

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

WENDEL GOMES DE ANDRADA

PROPOSTA DE COEFICIENTE PARA ESTIMATIVA PRELIMINAR DA POTÊNCIA
INSTALADA EM NAVIOS MERCANTES

Joinville

2017

WENDEL GOMES DE ANDRADA

PROPOSTA DE COEFICIENTE PARA ESTIMATIVA PRELIMINAR DA POTÊNCIA
INSTALADA EM NAVIOS MERCANTES

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Naval no curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Pontin Tancredi

Joinville

2017

PROPOSTA DE COEFICIENTE PARA ESTIMATIVA PRELIMINAR DA POTÊNCIA
INSTALADA EM NAVIOS MERCANTES

WENDEL GOMES DE ANDRADA

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Naval na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eng. Thiago Pontin Tancredi
Presidente/Orientador

Prof. Dr. Eng. Lucas Weihmann
Membro

Prof. Dr. Eng. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família, em especial aos meus avôs, que me deram grande suporte nesses últimos anos acadêmicos, Elsa e Pedro Paulo. Também tenho muito a agradecer aos meus amigos. Já que não foram anos fáceis, e, todos me deram muito apoio, desde os meus antigos amigos, Gabriel e Willian, como aos novos que conheci na graduação, Ana Clara, Franciele, Marcos Patrick Talyta e Vinicius.

Longa data de estudo e dedicação, mas isso tudo só foi possível graças a amizade que adquiri nesses anos, uma vez que não adianta dedicação sem haver orientação, portanto agradeço aos meus professores, que me auxiliaram e me guiaram por uma enorme fonte de conhecimento, principalmente ao meu orientador Thiago Pontin Tancredi.

Essa possibilidade de ingressar em uma faculdade só foi possível, graças a Universidade Federal de Santa Catarina campus Joinville, agradeço a UFSC essa possibilidade de engrandecimento.

RESUMO

A correta estimativa da potência instalada de uma embarcação é uma atividade fundamental para a determinação de custos operacionais de um navio mercante/transporte. Por sua vez, a determinação dos custos operacionais é muito importante na avaliação da viabilidade econômica de um projeto (ou conceito). Assim, uma estimativa exata da potência instalada ainda nas fases preliminar e/ou conceitual do projeto é decisiva para a correta avaliação da continuidade de um potencial projeto. Paradoxalmente, esta estimativa exige a avaliação da resistência ao avanço (que é sensivelmente dependente das formas do casco) e da eficiência do propulsor. Ambas as análises são impossibilitadas devido à baixa quantidade de informações sobre a embarcação conhecidas ainda na fase de projeto conceitual. Como solução usualmente é empregados modelos empíricos para uma primeira estimativa da potência instalada. Entre os modelos mais conhecidos, destaca-se o coeficiente de almirantado. No entanto, estudos recentes mostram que esse coeficiente vem mudando ao longo dos anos e tem apresentado grandes distorções quando empregado em algumas classes de navios mercantes. O presente trabalho apresenta uma nova proposta de coeficiente semi-empírico, baseado em conceitos associados a quantidade de movimento do fluido, e cujos resultados iniciais se mostram promissores e mais aderente aos dados observados em embarcações reais, do que outras propostas analisadas. No entanto, o modelo baseado em parâmetros de relevância estatística se mostrou ainda mais promissor.

Palavras-chave: Potência Instalada, Projeto, Almirantado, Propulsão, Navios mercantes.

ABSTRACT

The correct power installed estimate on a ship is a fundamental for determinate for the cost operation for ship (merchant/transport). In turn, the determination of the cost operation is very important for to viability economic for project (or concept). Therefore, an estimative exact the power installed still in initial phase project is decisive for a correct evaluation to continue a potential project. Paradoxically, this estimative requires for evaluation to resistance (is sensitive to forms of ship) and the efficiency to propeller. Both analyzes are impossibility due for low information for a ship known still in initial phase from project. As a solution, usually there are employed empirical models for a first estimate of the installed power. Between the models more known, stands out the Admiralty coefficient. However, studies recent show the coefficient has been changing over the years and show very distortions when employee in class of merchant ships. The present work show the new proposal of the coefficient semi-empirical, based in concepts the amount of the movement fluid, and whose results initial show themselves promising and more adherent to the data observed in ship similar, than other proposals analyzed. But the model based on statistical analysis was that one with the best preliminary results.

Key Works: Power, Ship Design, Admiralty, Propeller, Merchant Ships.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de espiral de projeto	12
Figura 2 - Etapas do Processo de Desenvolvimento de uma Embarcação..	13
Figura 3 - Iteratividade no dimensionamento do sistema propulsivo.	14
Figura 4–Resistência ao avanço de uma embarcação.....	19
Figura 5–Variação de R_f/R_t com o número de Froude para navios tanque..	20
Figura 6- Pressão sobre uma placa ortogonal.....	25
Figura 7 – Análise dos navios de Carga Geral.	32
Figura 8 – Análise dos navios Tanques.....	33
Figura 9 – Análise dos navios RoRo.....	34
Figura 10 – Análise dos navios Porta Contêineres.....	35
Figura 11 – Análise dos navios Graneleiros	36
Figura 12 – Análise dos navios de Cruzeiro	37
Figura 13 – Comparação entre modelos analisados 1	38
Figura 14 – Comparação entre modelos analisados 2	39
Figura 15 - Comparação revisada 1.	42
Figura 16 - Comparação revisada 2.	43
Figura 17 - Comparação revisada 3.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Limites dimensionais de validade das análises estatísticas	28
Tabela 2 - Limites adimensionais de validade das análises estatísticas	28
Tabela 3 – Análise dos parâmetros influentes.....	29
Tabela 4 – Coeficientes para o modelo estatístico 1	30
Tabela 5 – Coeficientes para o modelo estatístico 2	31
Tabela 6 – Coeficientes para o modelo Cwa	31
Tabela 7 – Modelo com menor erro médio para cada tipo de embarcação..	40
Tabela 8 - Coeficientes modelo 1 revisado.....	41
Tabela 9 - Coeficientes modelo 2 revisado.....	42
Tabela 10 - Coeficientes modelo Cwa revisado.	42
Tabela 11 - Modelo com menor erro médio revisado.	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cwa	Coeficiente Estimativo de Potência Embarcada
L	Comprimento da embarcação [m]
Loa	Comprimento total da embarcação [m]
Lpp	Comprimento entre perpendiculares [m]
B	Boca da embarcação [m]
H	Calado da embarcação [m]
D	Pontal da embarcação [m]
Δ	Deslocamento da embarcação[t]
∇	Volume deslocado [m ³]
ρ	Densidade da água[kg/m ³]
ν	Viscosidade cinemática (μ/ ρ)[m ² /s]
μ	Viscosidade dinâmica[g/ms]
Cb	Coeficiente de bloco
Cd	Coeficiente de deslocamento
Cp	Coeficiente prismático
Cm	Coeficiente de seção mestra
Cw	Coeficiente de área de flutuação
Am	Área da seção mestra [m ²]
Aw	Área do plano de flutuação [m ²]
CT	Coeficiente de resistência ao avanço
CF	Coeficiente de resistência viscosa
RT	Resistência ao avanço [N]
RF	Resistência friccional[N]
RR	Resistência residual [N]
V	Velocidade [m/s]
Vs	Velocidade do navio [m/s]
SW	Área molhada do navio [m ²]
RTs	Resistência ao avanço do navio [N]
CR	Coeficiente de resistência residual
CW	Coeficiente de resistência de onda
Re	Número de Reynolds
Fn	Número de Froude
k	Fator de forma
CFs	Coeficiente de resistência friccional do navio
CA	Fator de correção da rugosidade
CTs	Coeficiente de resistência ao avanço do navio
AT	Área projetada acima da linha d'água [m ²]
Ks	Rugosidade do casco
LWL	Linha d'água de projeto [m]
dwt	Peso bruto[t]
lwt	Peso leve[t]
PE	Potência efetiva [kW]
Pcomb	Peso do combustível [t]
K	Fator de segurança e reserva
CE	Consumo específico do motor [g/kWh]
BHP	Potência máxima contínua [kW]
A	Raio de ação [milhas]
Pa	Peso de água doce [t]
N	Número de tripulantes
D	Maior tempo de viagem [dias]
Wo	Peso do outfit[t]
WSt	Peso em aço [t]
WSe	Peso da superestrutura[t]
WM	Peso do motor [t]
Pa	Peso de água doce [t]

Plub	Peso de óleo lubrificante [t]
Pdiesel	Peso de óleo diesel [t]
Lcarga	Comprimento ocupado pela carga [m]
Lpiq.vante	Comprimento pique tanque de vante[m]
Lpiq.re	Comprimento Pique tanque de ré[m]
Lsup	Comprimento da superestrutura [m]
Lpm	Comprimento da praça de máquinas [m]
Lmotor	Comprimento do motor [m]
CBB	Parâmetro de boca
BB	Boca máxima do bulbo [m]
BMS	Boca do navio [m]
CLPR	Parâmetro de comprimento
LPR	Comprimento do bulbo [m]
CZB	Parâmetro de altura
ZB	Altura do ponto mais a vante do bulbo [m]
TFP	Caladona perpendicular de vante[m]
CABT	Parâmetro de área seccional
ABT	Área transversal do bulbo [m ²]
AMS	Área da seção mestra da embarcação [m ²]
CABL	Parâmetro lateral
ABL	Área longitudinal do bulbo [m ²]
PR	Parâmetro de volume
PR	Volume do bulbo [m ³]
WL	Volume submerso do casco [m ³]
ATR	Área da popa transon [m]
ATRANSON	Área da popa transon [m]
RTR	Resistência da popa transon[N]
CG	Centro de gravidade [m]
KG	Altura do centro de gravidade [m]
KB	Altura do centro de carena [m]
BM	Centro de carena [m]
GZ	Metacentro [m]
LCB	Posição longitudinal do centro de carena

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	objetivos	15
1.1.1	Objetivos Específicos	15
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2.	REVISÃO TEÓRICA.....	16
2.1.1	Holtrop e Mennen	20
2.1.2	Coeficiente de Almirantado.....	21
2.1.3	Método KR (2010)	22
3.	METODOLOGIA.....	24
3.1	Levantamento e tratamento de dados	24
3.2	Coeficiente <i>CWA</i> para estimar potência	24
3.2.1	INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE FROUDE	26
3.3	Coeficiente de Almirantado.....	27
3.4	Holtrop.....	27
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1	regressão parâmetros influentes	29
4.2	Modelo Estatístico 1	29
4.3	Modelo Estatístico 2	30
4.4	Modelo <i>Cwa</i>	31
4.5	Análise dos modelos desenvolvidos	31
4.6	Comparação	38
4.7	Discussão sobre o número de Froude.....	40
5.	REVISÃO DO MODELO – Análise do banco de dados.....	41
5.1	modelo estatístico	41
5.2	comparação revisada	42
6.	CONCLUSÃO	45
6.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46
	ANEXO A: Contêiner.....	48
	ANEXO B: Graneleiro.....	49
	ANEXO C: Cruzeiros.....	51
	ANEXO D: Roll on Roll off.....	52
	ANEXO E: Tanques	53

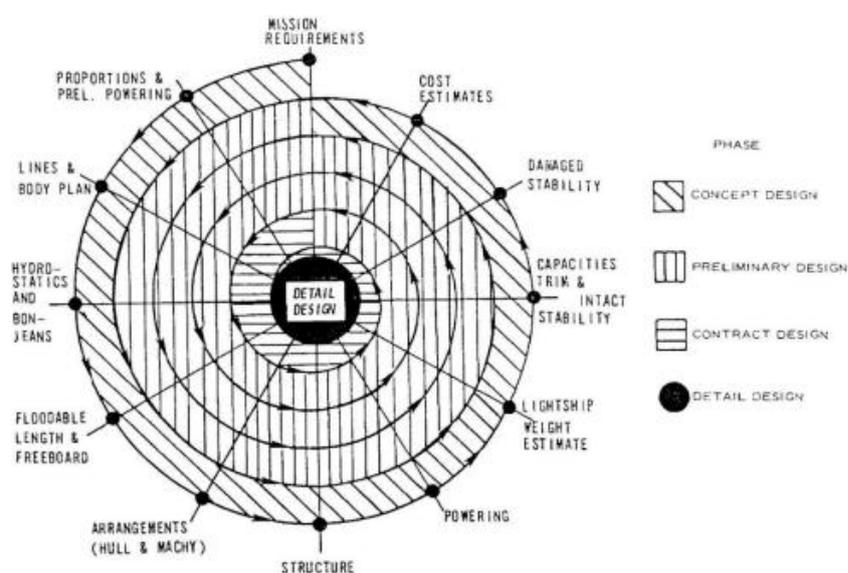
ANEXO F: Carga Geral	55
ANEXO G: Análise comparativa entre os diferentes modelos analisados.....	56
ANEXO H: Análises estatísticas de cada modelo analisado	57
ANEXO I: Análises estatísticas de cada modelo analisado com dados revisado.....	60
ANEXO J: Análise comparativa entre os diferentes modelos analisados revisados.	61

1. INTRODUÇÃO

O processo de projeto de navios é o conjunto das atividades que envolvem a criação de desenhos, especificações técnicas, determinação das dimensões principais, capacidade de carga e outros dados necessários para a construção (GALE, 2003). O principal objetivo desse processo é satisfazer as exigências do armador.

