, representa a dificuldade de um corpo em girar em torno de um determinado eixo, pois quantifica a área e o grau de afastamento do eixo, em outras palavras o quanto volume em torno da linha d'água sofre modificações e como o empuxo sofre movimento.

O momento de inércia transversal do navio é relativo ao eixo longitudinal, ao longo do seu comprimento total, o que equivale ao seu eixo de simetria, na direção y.

$$I_T = \sum_{i=1}^n (-A_i^z * (C_i^y - TCF)^2) + I_i^T$$

O momento de inércia longitudinal é relativo ao eixo transversal, passando pelo centro de flutuação do navio, permitindo assim a análise do trim, na direção da componente x.

$$I_L = \sum_{i=1}^n (-A_i^z * (C_i^x - LCF)^2) + I_i^L$$

Para os cálculos propostos no presente relatório, foram desconsideradas as parcelas que representam o momento próprio do navio, pois tem uma influência muito inferior à da outra parcela do momento de inércia.

4. RESULTADOS

4.1. PYTHON

As propriedades hidrostáticas foram calculadas pelo programa em Python para um intervalo de calado entre 0,75 a 3 metros.

a) Volume deslocado (∇)

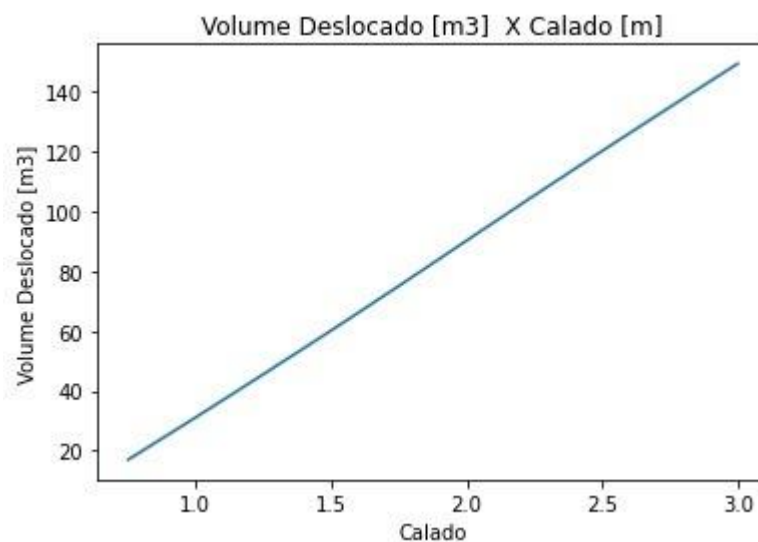


Gráfico 1: Volume deslocado x Calado (fonte: autoria própria)

É possível observar que o volume submerso aumenta de maneira praticamente linear em relação ao aumento do calado, isso se deve à quilha possuir uma leve curvatura e o costado ser aproximadamente retilíneo, fazendo com que a variação do volume tenha um perfil linear.

b) Deslocamento (Δ)

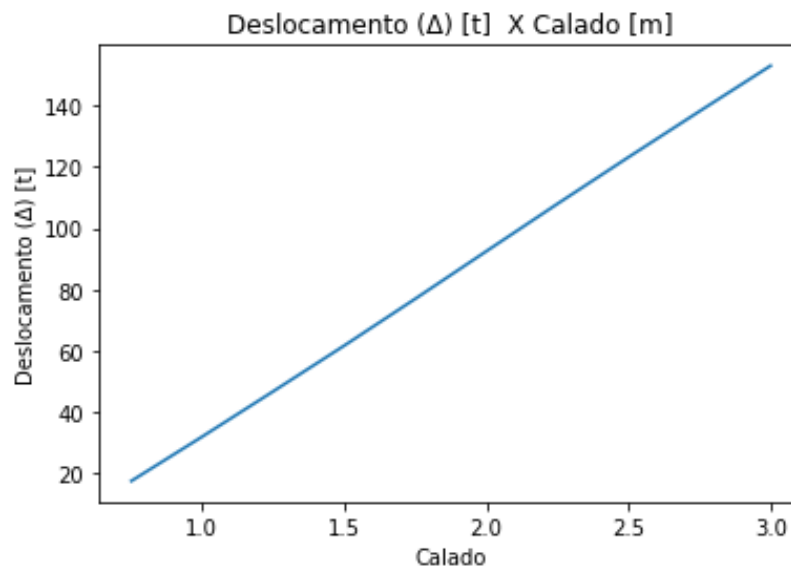


Gráfico 2: Deslocamento x Calado (fonte: autoria própria)

