

INFLUENCE OF STERN TRANSOM IN DRAG RESISTANCE OF THE SHIP

Fábio Smiderle, Thiago Pontin Tancredi

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Departamento de Engenharias da Mobilidade, Campus Joinville - SC

fabio.s@grad.ufsc.br thiago.tancredi@ufsc.br

Abstract. With remarkable technological advances in recent decades, engineers are seeking to design more efficiently in order to obtain a difference in the current competitive global market. In the design of merchant vessels, one of the most important step is the calculation of the resistance of the hull, strongly associated with the operating costs of vessels. The resistance is influenced by various vessel characteristics as the shape of the hull, presence of the bulb and the stern type. Traditionally this estimative is made with simplified empirical models based only in the main dimensions and form coefficients. The recent development of computers capacity and the hull surface representation techniques motivates the use of numerical methods to estimate the ship's resistance. These techniques allow to obtain a more accurate estimative that will permit a better definition of the engine of the vessel and its fuel consumption. This work is within that context, and aims to present, through numerical simulations, analysis of different geometries of sterns, defining the main parameters that define the stern geometry and its influences on the ship's resistance. The methodology used is the construction of a basic model in CAESES program and parametric variations to obtain new hulls. The resistance analysis are done with Maxsurf program using the potential flow code SlenderBody. With the analysis of the results obtained with the numerical simulations, we proposed an empirical model to estimate the influence of stern's geometry in the ship's resistance. Finally, we present a comparison between the results obtained using the empirical model proposed with the traditional method proposed by [2]. The results include a functional empirical model destined to preliminary and conceptual phases of the design of ships with transom stern. The

comparison between proposed model and the simulation resulted in less than 10% of error in the usual speeds. The verification of the reduction of drag with transom stern is a very important highlight, but the results and the proposed model can be improved with use of full CFD codes.

Palavras-chave: Resistência ao avanço, Popa, Transom.

1. INTRODUÇÃO

O comércio marítimo se intensifica a cada dia, e a quantidade de navios aumenta de forma contínua. Com avanços tecnológicos marcantes nas últimas décadas, engenheiros buscam projetar embarcações cada vez mais eficientes visando obter um diferencial no atual paradigma competitivo de mercados globais.

No projeto de embarcações mercantes, uma das etapas de maior importância é o cálculo da resistência ao avanço do casco, fortemente associada ao custo operacional das embarcações.

A resistência é influenciada por diversas características do navio, como a forma do casco, presença do bulbo e o tipo de popa. Ela é definida como a força requerida para rebocar a embarcação em uma dada velocidade, podendo ser dividida em quatro grandes grupos: resistência de fricção, resistência de ondas, resistência de forma e resistência do ar.

Tradicionalmente, nas primeiras fases do projeto, a estimativa da resistência ao avanço de uma embarcação é feita com o auxílio de modelos empíricos simplificados que se baseiam apenas nas dimensões principais e coeficientes de forma da

embarcação. No entanto, o desenvolvimento recente da capacidade de processamento dos computadores e das técnicas de representação da superfície do casco motivam a utilização de métodos numéricos para a estimativa da resistência ao avanço de embarcações já nas fases preliminares do projeto.

Observa-se na literatura uma grande gama de publicações associadas a influência de diversos parâmetros geométricos do casco na resistência ao avanço da embarcação. Entretanto, raras são as publicações sobre a influência da popa na resistência ao avanço da embarcação, motivando o presente estudo.

Neste trabalho, utiliza-se o método *SlenderBody*, presente no programa *Maxsurf*, para analisar a influência da popa na resistência ao avanço.

Existem basicamente dois tipos de popa: *cruiser* e *transom*, como podem ser vistas nas Figuras 1 e 2.



Figura 1. Popa Transom (esq.) e popa Cruiser (dir.). Fonte: google images.

A popa *cruiser* foi utilizada por muitos anos em navios transatlânticos, tendo como características a sua alta eficiência hidrodinâmica devido a suas curvas suaves. O segundo tipo é a popa transom, que pode estar acima da linha d'água ou imersa. Apesar de ter menos eficiência hidrodinâmica que a *cruiser*, a transom apresenta maior área no convés e tem uma construção mais simples (devido a menor curvatura), sendo o tipo mais utilizado atualmente, o que justifica sua escolha neste trabalho.