Tradicionalmente o projeto de navios é feito de forma sequencial e iterativa como sugere Evans (1959). Tradicionalmente, esse processo é dividido em etapas (como mostrado na Figura 1) para que, dessa forma, haja uma rápida convergência para a solução final, refinada e equilibrada; representada pelo centro da espiral de projeto (EVANS, 1959). Além disso, Gale (2003) argumenta que a natureza do trabalho a ser feito, a quantidade de pessoas participantes, as habilidades requeridas, o nível de detalhe do projeto e outras características mudam com o tempo. Portanto, a subdivisão em etapas facilita o desenvolvimento e progresso do projeto.

Figura 1 - Exemplo de espiral de projeto



Fonte: Kiss (1980)

Assim, tradicionalmente, o projeto de embarcações é um processo iterativo e sequencial, usualmente representado por uma espiral. Cada volta na espiral

passa por pontos que representam parâmetros da embarcação a serem calculados. Cada etapa é analisada de forma isolada, conforme a espiral converge para um ponto central, aproximando-se de uma solução hipotética ideal (LAMB, 2003).

Entretanto, apesar dos avanços tecnológicos recentes, realizar uma análise precisa de desempenho durante as etapas iniciais de projeto, buscando por uma solução ideal, permanece um processo que demanda muito recurso humano e financeiro. O investimento nesses recursos pode ser minimizado ao propiciar mudanças no projeto logo nos estágios iniciais.

Com base no trabalho de Gale (2008, p. 4), podem-se representar as fases do projeto de uma embarcação por meio do fluxograma mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Etapas do Processo de Desenvolvimento de uma Embarcação.



Fonte: Adaptado de (MORAES, 2016).

Nota-se que o projeto conceitual é uma fase inicial da concepção do produto e, portanto, decisões equivocadas nessa fase, eventualmente, irão comprometer o custo final do produto. Por outro lado, uma concepção do produto mais adequada irá resultar em menor retrabalho ao decorrer das novas etapas e com isso uma economia, eventualmente, significativa.

No projeto conceitual, o projetista se depara com vários trade-off e um grande número de combinações dos parâmetros para a determinação das características da embarcação, cujos valores não são facilmente determinados.

O uso de análises numéricas ou experimentos exigem um grande conhecimento das características da embarcação e requerem um alto custo computacional, incompatíveis com as fases preliminares de um projeto naval.

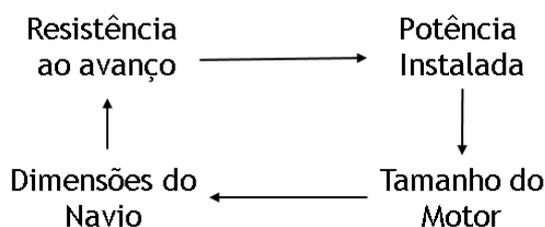
No campo das ciências exatas, existem vários equacionamentos que utilizam coeficiente semi empíricos para estimar grandezas a partir de parâmetros

conhecidos. Os engenheiros navais também utilizam coeficientes empíricos que auxiliam na determinação das estimativas para as características principais de um novo projeto, reservando as análises mais robustas para fases mais avançadas do projeto.

Entre os exemplos de coeficientes utilizados no projeto de embarcações, pode-se citar o numeral E, proposto por Watson (1998), e que fornece uma estimativa inicial para o peso em aço de um navio. Outro exemplo, trata-se da equação de Amorin (1983), que estima o peso da superestrutura de uma embarcação petroleira a partir das dimensões principais de seu casco.

Na área da propulsão, é interessante observar que o problema de dimensionamento da instalação propulsora possui um forte caráter iterativo, visto que a determinação da potência instalada depende da resistência ao avanço do casco e da eficiência do propulsor na velocidade de serviço. Por outro lado, a resistência ao avanço do casco depende fortemente das dimensões principais do navio, que por sua vez sofre influência do tamanho do motor e da quantidade de combustível a ser armazenada (Figura 3).

Figura 3 - Iteratividade no dimensionamento do sistema propulsivo.



Fonte: O autor (2017).

Assim, técnicas que permitam estimar a potência instalada (e, por conseguinte, o motor) de uma nova embarcação é vital para reduzir o retrabalho e assegurar um resultado coerente do processo de projeto.

O presente trabalho segue nesta linha, e objetiva propor um coeficiente empírico para a estimativa da potência instalada em um navio, ainda nas fases conceitual/preliminar do projeto, e que dependa apenas da velocidade de serviço e das dimensões principais e coeficientes de forma do navio.

É importante observar que já existem coeficientes de estimativa de potência

instalada para embarcações, como por exemplo, o Coeficiente de Almirantado. No entanto, estudos recentes têm mostrado que esse coeficiente não é capaz de estimar a potência instalada para muitos tipos de embarcações (UEDA, 2012) e cujos dados tem mudado ao longo do tempo (LABES, 2015).

1.1 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo desenvolver um novo coeficiente (C_{wa}) para a estimativa da potência instalada, ainda nas fases preliminar e conceitual do projeto de uma embarcação mercante, utilizando regressões lineares criadas a partir de dados coletados de embarcações reais.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Levantar dados de embarcações mercantes reais referentes às características geométricas e da potência instalada;
- Mostrar o equacionamento do coeficiente C_{wa} e a física envolvida no processo;
- Determinar a melhor relação do C_{wa} por parâmetros geométricos que influenciam na resistência ao avanço;
- Comparar os resultados obtidos pelo C_{wa} com outros métodos de estimativas disponíveis na literatura.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é apresentado em 5 capítulos. Na introdução são descritos os elementos motivadores e os objetivos da pesquisa. A seguir, o capítulo 2 apresenta os fundamentos conceituais para o entendimento do coeficiente proposto. A metodologia de desenvolvimento é apresentada no capítulo 3 e os resultados e discussões são mostrados no capítulo 4 e 5. Por fim, o trabalho sintetiza as principais conclusões e enumera possibilidades de trabalhos futuros.

2. REVISÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos necessários para entendimento e desenvolvimento do coeficiente proposto para estimar a potência embarcada de um navio. O capítulo se divide entre fundamentos associados a resistência ao avanço e propulsão, apresentando propostas existentes na literatura, além de discorrer sobre a técnica de regressão linear múltipla.

2.1. EMBARCAÇÕES MERCANTES

O coeficiente proposto neste trabalho será avaliado quanto a capacidade de estimar a potência instalada em embarcações mercantes, as quais podem ser divididas em seis tipos: Graneleiros, Porta-Contêiners, Tanques, Navios de Passageiros (Cruzeiro), Carga Geral e Ro-Ro.

Segundo Chame (2014), navios do tipo graneleiro transportam cargas secas e a granel. A principal característica deste tipo de embarcações é a presença de grandes escotilhas (aberturas no convés) destinadas a movimentação das cargas granuladas nos porões.

Os navios tanques são projetados para transportar cargas líquidas a granel. De acordo com Trindade (2012), a frota de tanques representa cerca de 50% da frota de navios mercantes mundial. A carga desse tipo de embarcação é principalmente os derivados de petróleo, mas também são transportadas cargas de vinho, óleos alimentares, água entre outras.

O navio porta-contêiner é concebido para o transporte de contêineres em grandes quantidades. Embarcações porta-contêineres realizam transportes regulares entre portos pré-estabelecidos com velocidade de serviço relativamente alta, quando comparadas a outras embarcações mercantes, em torno de 22 nós. Tradicionalmente a superestrutura é localizada a ré, no entanto, tendências modernas colocam a superestrutura mais avante, aumentando a altura das pilhas de contêineres localizados à ré da superestrutura; divergindo de outras embarcações mercantes.

Os navios de cruzeiro são especializados em transporte de pessoas com opções para lazer e entretenimento. Esse tipo de navio oferece espaços variados para os passageiros, como piscina, quadra, academia, restaurante, teatro, cinema, boate, entre outros. É importante ressaltar que esse tipo de embarcação não deve cumprir apenas o transporte do ponto inicial ao final, mas também deve suprir as necessidades dos passageiros dentro do próprio navio durante toda a viagem.

Os navios Roll-on/Roll-off, ou mais conhecidos como Ro-Ro, tem como grande diferencial os costados, bem maiores do que os dos outros tipos de navio, além de um convés amplo. É um cargueiro destinado ao transporte de veículos, principalmente automóveis e possuem rampas que dão acesso direto do cais ao porão ou convés, de modo que os veículos sejam embarcados e desembarcados com os seus próprios meios.

Por fim, em contraste com a especialização dos outros tipos de navios, o navio de carga geral distingue-se pela sua flexibilidade, podendo ter instalações frigoríficas, tanques para líquidos, compartimentos para carga a granel, entre outros. Em geral possuem guindastes próprios que permitem a estiva em qualquer porto que atenda as dimensões do navio.

2.1. RESISTÊNCIA AO AVANÇO

Um navio deve ser construído para se mover da forma mais eficiente com o mínimo possível de ajuda externa. Para isso, deve-se projetar o casco e o propulsor da forma que gere a menor resistência sem deixar de atender aos requisitos de projeto.

A resistência do navio é definida como a força requerida para rebocar a embarcação em uma dada velocidade (VAN MANEN; VAN OSSANEN, 1988). De acordo com o mesmo autor, a resistência pode ser dividida em:

a) Resistência de Fricção: Em razão da condição de não escorregamento de fluidos viscosos sobre superfícies sólidas, as partículas do fluido próximas ao casco tendem a adquirir a sua velocidade. A medida que a distância aumenta, o gradiente de velocidade diminui e o fluido tem sua velocidade reduzida até praticamente estagnar. A zona intermediária entre o fluido estagnado e o escoamento uniforme

forma a camada limite. As mudanças de velocidade nesta área provocam trocas de quantidade de movimento, resultando em perdas de energia por atrito. Essas forças agem tangencialmente ao casco e geram a resistência de fricção (TRINDADE, 2012).

b) Resistência de Ondas: A resistência de ondas é a soma das forças geradas pela pressão do fluido na direção normal de todo o casco. Em corpos a grandes profundidades, não existe formação de ondas e a soma das forças resultaria em zero. Se o corpo está navegando próximo à superfície, esta variação de pressão causa elevação da superfície do fluido (ondas) que alteram a distribuição de pressão sobre o casco. Em algumas partes do casco as mudanças na pressão vão aumentar esta força, em outras diminuí-la, mas o efeito global deve ser uma resistência de tal magnitude igual a energia necessária para manter o sistema de ondas gerado (VAN MANEN; VAN OSSANEN, 1988).

c) Resistência de Pressão Viscosa: Em um escoamento ideal, a pressão exercida à ré de um corpo é igual à exercida avante, gerando uma força resultante nula. Acontece que na prática, efeitos viscosos reduzirão a pressão exercida à ré, criando um gradiente de pressão no corpo. Esse gradiente resultará na resistência de pressão viscosa (TRINDADE, 2012). Outro efeito que contribui para essa resistência ocorre quando a curvatura perto da popa se torna abrupta. Se as geometrias da parte final da embarcação se aproximam muito da forma U ou se existirem outras descontinuidades no casco, partículas de água perderão sua capacidade de acompanhar o escoamento e acabarão se descolando. Assim, os espaços entre o casco e o escoamento serão preenchidos por vórtices após o ponto de separação, apresentados. A resistência gerada por esse efeito é chamada de resistência de separação, sendo outra componente da resistência de pressão viscosa (VAN MANEN; VAN OSSANEN, 1988).

d) Resistência do ar: Essa resistência é a resultante da interação entre o ar e a parte do casco acima da linha d'água, bem como a superestrutura da embarcação. Ela é dependente da velocidade da embarcação, da área e da forma da estrutura exposta ao vento.