É possível observar que, assim como o volume submerso, o deslocamento aumenta de maneira praticamente linear em relação ao aumento do calado, isso se deve à quilha possuir uma leve curvatura e o costado ser aproximadamente retilíneo, fazendo com que a variação do volume tenha um perfil linear. A densidade da água utilizada foi de $\rho=1.025\text{t/m}^3$ a mesma utilizada pelo software DELFTship para facilitar o efeito de comparação posteriormente.

c) Área molhada (S_w)

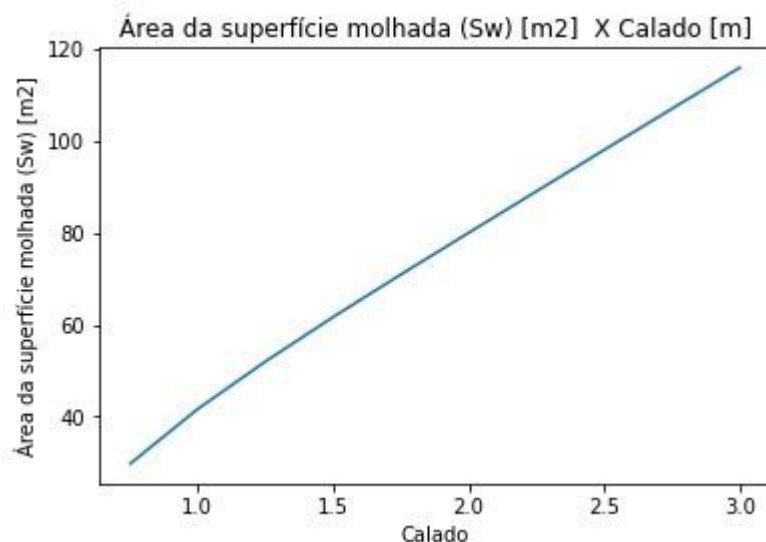


Gráfico 3: Área da superfície molhada x Calado (fonte: autoria própria)

Pode-se notar que para um calado de até 1m, a inclinação da curva é mais acentuada se comparada com o restante do gráfico, isso se deve à geometria do casco, que na parte inferior apresenta uma leve curvatura, fazendo com que para calados pequenos a variação da área seja maior, e para calados acima de 1m, possui uma variação menor, devido ao costado ser praticamente retilíneo.

d) Área do plano de flutuação (A_{WL})

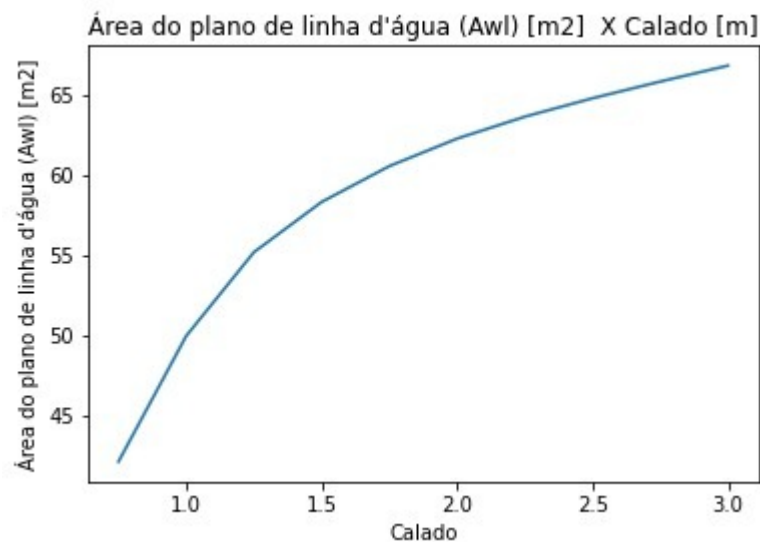


Gráfico 4: Área do plano de linha d'água x Calado (fonte: autoria própria)

A área do plano de linha d'água tem um aumento maior para calados até 1m, devido à leve curvatura da quilha. Acima de 1m, é possível notar que a curvatura do gráfico vai diminuindo, representando uma menor variação da área, devido ao perfil aproximadamente retilíneo do costado.

e) Centro de carena (B)