2. DESENVOLVIMENTO

A metodologia utilizada consiste na construção de um modelo paramétrico do casco de uma embarcação base utilizando o programa CAESES, e, através de variações paramétricas, a obtenção de novos cascos.

A criação do modelo paramétrico consiste basicamente em:

- Criação dos parâmetros principais;
- Construção da curva da quilha e da popa;
- União destas curvas através de uma polycurve para geração da curva CPC;
- Construção da linha d'água;
- Construção da curva do deck;
- Criação da curva de áreas seccionais, transformação dela para bspline, normalização da SAC e posteriormente aplicar a transformada de *Lackenby*;
- Levantamento da curva do ângulo de entrada e do *flare*;
- União das curvas através de superfícies, gerando o casco modelado

A construção do modelo base é melhor descrita em [1]. Na Figura 3 é apresentada a vista dos planos X-Z e X-Y, da embarcação base utilizada nas análises.



Figura 3. Modelo paramétrico do casco

Para definir as simulações necessárias é feita a implementação de uma matriz de experimentos (DOE). A escolha desse método é importante, já que ele auxilia a organização e interação entre diversas

variáveis e resultados obtidos, gerando resultados mais claros e objetivos. O processo para a definição dos parâmetros e o seu grau de influência está representado na Figura 4.

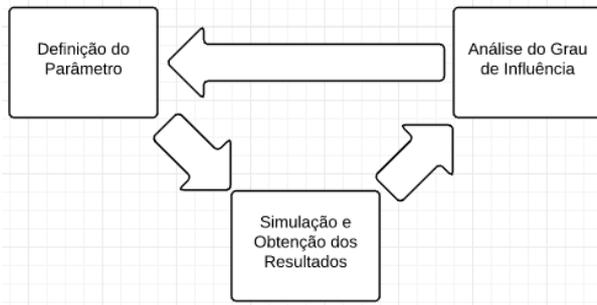


Figura. 4 - Processo para definição dos parâmetros e seu grau de influência

Na Tabela 1 são apresentadas os estudos realizados e quais são os parâmetros que são alterados ou mantidos fixos em cada análise.

Tabela 1 - Estudos realizados

Estudo	Parâmetro	Valor	Condição
1	Δ (m ³)	2608	Fixo
	B _T (m)	10.58	Fixo
	T _T (m)	0.5 T – 0.9 T	Variável
	Forma	U	Fixo
2	Δ (m ³)	2865	Fixo
	B _T (m)	0.2 B – 0.9 B	Variável
	T _T (m)	2.27	Fixo
	Forma	U	Fixo
3	Δ (m ³)	2644 - 2865	Variável
	B _T (m)	0.2 B – 0.9 B	Variável
	T _T (m)	2.25	Fixo
	Forma	U	Fixo
4	Δ (m ³)	2608 – 2938	Variável
	B _T (m)	10.58	Fixo
	T _T (m)	0.5 T – 0.9	Variável
	Forma	U	Fixo
5	Δ (m ³)	2549	Fixo
	B _T (m)	0.5 B	Fixo
	T _T (m)	0.8 T	Fixo
	Forma	V – U	Variável
6	Δ (m ³)	2549	Fixo
	B _T (m)	0.75 B	Fixo
	T _T (m)	0.75 T	Fixo
	Forma	V - U	Variável
7	Δ (m ³)	2517	Fixo
	B _T (m)	0.9 B	Fixo
	T _T (m)	0.7 T	Fixo
	Forma	V - U	Variável

A Figura 5 apresenta a descrição dos parâmetros geométricos analisados. É

importante observar que a medida da boca, assim como do calado na transom, são realizados na linha d'água da embarcação.

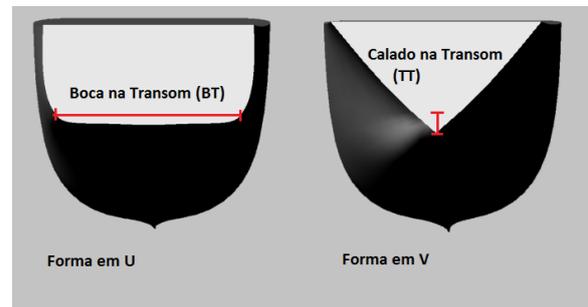


Figura. 5 - Parâmetros estudados

Na Figura 6 são mostradas algumas das variações de popa analisadas neste trabalho.