A componente de pressão viscosa e a de ondas normalmente são

apresentadas juntas com o nome de resistência residual.

Por fim, Molland (2011) estabelece que a resistência de ondas (ou residual) dependerá dos efeitos potenciais e, portanto, possuem similaridade definida pelo adimensional denominado número de Froude (Equação 1). Enquanto que a resistência viscosa, (ou Fricção), dependerá do adimensional denominado número de Reynolds (Equação 2).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * L}} \quad (1)$$

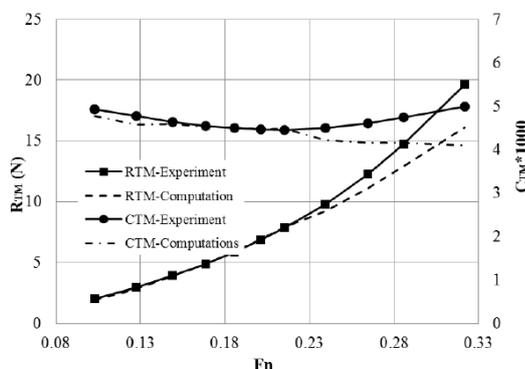
$$Re = \frac{\rho * V * L}{\mu} \quad (2)$$

Onde:

V	Velocidade do navio [m/s]
ρ	Densidade da água [kg/m ³]
ν	Viscosidade cinemática (μ / ρ) [m ² /s]
μ	Viscosidade dinâmica [g/ms]
L	Comprimento do navio [m]
g	Aceleração da gravidade [m/s ²]

Os navios mercantes em geral possuem cascos deslocantes e tentem a navegar com número de Froude abaixo de 0.25, pois a partir desse valor a resistência ao avanço cresce exponencialmente com o aumento da velocidade, conforme pode ser visto na Figura 4, onde a curva experimental de resistência ao avanço começa a divergir de um modelo quadrático (tracejado) a partir do número de Froude de 0.23.

Figura 4–Resistência ao avanço de uma embarcação.

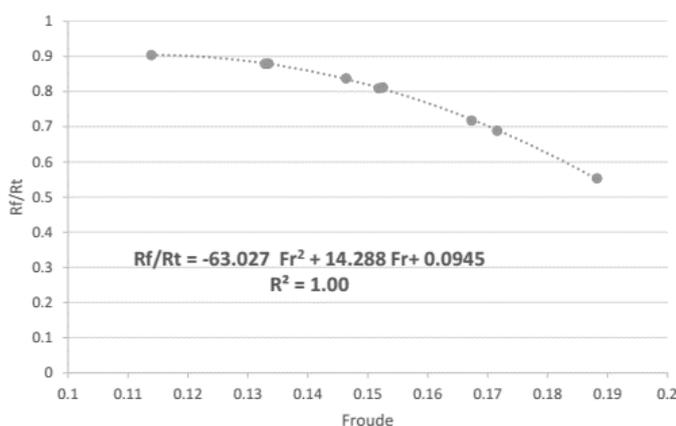


Fonte: (OZDEMIR, 2014).

O aumento exponencial da resistência ao avanço e, portanto, da potência instalada, para velocidades que resultem em número de Froude acima de 0.25 deve-se, essencialmente, ao aumento da resistência de ondas, que ganha cada vez mais importância com o aumento do número de Froude (MOLLAND, 2008).

No trabalho de Chame(2014) é apresentado um estudo sobre a variação da porcentagem da resistência de fricção (R_f), em relação a resistência total (R_t) como uma função do número de Froude no qual uma embarcação mercante navega. Na Figura 5 essa relação é apresentada para o caso de um navio tanque.

Figura 5–Variação de R_f/R_t com o número de Froude para navios tanque



Fonte: (CHAME, 2014).

Existem diversas técnicas para se estimar a resistência ao avanço de um casco. Entre os métodos empíricos mais famosos destaca-se o proposto por Holtrop (1982), o qual será apresentado a seguir.

2.1.1 Holtrop e Mennen

É um método muito utilizado para estimar a resistência ao avanço de embarcações de grande porte que possuam cascos deslocantes. Consiste em uma regressão feita a partir de um conjunto de ensaios realizados em tanque de provas. Em seu trabalho, Holtrop (1982) decompõe sua formulação empírica para estimativa da resistência em parcelas conforme a Equação 3.

$$R_t = R_f(1 + k_1) + R_{app} + R_w + R_b + R_{tr} + R_a \quad (3)$$

Onde:

Rf	é a resistência de fricção de uma placa plana de mesma área molhada do navio
Rapp	é a resistência devido à presença dos apêndices
Rw	é a componente devido à resistência de ondas
Rb	é a resistência devido à presença do bulbo
Rtr	é a componente de resistência devido ao espelho de popa
Ra	é a parcela de correlação entre o modelo e o navio real
1+k ₁	é o fator de forma do casco e inclui os efeitos da resistência de pressão viscosa

A partir da estimativa de resistência ao avanço feita pelo método de Holtrop (1982) é possível estimar a potência instalada (BHP) de uma embarcação em projeto por meio da equação 4.

$$BHP = R_t * V * C_p \quad (4)$$

Onde:

R _t	é a resistência total da embarcação
V	é a velocidade do navio
C _p	é o coeficiente propulsivo. Pode ser estimado como 2 no início do projeto

Conforme a equação 4, pode-se estimar a potência efetiva (EHP) multiplicando a resistência total pela velocidade de serviço. Porém devido as perdas mecânicas, o valor de BHP é quase duas vezes maior que o EHP (MOLLAND, 2008). Assim, na ausência de informações mais precisas, pode-se considerar o valor 2 para o coeficiente propulsivo.

2.1.2 Coeficiente de Almirantado

Segundo Ueda(2012), uma primeira aproximação da potência requerida ('BHP') por uma embarcação de deslocamento ' Δ ' que navega na velocidade de serviço ' V ' pode ser obtida por meio do clássico Coeficiente de Almirantado (Calm), descrito na Equação 5:

$$Calm = \frac{(\Delta^{2/3} * V^3)}{BHP} \quad (5)$$

$$BHP = \frac{(\Delta^{2/3} * V^3)}{Calm}$$

O Coeficiente de almirantado correlaciona a potência com o porte e a

velocidade da embarcação. Embora simples, para embarcações convencionais, das quais se dispõe de um conjunto razoável de embarcações semelhantes, a utilização do Coeficiente de Almirantado fornece uma estimativa da potência instalada bastante coerente com as informações disponíveis nas fases preliminares do projeto.

2.1.3 Método KR (2010)

A norma KR (2010) possui fundamentos similares aos conceitos utilizados neste trabalho, uma vez que utiliza a área da seção mestra como parâmetro fundamental na estimativa da resistência ao avanço, conforme mostrado na equação 5.

$$R_t = K_f + K_w + K_a$$

$$K_f = 0.000136 * F_1 * A_1 * V^2 \quad (5)$$

$$K_f = 0.014 * C * F_2 * A_2 * V^2$$

Onde:

K _f	é a resistência de fricção
K _a	é a resistência devido ao ar
K _w	é a componente devido à resistência de ondas
F ₁ , F ₂ , C	coeficientes descritos na norma
V	velocidade do navio
A ₁	área molhada do casco
A ₂	área da secção transversal

Todavia o método além de calcular a resistência friccional prevê a resistência por ondas em função da forma da proa. Entretanto, a técnica se restringe as embarcações do tipo barça, sendo assim não é aplicável a proposta desse trabalho, que se destinam as embarcações mercantes de grande portes.

2.1. REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Entre as diversas técnicas existentes para a construção de modelos de predição, uma das mais usadas consiste na chamada regressão linear múltipla. O qual consiste em um processo que relaciona valores de um atributo em função de um ou mais parâmetros.

Como exemplo de aplicação das regressões lineares na Engenharia Naval, destaca-se o uso dessa técnica para relacionar as características geométricas de navios semelhantes,¹ visando determinar equações que permitam estimar as características principais de um navio durante as fases iniciais de um projeto.

Uma vez determinada a base de dados com as informações acerca dos navios semelhantes, são desenvolvidas regressões (linhas de tendência) para cada uma das características principais de uma embarcação em função dos requisitos estabelecidos para o projeto. Por exemplo, é possível gerar linhas de tendências que relacionem o valor do calado de uma embarcação em função de seu comprimento, permitindo que, em um eventual novo projeto, seja possível estimar o calado de um navio tendo como base o seu comprimento.

No entanto, existem modelos onde um determinado parâmetro não depende apenas de uma única variável. Neste caso, o processo de regressões múltiplas estabelece uma equação que correlaciona cada variável com o seu respectivo peso de importância na estimativa do parâmetro em análise.

O aprofundamento dos conceitos associados à essa técnica fogem ao escopo deste trabalho. No entanto podem ser encontrado em fortíssima bibliografia sobre o assunto, tal como Levine (2005), que versa sobre a aplicação dessa técnica usando a ferramenta Excel, tal como utilizado neste trabalho.

É importante observar que, conforme apresentado por Levine (2005), a relevância de uma variável na estimativa de um parâmetro é dado pelo cálculo do parâmetro de aderência chamado valor-p. Assim, valores desse parâmetro acima de 5% representam variáveis de baixa influência e que podem, em um primeiro momento, serem descartadas do modelo.

¹ O conceito de embarcações semelhantes pode variar em função das características de cada projeto. No entanto, de maneira geral, define-se embarcações semelhantes com o conjunto de embarcações que desempenham uma mesma função.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do coeficiente para estimativa de potência (C_{wa}) proposto neste trabalho, bem como os coeficientes usados na comparação dos resultados.

3.1 LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DE DADOS

O desenvolvimento se inicia pela elaboração do banco de dados de embarcações semelhantes que deve conter informações das características das embarcações, tais como comprimento, calado, boca, coeficientes de forma, potência e velocidade de serviço.

Interpreta-se por navios semelhantes; embarcações que exercem a mesma função. Ou seja, o banco de dados será constituído por dados de seis tipos de navios, tais como descrito na fundamentação teórica; visando avaliar o coeficiente C_{wa} em diversos tipos de embarcações mercantes.

Os dados serão obtidos a partir de pesquisa bibliográfica, estendendo o trabalho desenvolvido por Labes (2015), excluindo-se os dados de embarcações que não disponham do valor de potência instalada (BHP), fundamental ao desenvolvimento proposto.

A metodologia de coleta e tratamento de dados seguirá o trabalho de Labes (2015), sendo utilizado o programa Excel para armazenamento e tratamento dos dados coletados. Os resultados desta etapa são mostrados nos anexos de A à F.

3.2 COEFICIENTE C_{WA} PARA ESTIMAR POTÊNCIA

Utilizando o banco de dados construído e a técnica das regressões lineares múltiplas, é possível identificar os parâmetros mais relevantes na estimativa da potência instalada de uma embarcação.

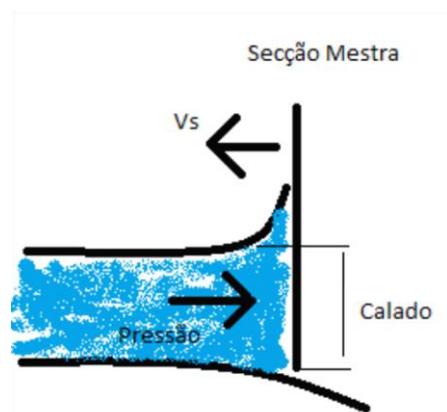
Neste trabalho foram realizadas três propostas para elaboração de coeficientes para a estimativa da potência instalada de uma embarcação mercante.

Na primeira, denominada Modelo Estatístico 1, é realizada uma ampla análise de regressões lineares múltiplas envolvendo os principais parâmetros constantes no banco de dados, utilizando o programa Excel conforme discutido em (LEVINE, 2005).