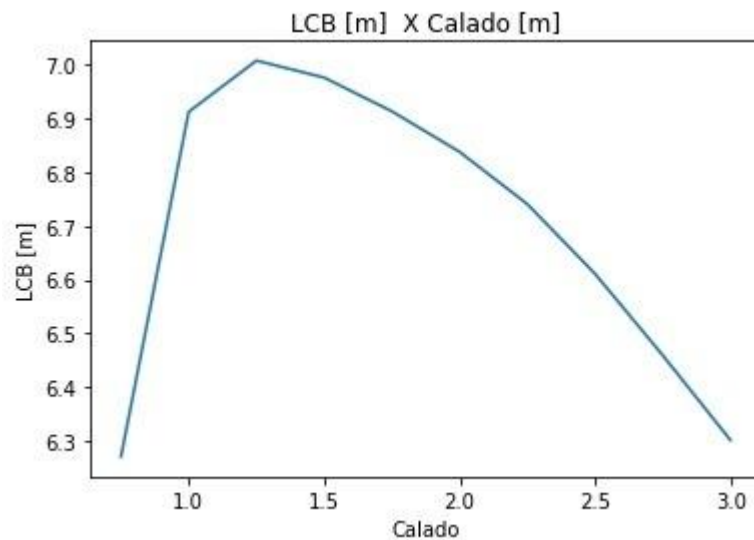


Gráfico 5: LCB x Calado (fonte: autoria própria)

É possível observar que para um calado de até 1,25m, o LCB aumenta, devido à geometria da popa, que faz com que a porção submersa a ré sofra maior variação. Entretanto, para um calado maior que 1,25m, o LCB vai diminuindo gradualmente, pois a variação da porção submersa a vante tem maior influência, fazendo com que o LCB se desloque para frente.

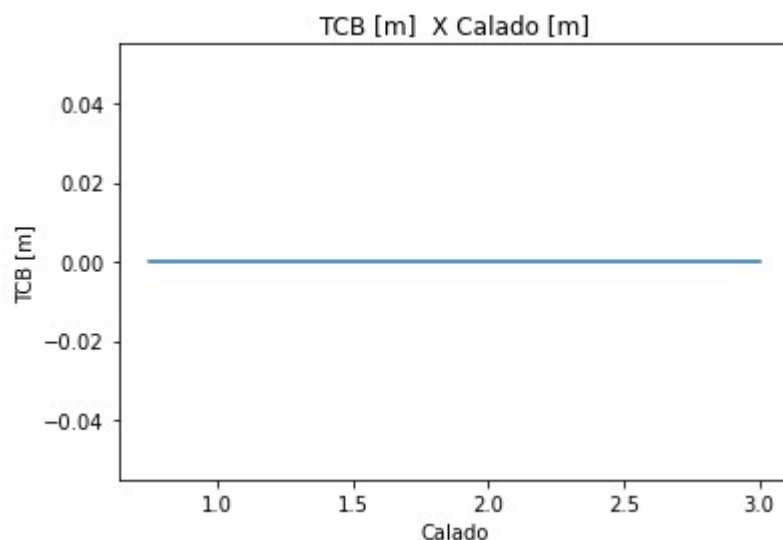


Gráfico 6: TCB x Calado (fonte: autoria própria)

A posição transversal do centro de carena não sofre variação, devido à simetria da embarcação e por não possuir banda.

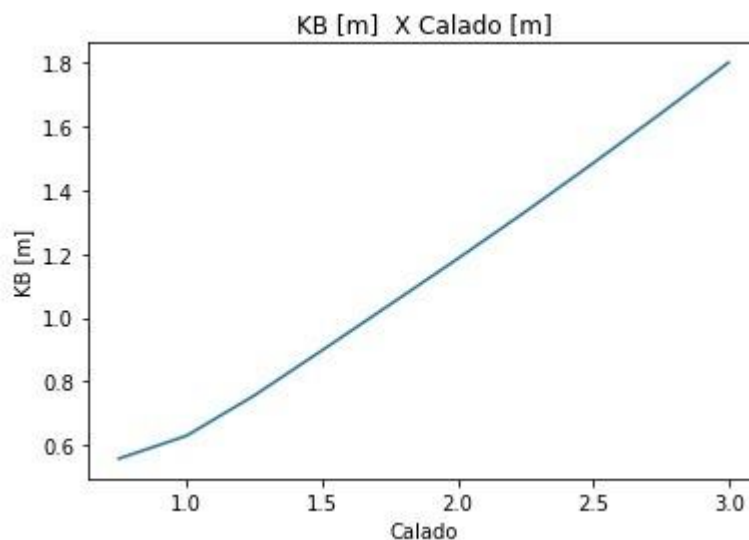


Gráfico 7: KB x Calado (fonte: autoria própria)