Figura. 6 – Algumas variações de popa estudadas neste trabalho

2.1 Resultados

Dentre as possíveis formas de apresentar esses resultados, a mais simples é a variação da resistência ao avanço em função da variação da boca ou calado na transom. Como pode ser visto na Figura 7, ao aumentar a relação T_T/T, tem-se um decréscimo na resistência ao avanço.

Um ponto importante é a diferença entre analisar os modelos com deslocamento constante ou variável. As Figuras 7 e 8 apresentam a diferença entre estas análises

conforme indicado na legenda de cada figura.

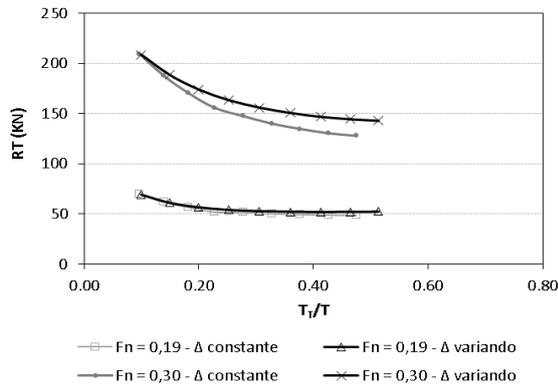


Figura. 7 - Resistência total em função de T_T/T

É notável que o comportamento das curvas é bem semelhante nos mesmos números de Froude, porém, todos os estudos apresentam variações na resistência que são provenientes de diferentes variáveis, como o deslocamento (quando este varia) e parâmetros dependentes do calado (nos casos de deslocamento constante).

Já quando se trata da relação B_T/B , como pode ser visto na Figura 8, os valores de resistência para Fn igual a 0.3 decrescem e, após um determinado ponto, seu comportamento se altera passando a aumentar a resistência. Também é possível notar que a influência do calado na transom é maior do que a boca na transom, visto que suas curvas apresentam inclinações maiores.

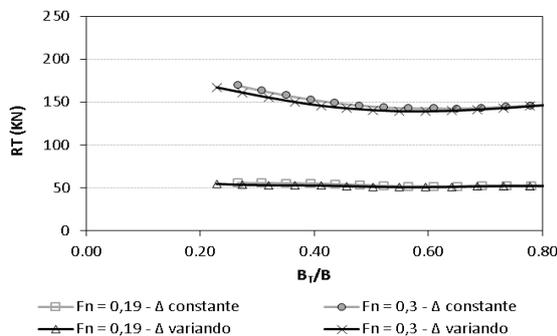


Figura. 8 - Resistência total em função de B_T/B

É possível perceber também em ambos os estudos que esta influência é maior para maiores números de Froude e praticamente imperceptível para Fn menores do que 0,2. Portanto, esta interferência é fortemente dependente da velocidade da embarcação.

2.2 Análise dos resultados

Como uma forma de minimizar o efeito da variação da resistência em função da variação do deslocamento, sugere-se a exprimir a resistência ao avanço pelo coeficiente adimensional C_{FT} , descrito na Equação 1.

$$C_{FT} = \frac{RT}{g\rho\Delta} \quad (1)$$

Desta forma, obtém-se um coeficiente adimensional capaz de apresentar os resultados com menores interferências no comportamento proveniente da diferença nos deslocamentos. Já nos casos onde o calado varia para manter o deslocamento constante, é relativamente difícil obter uma forma prática de minimizar estes efeitos.

Através da divisão do C_{FT} dos modelos pelo C_{FT} do primeiro casco do estudo, é possível criar um conjunto de curvas que fornecem um novo coeficiente adimensional representado por η_T , como pode ser visto na Figura 9. Esse coeficiente mede a redução da resistência em função do aumento do calado na transom.