Na segunda análise, denominada Modelo Cwa, são consideradas apenas a área submersa da secção mestra e a velocidade do navio. A escolha dessas características vem da aproximação da resistência ao avanço como a força necessária para modificar a quantidade de movimento do fluido; ou seja, a força sofrida por uma placa ortogonal ao escoamento ao modificar a quantidade de movimento do fluido.

Com tais dados é possível estimar o volume deslocado por segundo, quando essa placa estiver submersa e se movimentando, simulando uma embarcação em movimento, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6- Pressão sobre uma placa ortogonal.



Fonte: O autor (2017).

Por fim, para converter a mudança da quantidade de movimento em uma estimativa de potência é necessário considerar também a massa específica do fluido e multiplicar o resultado pela velocidade ao quadrado, chegando a uma estimativa de potência em Watts, conforme mostrado na equação 6.

$$\text{BHP [W]} = k_1 * B * T * C_m * \rho * V^3 \left[\text{kg} * \frac{\text{m}^2}{\text{s}^3} \right] \quad (6)$$

Onde:

B é a boca da embarcação em [m]
T é o calado da embarcação em [m]

C_m	é o coeficiente da secção mestra
V	é a velocidade do navio em [m/s]
ρ	é a massa específica da água [kg/m ³]
k_1	é a constante de ajuste do modelo para cada tipo de embarcação estudada

É importante observar que ao analisar a energia necessária para modificar a quantidade de movimento do fluido afetado pelo deslocamento do navio, propõem-se uma abordagem Newtoniana baseada em ação e reação. Pois, nesta abordagem, a força que a água provoca no navio é igual e contrária a força que o navio provoca na água para modificar sua quantidade de movimento.

Essa abordagem é diferente da usualmente praticada, que decompõem a força de resistência ao avanço em efeitos potenciais e viscosos; geralmente modelados por meio da equação de Navier-Stokes vista em (FOX,2006).

Por fim, na última análise, denominada Modelo Estatístico 2, considerou-se apenas duas variáveis: o produto do calado pela boca da embarcação, além do comprimento vezes a velocidade do navio. Essas variáveis formam uma proposta intermediária entre o modelo estatístico de parâmetros mais relevantes, e a proposta do coeficiente C_{wa} descrita anteriormente, além de ser influenciada pela similaridade representada pelo número de Reynolds.

3.2.1 INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE FROUDE

É importante observar que o Modelo C_{wa} é uma abordagem para estimar a potência de uma embarcação que navegue em baixas velocidades, onde a resistência de ondas tem baixa importância, sendo desprezível em certas ocasiões. Por isso, o modelo C_{wa} é inicialmente proposto para embarcações que navegam com número de Froude abaixo de 0.25, que, segundo Molland (2008), é o limite de transição para que as forças devido a formação de ondas comecem a ganhar importância na resistência total da embarcação.

Para embarcações que naveguem com número de Froude maior que 0.25, é possível utilizar correções empíricas que relacionem a importância de resistência de fricção para a resistência total, tal como mostrado no trabalho de Chame (2014).

Entre as embarcações estudadas neste trabalho, apenas as embarcações do tipo RoRo e de Cruzeiro apresentaram números de Froude acima de 0.25.

3.3 COEFICIENTE DE ALMIRANTADO

Foram verificadas duas abordagens utilizando o coeficiente de Almirantado. A primeira considera a média desse coeficiente para os navios contidos no banco de dados analisado neste trabalho. A segunda utiliza os valores de coeficiente de almirantado propostos por Labes [2015] para cada um dos tipos de embarcações consideradas no estudo.

3.4 HOLTROP

O método de Holtrop (1982) é classicamente usado para a estimativa preliminar da resistência ao avanço de embarcações deslocantes.

No entanto, o uso do método de Holtrop pode ser dificultado nas primeiras etapas do projeto, pois são necessários dados de entradas ainda não conhecidos ou difíceis de serem estimados, resultando em eventuais discrepâncias em relação ao resultado final.

Um desses parâmetros é o Coeficiente de Secção Mestra (C_m). Neste trabalho utiliza-se a equação 7 proposta por Jenssen e encontrada em Parson (2003), a qual permite estimar o valor de C_m a partir do coeficiente de bloco da embarcação.

$$C_m = (1 + (1 - C_b)^{3,5})^{-1} \quad (7)$$

Por fim, o valor de L_{cb} utilizado na aplicação do método de Holtrop foi o de 0.45% avante da meia nau, segundo Labes (2015) representa uma situação bem costumeira em embarcações de grande porte já que a parte a ré da embarcação é voltada para instalação da propulsão, assim a flutuação é maior avante.

Uma vez determinada a resistência ao avanço, é possível estimar a potência instalada a partir da multiplicação da resistência ao avanço calculada na velocidade de serviço pela própria velocidade de serviço, obtendo assim a potência efetivamente necessária para mover o navio.

Por fim, a potência efetiva deve ser dividida pela eficiência do sistema propulsivo, para que sejam consideradas a eficiência do hélice e as perdas mecânicas do sistema. Em uma primeira aproximação pode-se considerar que o sistema propulsivo de uma embarcação tipicamente tenha eficiência de 50% conforme discutido na fundamentação teórica apresentada no capítulo anterior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente é importante lembrar, que as análises foram feitas para seis tipos de embarcações diferentes: conteneiros, graneleiros, cruzeiros, roro, tanques e navios de carga geral. Os limites de validade das análises e modelos propostos para cada um dos tipos de embarcações são mostrados nas Tabelas 1 e 2; e se referem aos limites observados no banco de dados de navios semelhantes construídos e analisado neste trabalho.

Tabela 1- Limites dimensionais de validade das análises estatísticas

	DWT [t]		COMPRIMENTO [m]		BOCA [m]		CALADO [m]	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Conteneiro	107500	6850	333.4	105.5	42.8	17.9	14.5	7.1
Graneleiro	322457	9302	320.0	89.8	58.0	15.1	23.0	6.1
Cruzeiro	9234	1291	243.8	90.0	29.0	15.0	9.8	3.1
RoRo	22799	783	192.0	105.0	23.8	17.5	10.4	7.0
Tanque	291435	9267	318.0	160.0	58.0	18.0	21.6	7.0
CargaGeral	46650	3108	192.2	102.2	32.2	13.0	12.2	3.3

Fonte: O autor (2017).

Tabela 2 - Limites adimensionais de validade das análises estatísticas

	FROUDE			L / B		B / T	
	Max	Min	Med	Max	Min	Max	Min
Conteneiro	0.27	0.21	0.24	7.79	5.80	2.95	2.28
Graneleiro	0.24	0.13	0.15	8.75	4.91	3.16	2.22
Cruzeiro	0.30	0.21	0.27	8.41	4.58	4.84	2.47
RoRo	0.31	0.19	0.24	8.51	5.26	4.36	2.22
Tanque	0.18	0.14	0.15	8.89	5.28	3.13	2.29
CargaGeral	0.29	0.14	0.18	8.65	5.66	4.48	2.05

Fonte: O autor (2017).

Além do limite de integração outro fator importante é o numero de navios testado, como trabalho teve dois testes, um com o banco de dados integro e outro limpo, a limpeza foi feita após verificar que algumas embarcações apresentavam erros máximos muito altos, sendo estas retiradas das análises. Foram obtidos 13 conteneiros, 33 graneleiros 10 cruzeiros, 26 roll on roll off, 41 navios tanques e 25 navios de carga geral.

4.1 REGRESSÃO PARÂMETROS INFLUENTES

Inicialmente, foi necessário, verificar quais dos parâmetros que descrevem um navio nas fases iniciais de projeto e que estavam presentes no banco de dados de navios semelhantes, eram mais relevantes na estimativa do BHP utilizando a técnica de regressões lineares múltiplas.

Portanto, foi feito uma análise estatística considerando os parâmetros: número de Froude (Fr), deslocamento (Δ), boca (B), calado (T), comprimento (L), coeficiente de bloco (Cb), coeficiente de seção mestra (Cm), coeficiente prismático (Cp), razão comprimento/boca (L/B) e velocidade de serviço (V). Os resultados dessa análise estatística são mostrados na Tabela 3, na qual os parâmetros de maior relevância (menores valores de valor-P) estão destacados em negrito.

Tabela 3 – Análise dos parâmetros influentes

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P
Interseção	-280985	417568	-0.67	0.513
Fn	-241853	70145	-3.45	0.004
Δ[t]	0.16	0.06	2.73	0.017
B [m]	496	425	1.17	0.264
T [m]	46	174	0.26	0.796
L [m]	-242	90	-2.69	0.018
Cb	-432867	843254	-0.51	0.616
Cm[Jensen]	281827	403532	0.70	0.497
Cp	422873	838836	0.50	0.623
V [kt]	5154	898	5.74	0.000
L/B	1146	961	1.19	0.254

Fonte: O autor (2017).

Assim, verifica-se que o número de Froude, deslocamento, comprimento e velocidade de serviço, são parâmetros significativos.

4.2 MODELO ESTATÍSTICO 1

Assim, partindo da análise apresentada na seção anterior, propõem-se o modelo estatístico 1, no qual a potência instalada de uma embarcação pode ser estimada por meio da equação 8 e cujos valores dos coeficientes

lineares são mostrados na Tabela 4, para cada tipo de embarcação analisada, lembrando que os valores dos coeficientes são dados pela regressão linear múltipla.

$$\text{BHP} = \alpha_1 * \Delta + \beta_1 * V + \gamma_1 * F_n + \delta_1 \quad (8)$$

Onde:

Δ é deslocamento da embarcação em t
 V é a velocidade do navio em nós
 F_n é o número de Froude referente a velocidade V

Tabela 4 – Coeficientes para o modelo estatístico 1

	Container	Graneleiro	Cruzeiro	RoRo	Tanque	Carga
δ_1	-37484.8	-6868.29	-25010.4	-24620.3	-2324.29	-8809.41
α_1	0.581898	0.033984	0.311546	-0.0406	0.003429	0.00958
β_1	-234.074	1815.534	7056.577	2342.652	4323.76	2239.982
γ_1	164580.8	-65188.7	-341637	-25669.5	-298753	-82718.3

Fonte: O autor (2017).

4.3 MODELO ESTATÍSTICO 2

A seguir foram feitas diversas análises estatísticas considerando outras combinações de parâmetros, buscando modelos que considerassem o efeito cruzado entre as variáveis de projeto. Um desses testes que resultou em uma melhor aderência aos dados reais utilizou como variáveis o produto entre a boca e o calado da embarcação, além do produto entre a velocidade de serviço e o comprimento do casco.

Assim, propõem-se o modelo estatístico 2, no qual a potência instalada de uma embarcação pode ser estimada por meio da equação 9 e cujos valores dos coeficientes lineares são mostrados na Tabela 5, para cada tipo de embarcação analisada.

$$\text{BHP} = \alpha_2 * V * L + \beta_2 * B * T + \gamma_2 \quad (9)$$

Onde:

L é o comprimento da embarcação em m
 V é a velocidade do navio em nós
 B é a boca do navio em m
 T é o calado do navio em m

Tabela 5 – Coeficientes para o modelo estatístico 2

	Container	Graneleiro	Cruzeiro	RoRo	Tanque	Carga
γ_2	-17084.7	-3278.08	-25115.9	-4702.2	-10338	-1495.84
α_2	5.577797	4.267285	19.11084	6.620944	7.031598	7.924539
β_2	71.32378	3.895766	-31.5291	-16.7314	1.561328	-56.0054

Fonte: O autor (2017).