A posição vertical do centro de carena varia com o aumento do calado devido à alteração da geometria submersa. Sendo assim, como a porção submersa aumenta, a posição do KB se desloca para cima linearmente. Pode-se observar que para calados acima de 1m, o aumento do KB é maior, devido à geometria do casco, fazendo com que a porção submersa aumente consideravelmente conforme o calado vai aumentando.

f) Centro de flutuação longitudinal e transversal

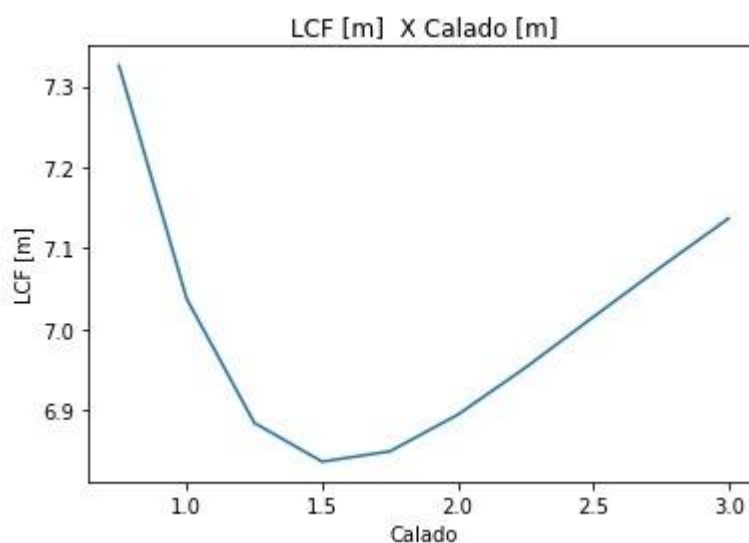


Gráfico 8: LCF x Calado (fonte: autoria própria)

A posição longitudinal do centro de flutuação vai decrescendo para um calado de até 1,5m, isso se deve ao fato da curvatura da popa, que conforme o calado

aumenta, a porção submersa a vante da meia-nau vai aumentando mais rapidamente, deslocando o LCF nesse mesmo sentido. A partir de 1,5m de calado, o LCF gradualmente vai mudando para a ré da meia-nau, devido à diferença da parte submersa a vante e a ré ser menos expressivo, e por conta da popa apresentar uma *curvatura, a porção submersa a ré tem maior influência, deslocando o LCF para a ré da meia-nau, com uma variação cada vez mais expressiva até o calado de 3m.

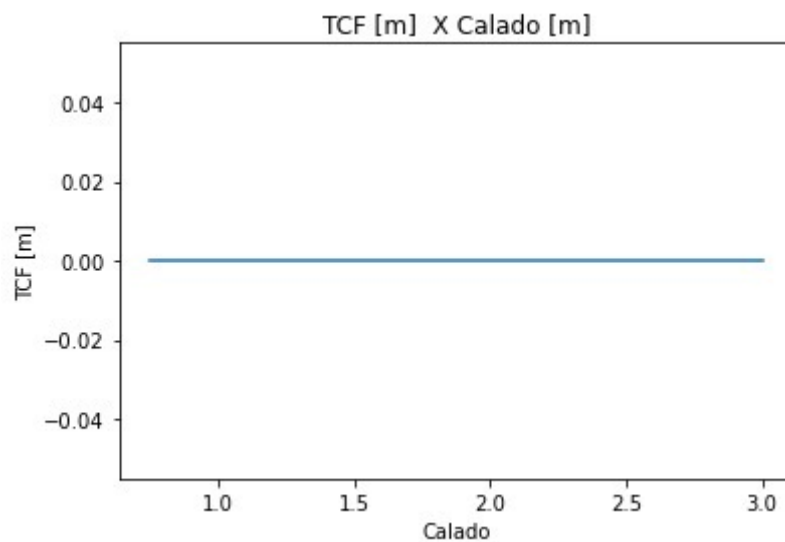


Gráfico 9: TCF x Calado (fonte: autoria própria)

A posição transversal do centro de flutuação não sofre variação, devido à simetria da embarcação e por não possuir banda.