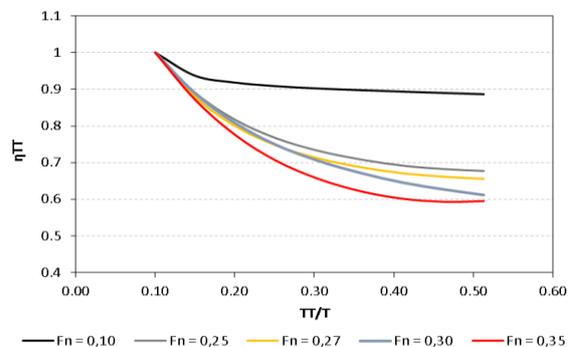


Figura. 9 - η_T em função de T_T/T

É possível observar que para cada velocidade, existe uma curva específica para o η_T . Cria-se então uma única equação que tem os coeficientes da equação polinomial de segundo grau regidos por termos dependentes do número de Froude da embarcação.

$$\eta_T = [T_T/T^2(9,796 F_n + 0,037) + T_T/T(-8,926 F_n + 0,036) + (0,807 F_n + 0,975)] * [(0,283 T_T/T + 0,973)] \quad (2)$$

Desta forma, basta inserir a relação T_T/T desejada e o número de Froude para obter o η_T . Como este coeficiente vem da divisão do C_{FT} , é preciso corrigir a diferença de deslocamento causada por esta adimensionalização. Essa correção é feita pelo termo final na Equação 2, derivada a partir de uma equação para prever o deslocamento da nova embarcação em função de T_T/T . Este coeficiente serve para prever a resistência de uma nova embarcação sem precisar construir um novo modelo computacional.

De maneira análoga, é possível obter a uma equação que determina a redução do C_{FT} em função da variação da boca na transom, a qual é mostrada na Equação 3. As mesmas correções são aplicadas para o deslocamento e requer apenas B_T/B e F_n como dados de entrada.

$$\eta_B = [B_T/B^2(0,394 F_n - 0,359) + B_T/B(-0,518 F_n + 0,449) + (0,097 F_n + 0,912)] * [(0,143 B_T/B + 0,884)] \quad (3)$$

Após a obtenção destes coeficientes, basta multiplicá-los pela resistência do navio base para ter como resultado uma estimativa da nova resistência após variações geométricas na popa transom.

2.3 Verificação do modelo empírico

A verificação destas equações foi feita modelando um casco novo, com forma de popa transom não utilizada na construção do modelo empírico. O resultado desta verificação é mostrado na Figura 10, onde a curva azul apresenta a resistência prevista pelo método *SlenderBody* e os pontos vermelhos são pontos estimados através do modelo proposto neste trabalho.

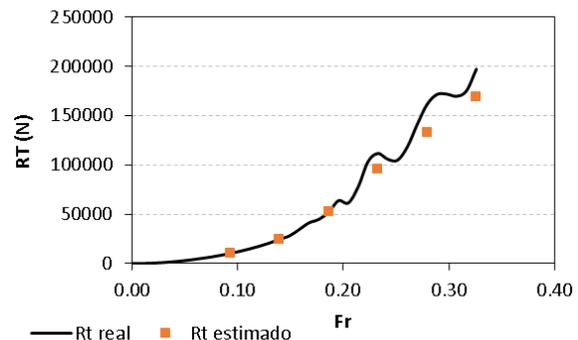


Figura. 10 - Estimativa da resistência usando o coeficiente η

3. CONCLUSÃO

Apesar de apresentar valores praticamente exatos para baixos números de Froude, como estas estimativas utilizam modelos empíricos representados por equações de segundo grau, não é possível detectar as interferências entre as ondas de proa e de popa existentes em números de Froude superiores a 0,2 e que são calculados pelo método numérico. Mesmo assim, os resultados obtidos são bastante satisfatórios, visto que apresentam pouca diferença do valor calculado pela simulação computacional, exigindo uma quantidade significativamente menor de trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] UEDA, R. J. ; TANCREDI, T. P. ; ANDRADE, B. L. R. . Application of optimization techniques and synthesis models in hierarchical design of PSV vessels. In: 12th International Symposium on Practical Design of

Ships and Other Floating Structures, 2013, Changwon. Proceedings of the PRADS2013. Hanrimwon Co. Ltd., Seoul: The Society of Naval Architects of Korea, 2013. v. 2. p. 687-693.

- [2] HOLTROP, J., "A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data", International Shipbuilding Progress, Vol. 31, No. 363, November, 1984.