4.4 MODELO CWA

Por fim, propõem-se o modelo Cwa, cujos fundamentos foram discutidos na fundamentação teórica e que se baseia no parâmetro K, calculado pela equação 10.

$$K = B * T * C_m * \rho * V^3 \quad (10)$$

Aplicando-se a técnica de regressão unicamente em relação ao parâmetro K, descrito na equação 10, obtém-se o modelo Cwa o qual é descrito na equação 11 e cujos coeficientes lineares são apresentados na Tabela 6.

$$BHP = \alpha_3 * K + \beta_3 \quad (11)$$

Tabela 6 – Coeficientes para o modelo Cwa

	Container	Graneleiro	Cruzeiro	RoRo	Tanque	Carga
β_3	-1428.4	4313.878	-7512.14	7058.526	6475.325	1299.83
α_3	0.010133	0.004326	0.021028	0.003499	0.004304	0.007772

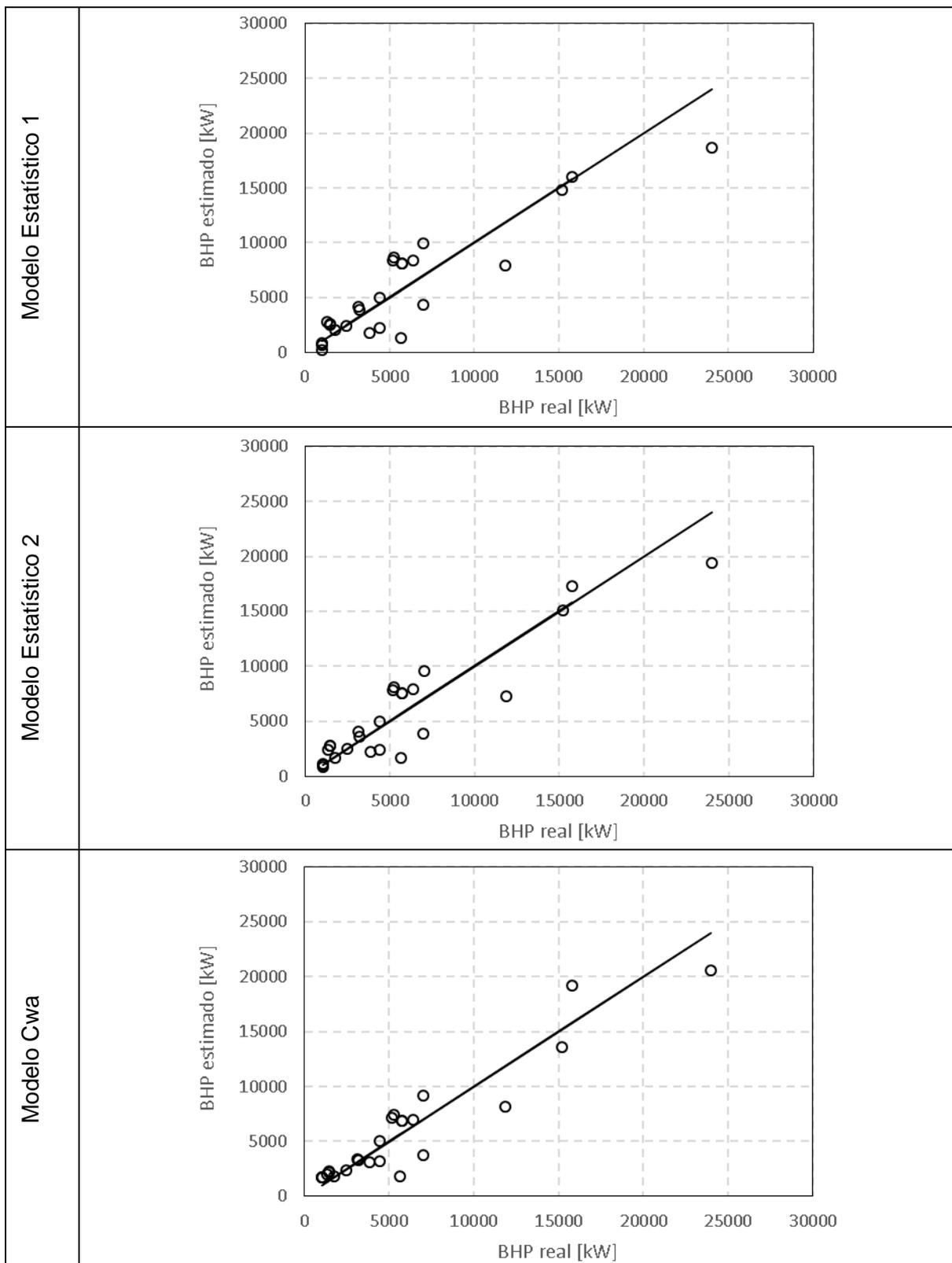
Fonte: O autor (2017)

4.5 ANÁLISE DOS MODELOS DESENVOLVIDOS

É importante observar que os resultados da análise completa usando a técnica das regressões lineares múltiplas, para cada um dos 3 modelos desenvolvidos, são apresentados no anexo H.

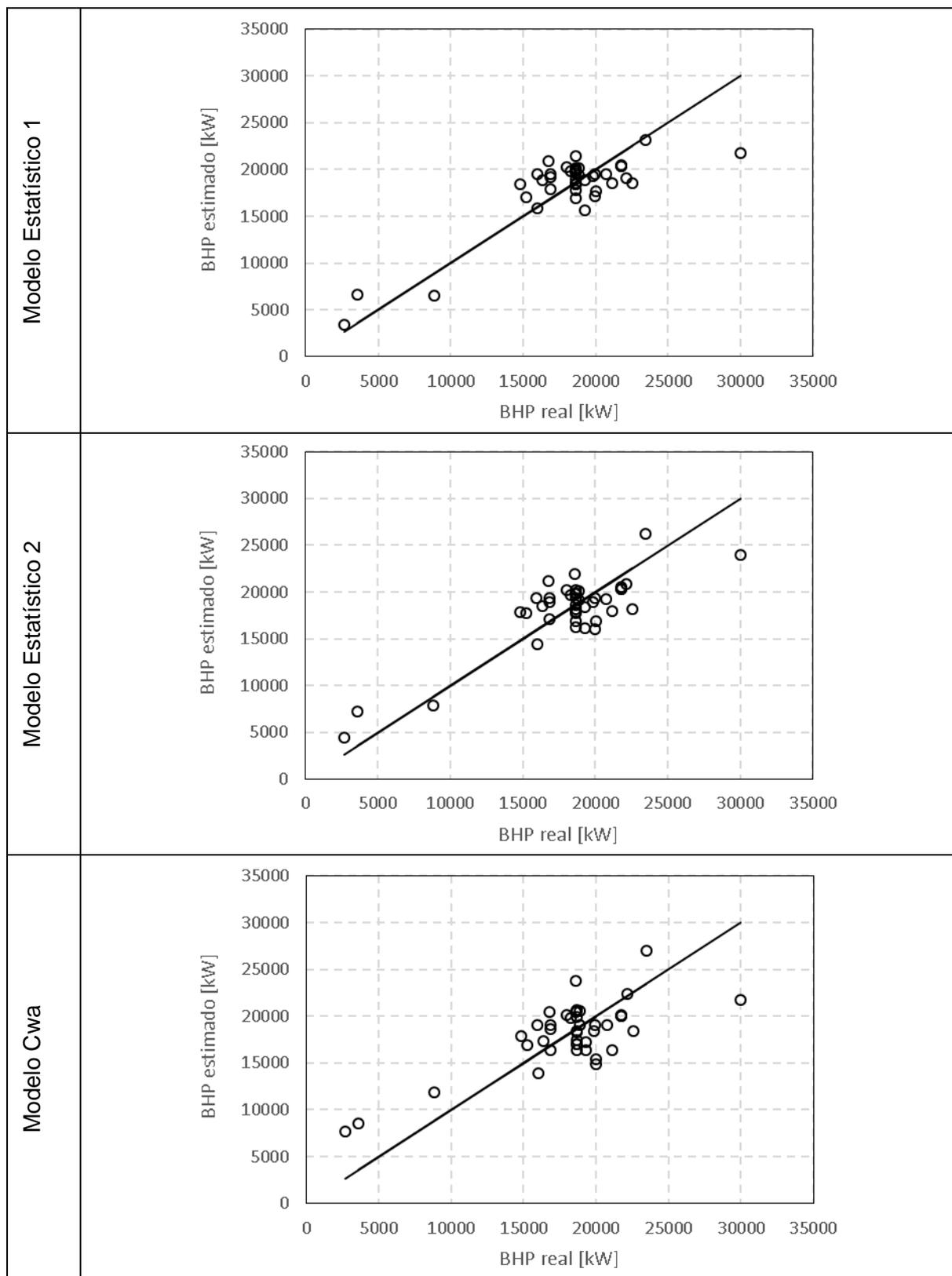
A seguir, são mostradas nas figuras de 7 a 12 a comparação entre o BHP real das embarcações constantes no banco de dados e o BHP estimado por cada um dos 3 modelos estatísticos propostos, considerando cada um dos tipos de embarcações analisados. A representação do erro, em relação ao modelo real e estimado se dá pela distância vertical entre a linha de 45° e o ponto de análise.

Figura 7 – Análise dos navios de Carga Geral.



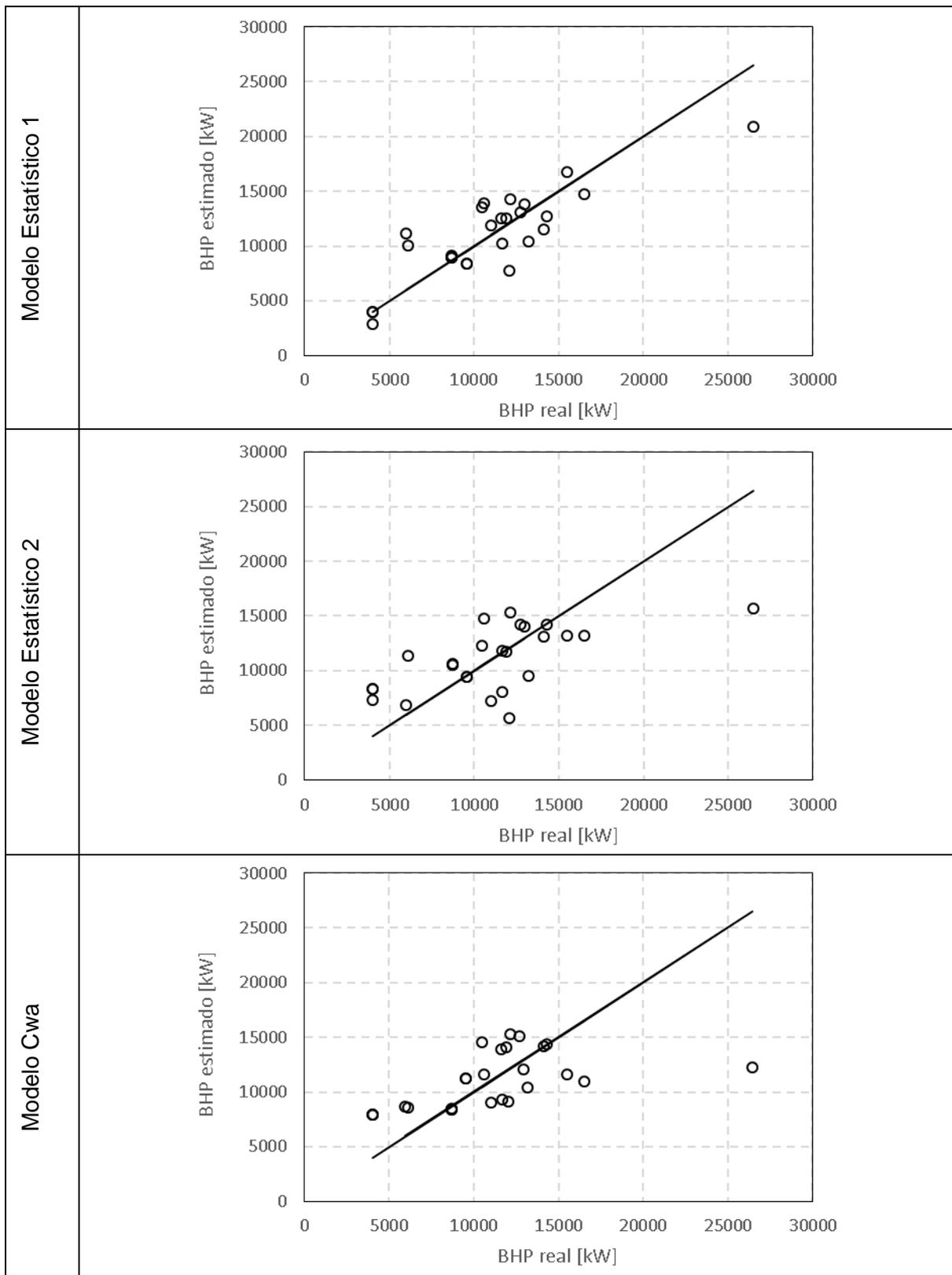
Fonte: O autor (2017)