g) Raio Metacêntrico

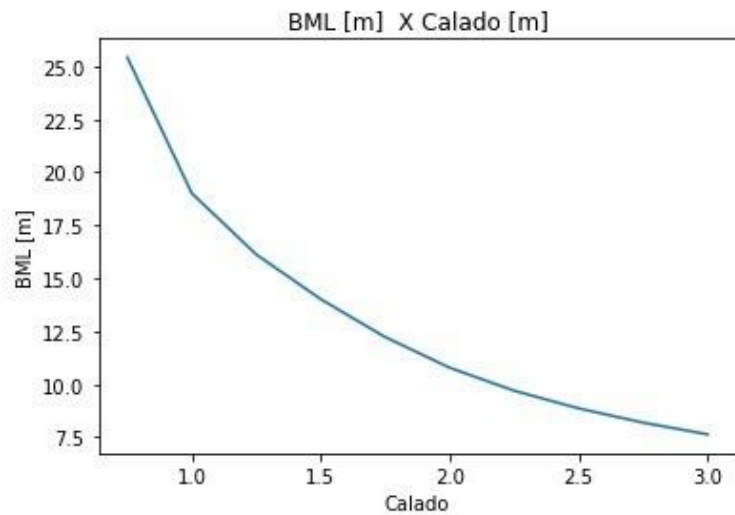


Gráfico 10: BML x Calado (fonte: autoria própria)

Como o BML é a razão entre o momento de inércia e o volume submerso, conforme o calado vai aumentando, o volume submerso aumenta em uma razão maior que a inércia, por isso, o gráfico apresenta essa curvatura, com a diminuição do BML em relação o aumento do calado.

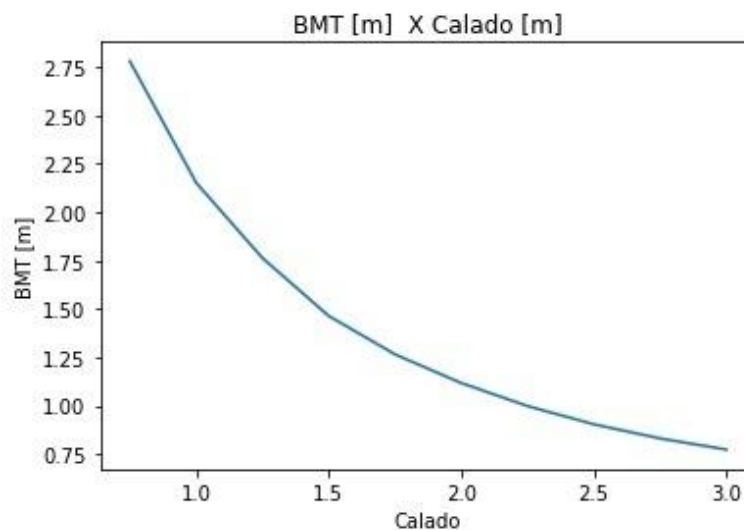


Gráfico 11: BMT x Calado (fonte: autoria própria)

Assim como o BMI, o BMt é a razão entre o momento de inércia transversal e o volume submerso, conforme o calado vai aumentando, o volume submerso aumenta

em uma razão maior que a inércia, por isso, o gráfico apresenta essa curvatura, com a diminuição do BMt em relação ao aumento do calado.

h) Momento de Inércia

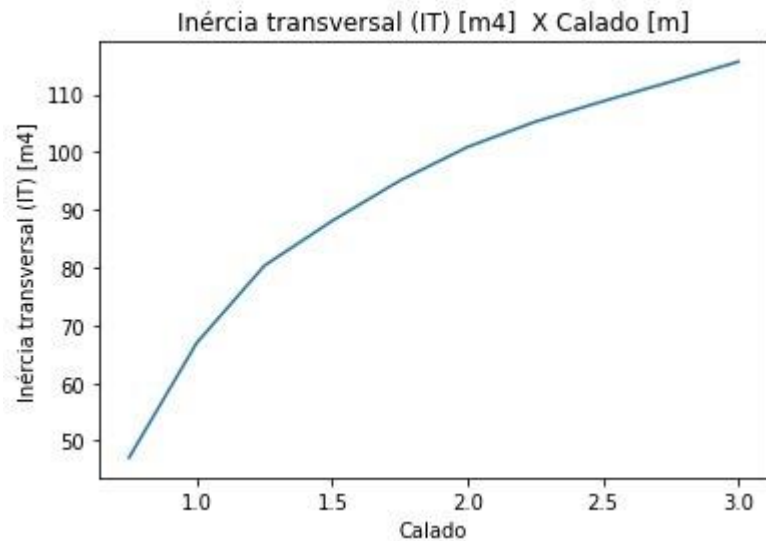


Gráfico 12: Inércia transversal x Calado (fonte: autoria própria)

O aumento do calado faz com que o momento de inércia transversal e, também, o A_{wl} aumente, sendo que esse momento está relacionado a essa área.

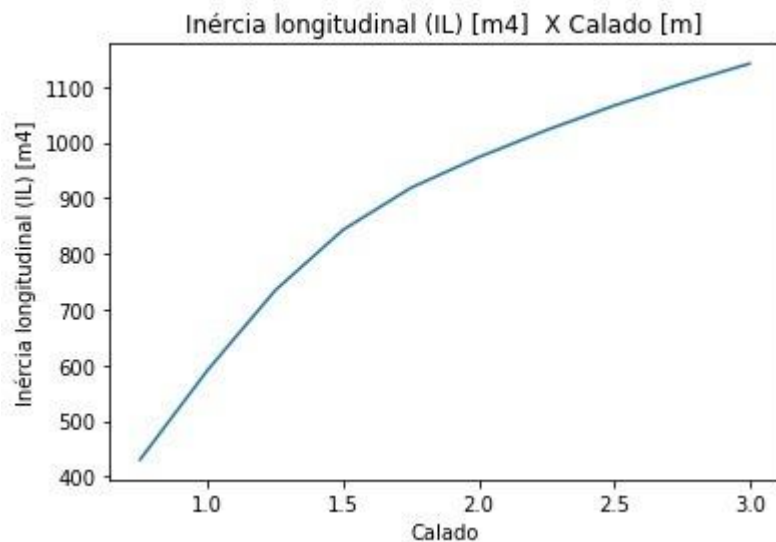


Gráfico 13: Inércia longitudinal x Calado (fonte: autoria própria)

O aumento do calado faz com que o momento de inércia longitudinal e, também, o A_{wl} aumente, sendo que esse momento está relacionado a essa área.

4.2. COMPARAÇÃO

Por limitações no software DELFTship, ele calculou as propriedades hidrostáticas apenas para um calado de 1,25 metros, conforme tabela abaixo:

Propriedades	DELFTship	Python
Volume	43,048	45,570
Deslocamento	44,124	46,709
Sw	68,34	52,046
A_{wl}	54,92	55,173
LCF	7,453	6,884
TCF	0	0
I_t	78,373	80,341
I_l	738,651	734,836
TCB	0	0
KM	17,945	16,882

É possível notar que as propriedades hidrostáticas calculadas pelo Python estão bem próximas dos valores reais gerados pelo DELFTship, apenas a Área da superfície molhada teve um valor relativamente menor do que o esperado, entretanto, é importante salientar que todas as outras propriedades tiveram valores muito próximos dos reais.

O código possui algumas aproximações que podem justificar as diferenças de valores. Primeiramente a tabela de cotas possuía a primeira linha d'água e a última baliza apenas com zeros. Isto dificultaria o processo de interpolação e, portanto, elas foram removidas. No processo de criação dos painéis, isto foi compensado se gerando painéis de fundo retos. Para a última baliza não foram criados painéis substitutos. Foram feitas no total 4 interpolações para cada linha d'água e 4 interpolações para cada baliza, totalizando ao final 80 linhas d'água e 480 balizas. Após este número de interpolações os resultados hidrostáticos não apresentaram mais variação

significativa. Para a geração dos painéis e consequentemente para os cálculos hidrostáticos foi utilizado a mesma origem e eixo de coordenadas que a tabela de cotas e o software DELFTship utilizam, isto é, na linha de base e na popa da embarcação com o eixo longitudinal solidário à própria embarcação.

O software DELFTship foi capaz de calcular variações de algumas propriedades em relação ao calado, assim foi possível comparar tais propriedades com os valores gerados pelo código. Os gráficos a seguir ilustram esse efeito comparativo.