Figura 8 – Análise dos navios Tanques



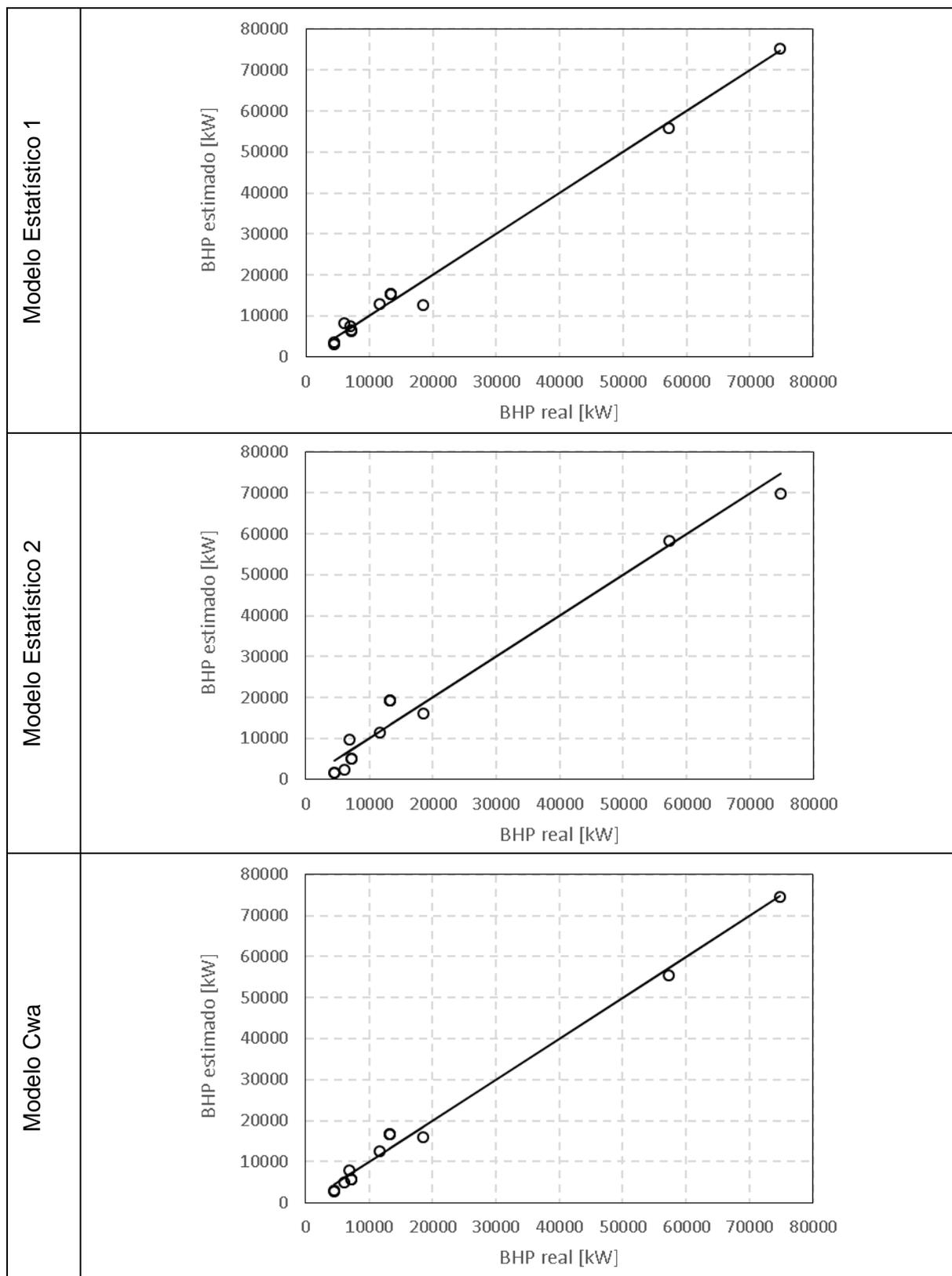
Fonte: O autor (2017)

Figura 9 – Análise dos navios RoRo



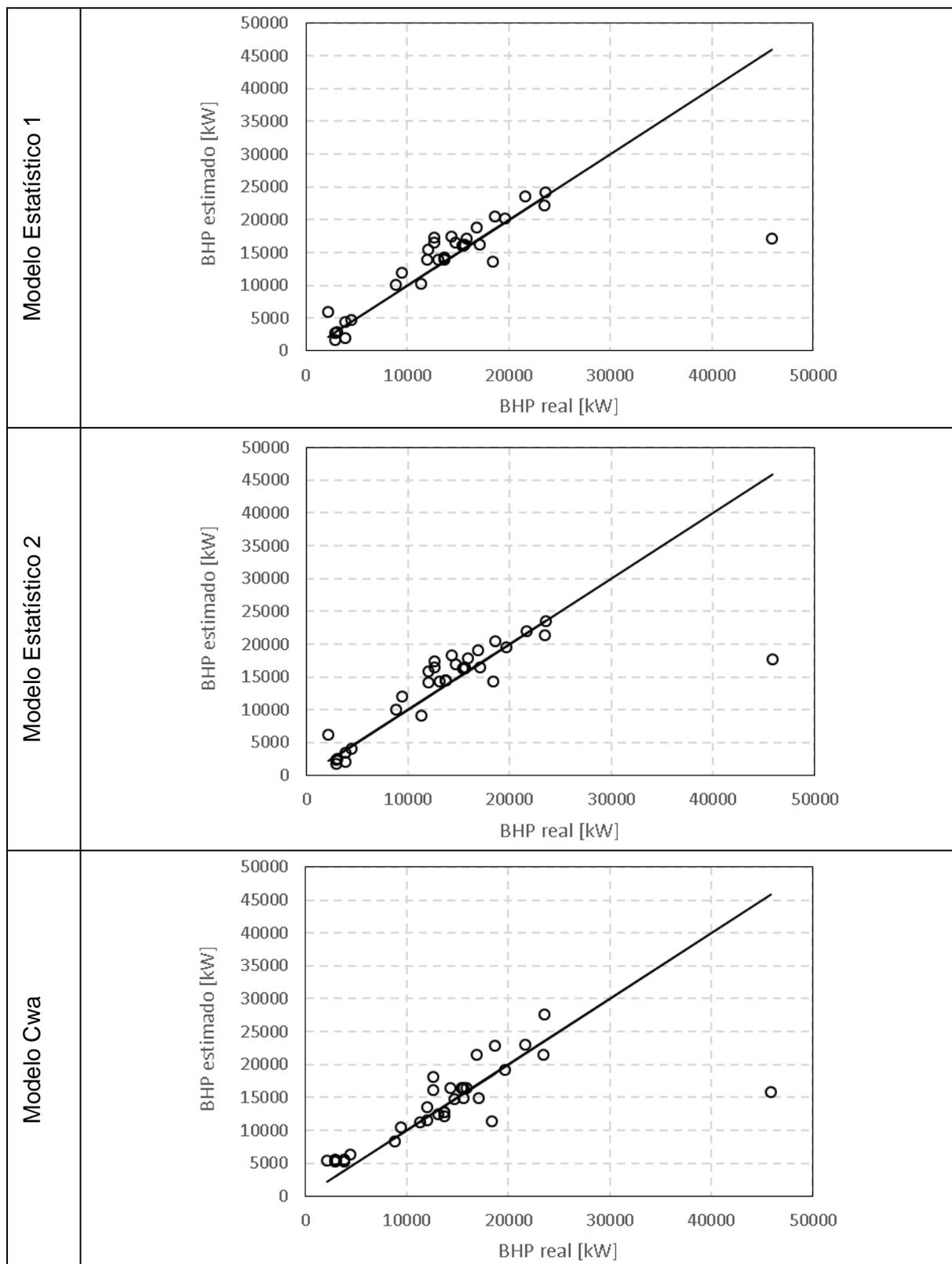
Fonte: O autor (2017)

Figura 10 – Análise dos navios Porta Contêineres



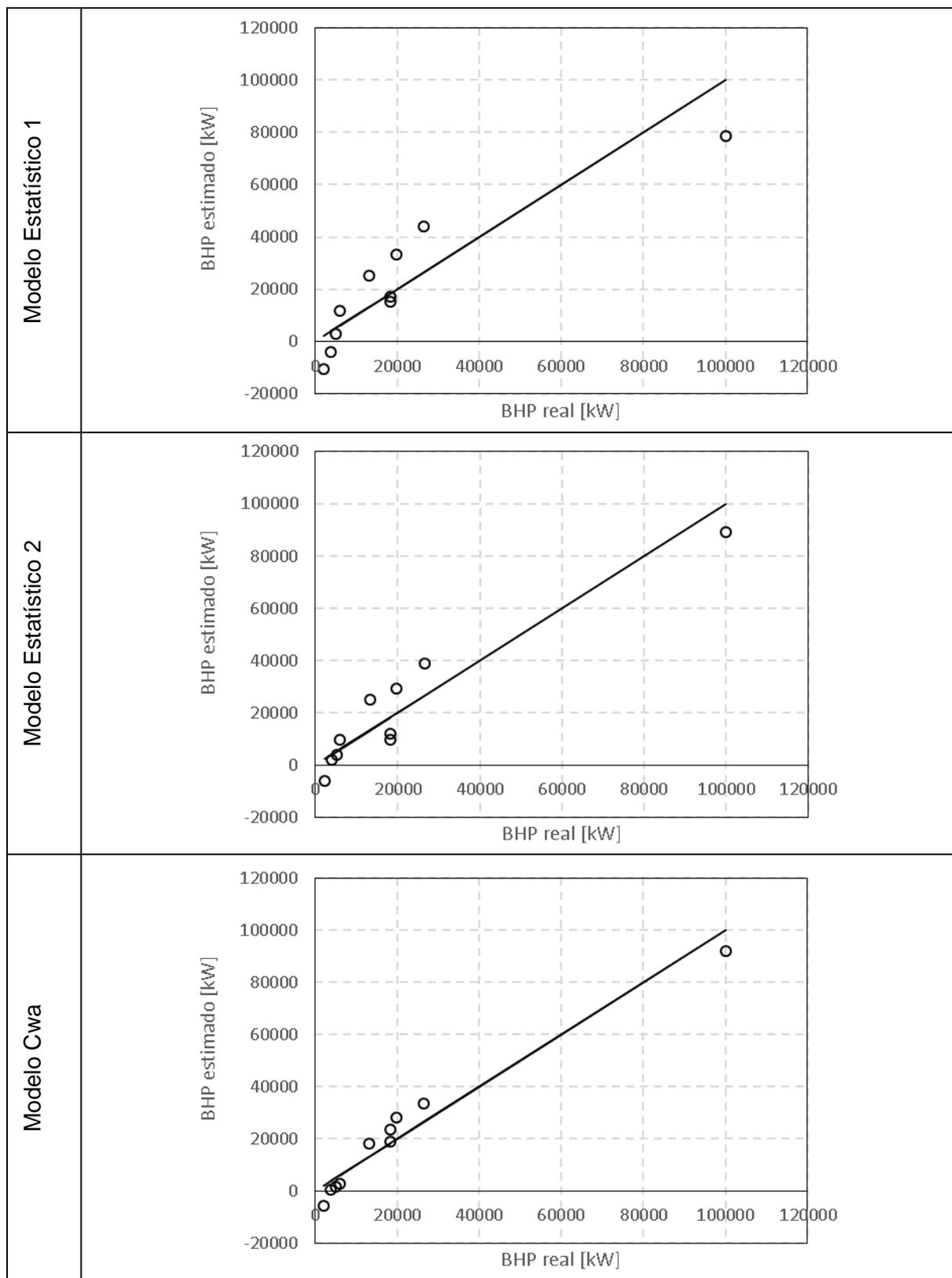
Fonte: O autor (2017)

Figura 11 – Análise dos navios Graneleiros



Fonte: O autor (2017)

Figura 12 – Análise dos navios de Cruzeiro

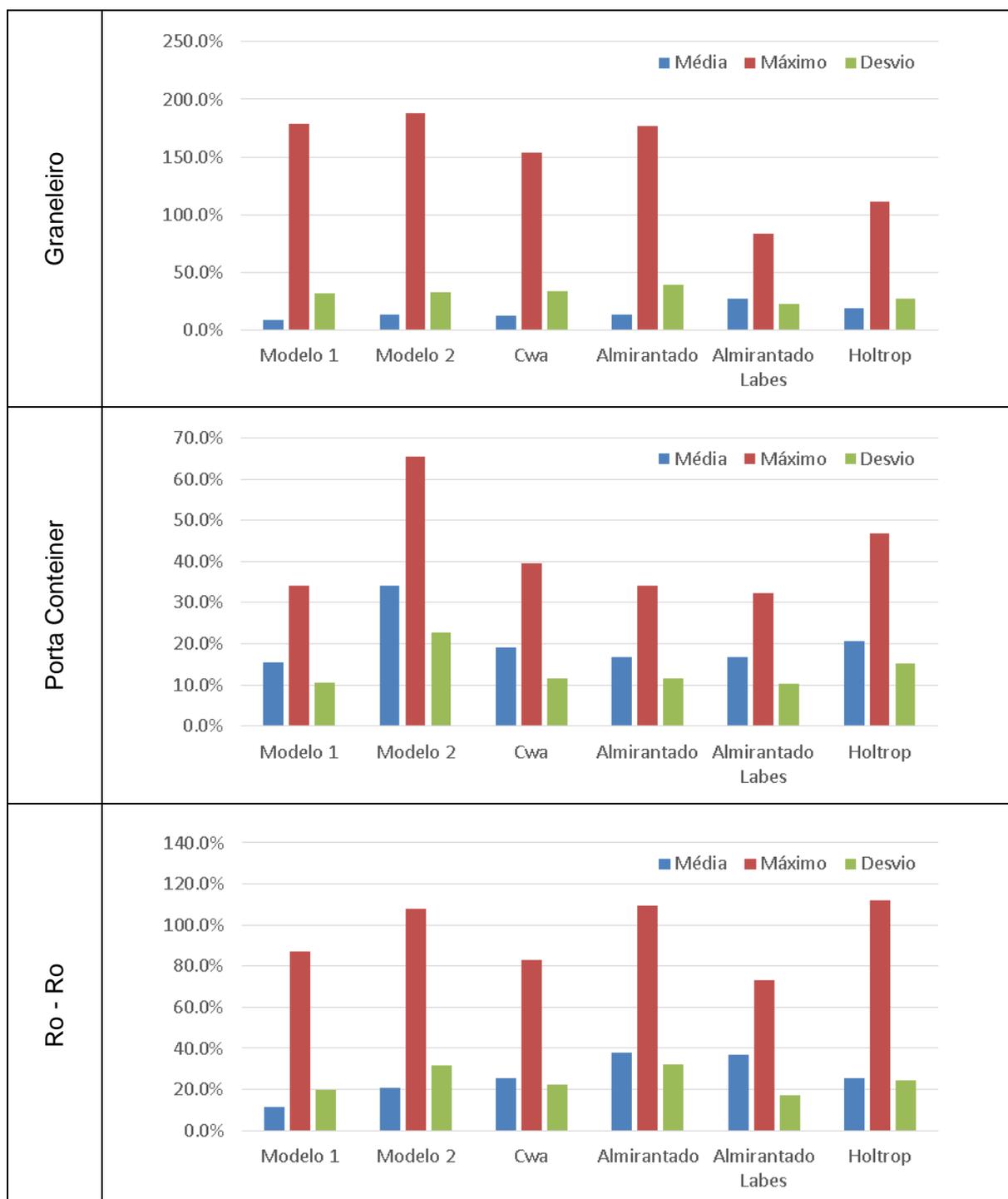


Fonte: O autor (2017)

4.6 COMPARAÇÃO

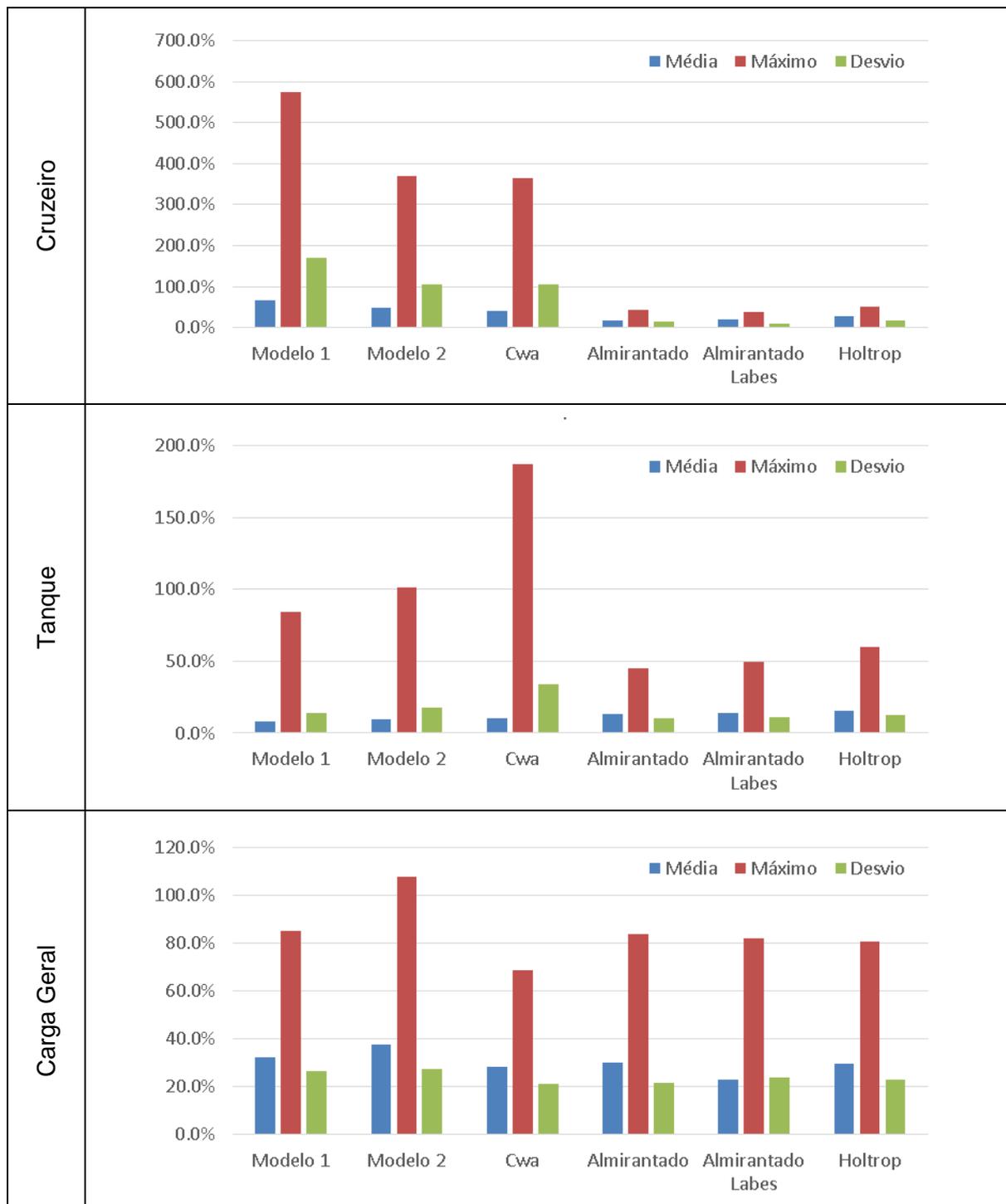
Os diferentes modelos analisados, e apresentados nas secções anteriores, foram aplicados ao banco de dados. O erro médio, máximo e o desvio padrão de cada modelo, em cada tipo de embarcação, são comparados nas Figuras 13 e 14.

Figura 13 – Comparação entre modelos analisados 1



Fonte: O autor (2017)

Figura 14 – Comparação entre modelos analisados 2



Fonte: O autor (2017)

Os resultados numéricos referentes às figuras 13 e 14 são mostrados no anexo G, e permite indicar qual dos modelos analisados apresenta o menor erro médio para cada um dos tipos de embarcação analisados.

Conforme mostrado na Tabela 7, pode-se concluir, que de maneira geral, o Modelo Estatístico 1, foi aquele que apresentou o menor erro médio. O Modelo Cwa apenas apresentou menor erro médio no caso de navios de carga geral. Por fim, o Coeficiente de Almirantado foi superior apenas para navios do tipo Ro-Ro.

Tabela 7 – Modelo com menor erro médio para cada tipo de embarcação

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo Cwa	Almirantado	Almirantado Labes	Holtrop
Conteneiro	x					
Graneleiro	x					
Cruzeiro				x		
RoRo	x					
Tanque	x					
CargaGeral			x			

Fonte: O autor (2017)

4.7 DISCUSSÃO SOBRE O NÚMERO DE FROUDE

Observa-se que as embarcações do tipo Ro-Ro e de Cruzeiro, pertencentes ao banco de dados de navios semelhantes, navegam com número de Froude maior que 0.25. Como discutido na fundamentação teórica, neste caso pode-se corrigir a estimativa de potência por modelos empíricos tais como apresentados por Chame (2014).

Uma proposta simples para corrigir o modelo Cwa é dividir a resistência ao avanço por um fator N, dependente do número de Froude. Chame (2014) apresenta a equação 12 para estimativa do fator N.

$$N = R_f \div R_t = 3.0612 * Fr^2 - 4.1459 * Fr + 1.3666 \quad (12)$$

Assim, propõem-se uma nova regressão linear baseado em K' mostrado na equação 13, para a construção de um novo Modelo Cwa, que eventualmente poderá ser desenvolvido no futuro.

$$K' = (B * T * C_m * \rho * V_s^3) / (N) \quad (13)$$

5. REVISÃO DO MODELO – Análise do banco de dados

5.1 MODELO ESTATISTICO

Após a análise dos resultados, observou-se que alguns casos analisados apresentaram erros máximos altíssimos, maiores que 4 vezes o desvio padrão. Este resultado sugere que tais dados foram cadastrados com erro em alguma parte do processo, ou que tratam-se de navios especiais cuja potência instalada tem alguma finalidade específica, própria do projeto.

O critério utilizado foi remover do banco de dados todas as embarcações que possuíam erro superior a 2 vezes o desvio padrão do modelo em todos os modelos analisados; caracterizando assim um dado anômalo. Neste contexto os barcos eliminados do modelo foram:

Tabela 8 – Embarcações removidas do bando de dados

Ano	Nome	Tipo	DWT [t]	Δ [t]	LPP [m]	BHP [Kw]	B [m]	T [m]	Vs [kt]
1974	Berg	Carga Geral	3606	4460	107.4	5665	13.2	3.6	10.8
1989	Olympiada	Cruzeiro	1291	3042	90.0	2200	15.0	3.1	12.0
1962	Canadian Hunter	Graneleiro	xxx	17350	168.9	2150	19.3	7.1	12.4

Fonte: O autor (2017)

Após a remoção desses dados, as análises foram refeitas e os novos resultados são apresentados nas tabelas 9, 10 e 11.

$$\text{BHP} = \alpha'1 * \Delta + \beta'1 * V + \gamma'1 * F_n + \delta'1 \quad (14)$$

Tabela 9 - Coeficientes modelo 1 revisado.

	Container	Graneleiro	Cruzeiro	RoRo	Tanque	Carga
$\delta'1$	-37484.8	-2404.9	-77878.6	-24620.3	-2324.3	-9495.0
$\alpha'1$	0.5819	0.0298	0.6986	-0.0406	0.0034	0.0202
$\beta'1$	-234.074	1713.256	6411.915	2342.652	4323.760	2274.673
$\gamma'1$	164580.8	-78859.1	-127705.2	-25669.5	-298752.7	-83582.9

Fonte: O autor (2017)

$$\text{BHP} = \alpha'2 * V * L + \beta'2 * B * T + \gamma'2 \quad (15)$$

Tabela 10 - Coeficientes modelo 2 revisado.

	Conteiner	Graneleiro	Cruzeiro	RoRo	Tanque	Carga
$\gamma'2$	-17084.7	-3004.3	-31360.2	-4702.2	-10338.0	-2577.9
$\alpha'2$	5.5778	4.4928	18.8583	6.6209	7.0316	7.9379
$\beta'2$	71.3238	2.4372	2.5120	-16.7314	1.5613	-49.4287

Fonte: O autor (2017)

$$K = B * T * C_m * \rho * V^3 \quad (16)$$

$$BHP = \alpha'3 * K + \beta'3 \quad (17)$$

Tabela 11 - Coeficientes modelo Cwa revisado.