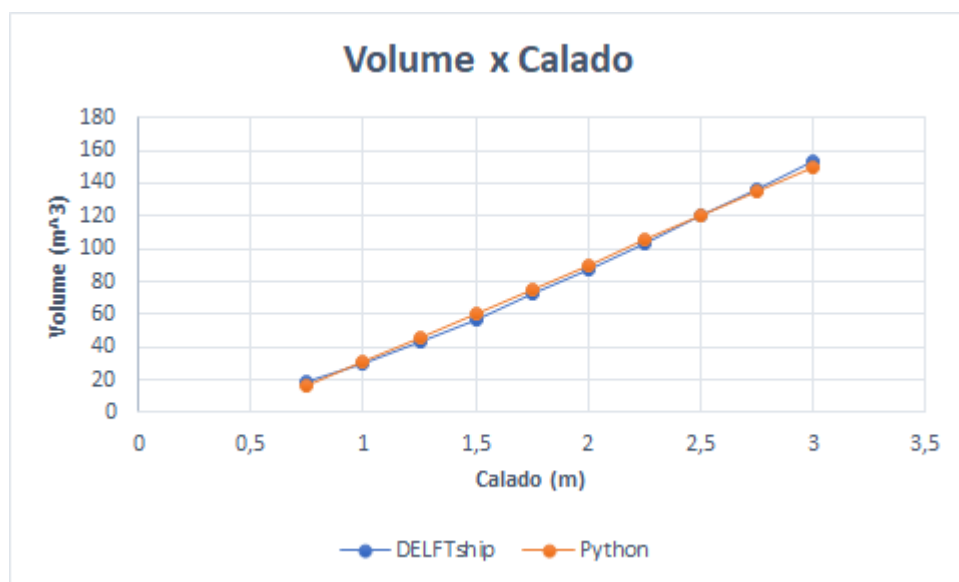


Gráfico 14: Comparação Volume descolado x Calado (fonte: autoria própria)

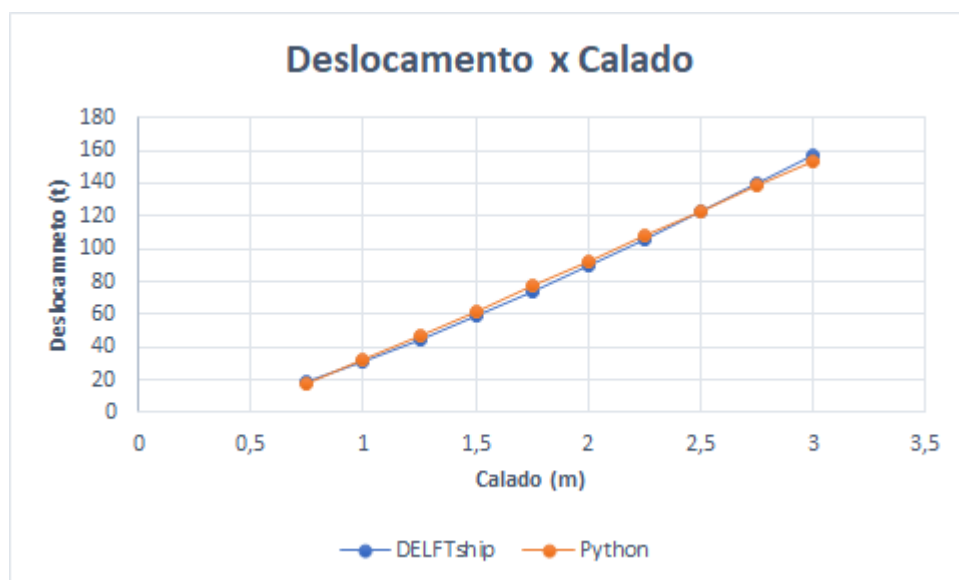


Gráfico 15: Comparação Deslocamento x Calado (fonte: autoria própria)

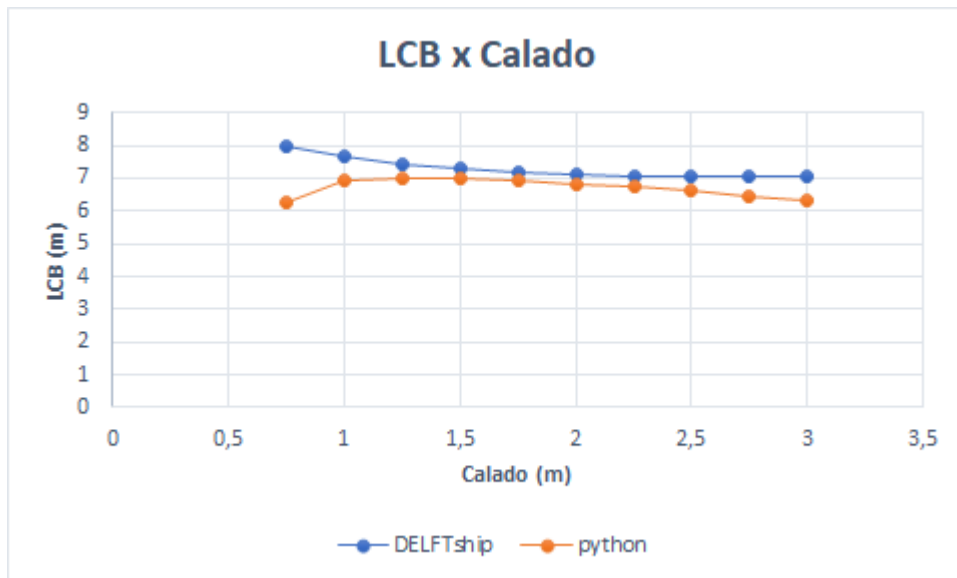


Gráfico 16: Comparação LCB x Calado (fonte: autoria própria)

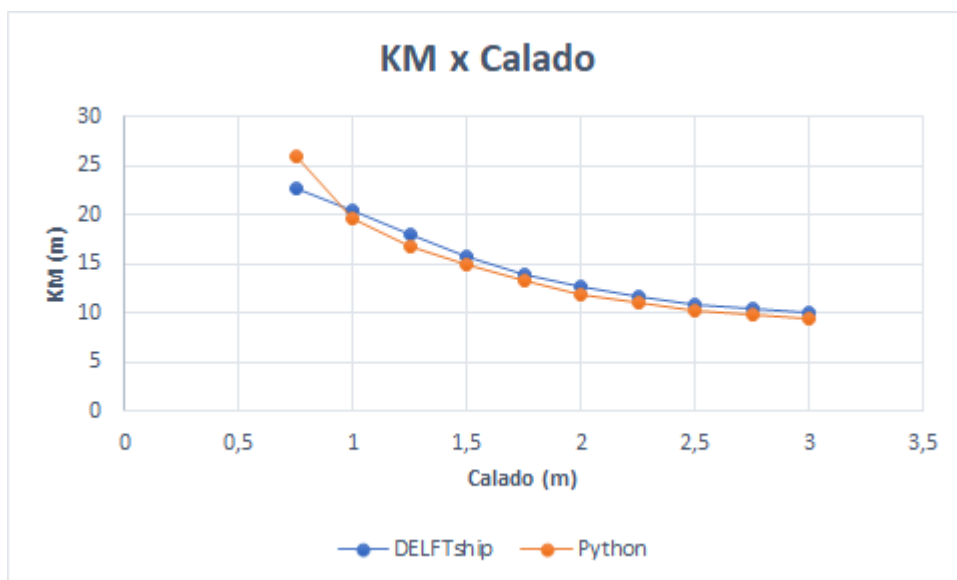


Gráfico 17: Comparação KM x Calado (fonte: autoria própria)

Nos três gráficos pode-se notar que os valores calculados pelo código em Python se aproximam dos valores esperados calculados pelo DELFTship, apenas para um calado de 0,75 metro que essa diferença é maior nos gráficos do LCB e do KM, sendo que a partir do calado de 1 metro as curvas ficam próximas. Isso mostra a eficiência do código em Python das propriedades calculadas.

5. CONCLUSÕES

No projeto de uma embarcação é de fundamental importância o cálculo das propriedades hidrostáticas por meio da geração de painéis, para que seja possível prever o comportamento da embarcação para diferentes situações de estabilidade. Por meio de programas computacionais, esses cálculos podem ser feitos com uma maior precisão e rapidez.

Com isso, o programa modelado pelo grupo cumpriu com as expectativas, gerando gráficos de acordo com a realidade da embarcação. Essa precisão está atrelada ao número de painéis gerados, sendo que quanto maior o número de painéis, maior a assertividade dos cálculos das propriedades em detrimento de um tempo maior de processamento.

Por fim, o trabalho cumpre com objetivo de nos mostrar a aplicação do embasamento teórico na prática, fazendo com que possamos observar de uma maneira crítica o projeto de uma embarcação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MARTINS, P. D. M. R. **Hidrostática e Estabilidade**. PNV3315. [S.1.]: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo., 2021.

[2] ALVAREZ, R. **Otimização das formas de cascos de deslocamento em relação a sua resistência ao avanço**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 156. 2008.

[3] E. GIESECKE, Frederick; LOCKHART, Shawna; GOODMAN, Marla; M. JONHSON, Cindy, 2016. **Technical Drawing with Engineering Graphics**. Editora Pearson. 15 Edição.

[4] EV, Lewis, 1988. **Principles of naval architecture, Volume 1: Stability and Strength**, Jersey: SNAME.