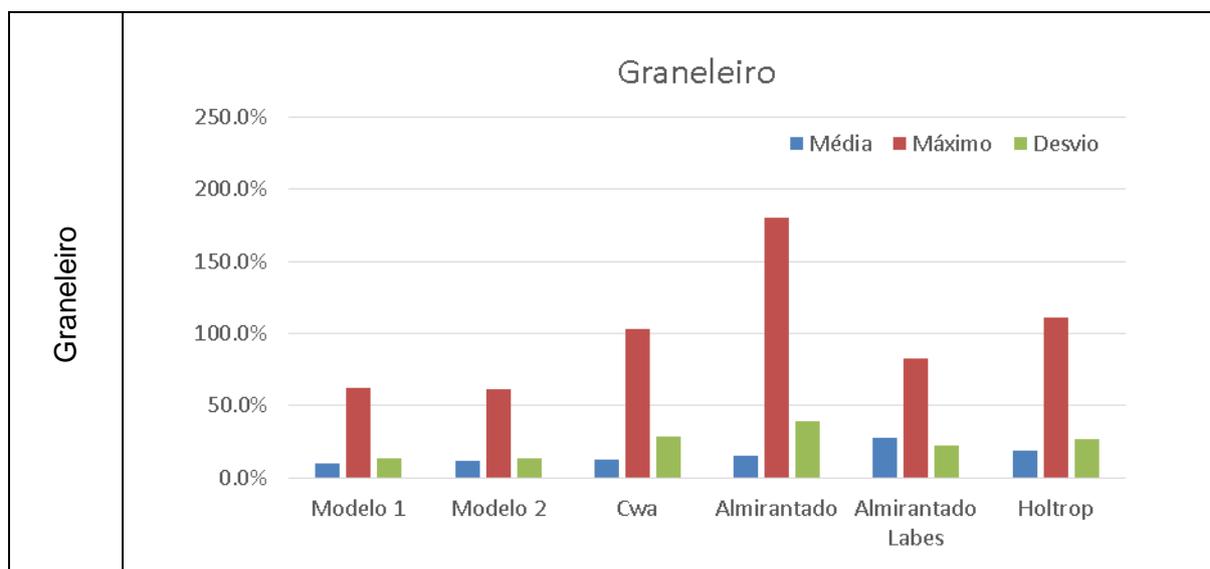
	Conteiner	Graneleiro	Cruzeiro	RoRo	Tanque	Carga
$\beta'3$	-1428.4	4750.7	-9617.3	7058.5	6475.3	1016.4
$\alpha'3$	0.0101	0.0042	0.0218	0.0035	0.0043	0.0082

Fonte: O autor (2017)

5.2 COMPARAÇÃO REVISADA

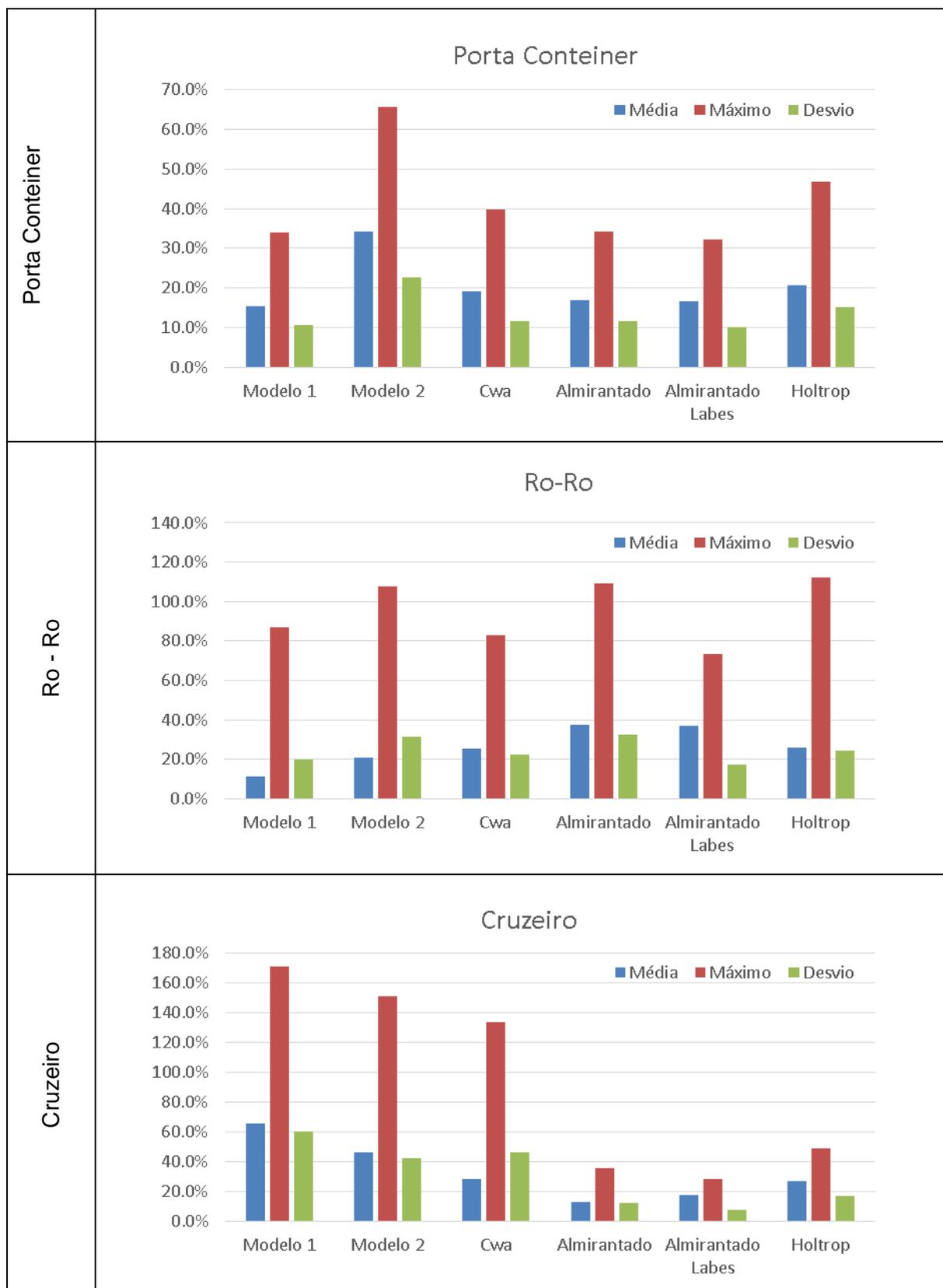
Os diferentes modelos analisados foram revisados, a nova comparação dos erros máximos médios e desvio padrão estão a seguir nas figuras 15, 16 e 17.

Figura 15 - Comparação revisada 1.



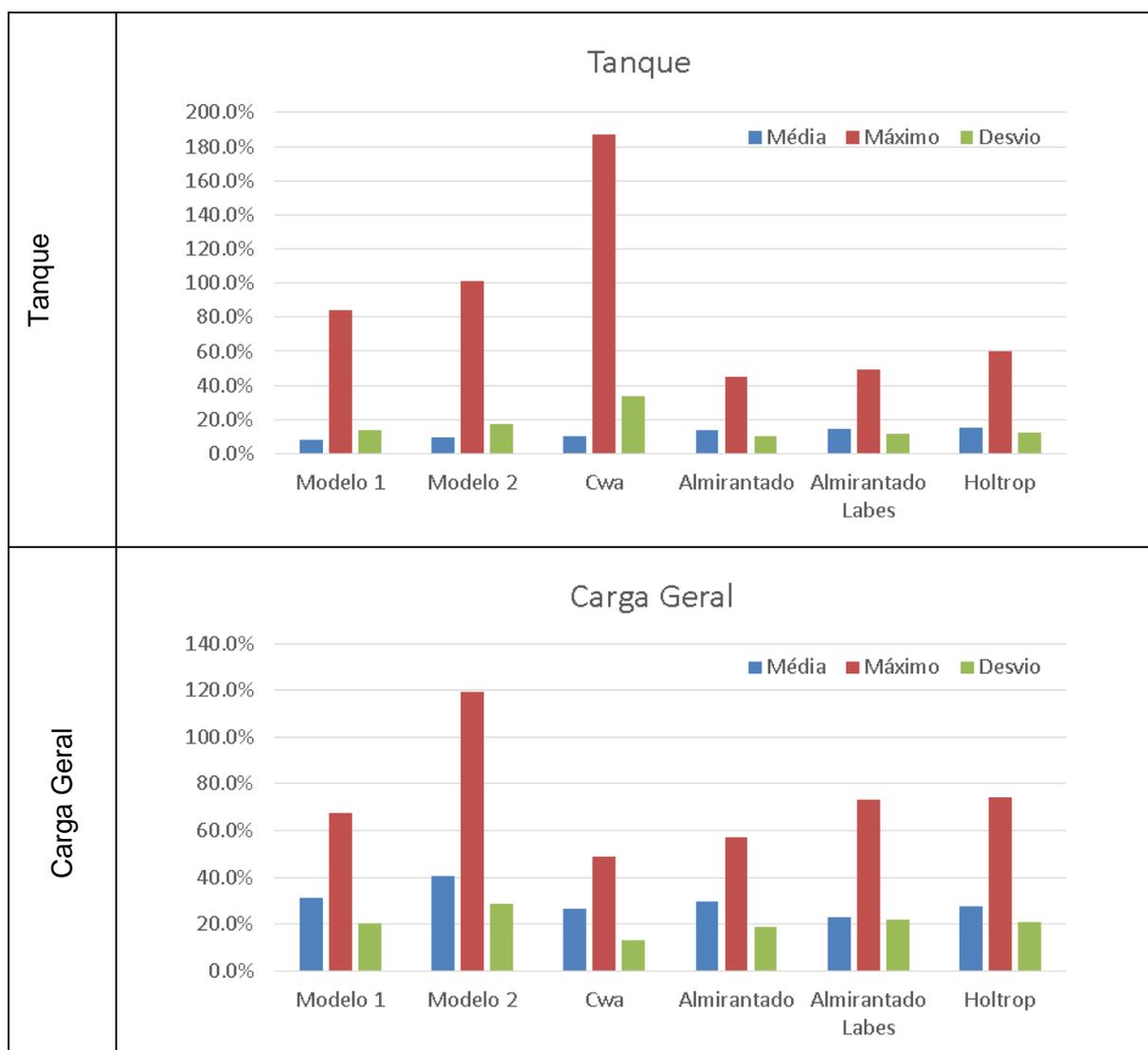
Fonte: O autor (2017)

Figura 16 - Comparação revisada 2.



Fonte: O autor (2017)

Figura 17 - Comparação revisada 3.



Fonte: O autor (2017)

Por fim a Tabela 12, apresenta a síntese dos resultados. Observa-se que a análise do banco de dados pouco influenciou as conclusões obtidas anteriormente.

Tabela 92 - Modelo com menor erro médio revisado.

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo Cwa	Almirantado	Almirantado Labes	Holtrop
Conteneiro	x					
Graneleiro	x					
Cruzeiro				x		
RoRo	x					
Tanque	x					
Carga Geral					x	

Fonte: O autor (2017)

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um estudo estatístico preliminar visando a construção de modelos empíricos para a previsão da potência instalada de uma embarcação mercante, ainda nas fases preliminares do projeto.

Foram estudados 6 tipos de embarcações e desenvolvidos 3 modelos estatísticos diferentes, os quais foram comparados com o clássico modelo baseado no Coeficiente de Almirantado e com o tradicional método de Holtrop simplificado para ser usado nas fases iniciais de projeto. Tal simplificação consistiu na utilização do modelo de Jessen para estimativa de C_m e de um valor fixo sugerido por Labes (2015) para o L_{cb} .

Observou-se que, eventualmente, tais modelos deveriam sofrer uma correção em função do número de Froude em que as embarcações navegam. No entanto, de maneira geral, o Modelo Estatístico 1, foi aquele que apresentou o menor erro médio, em especial para os tipos de navio que tipicamente navegam com baixos número de Froude.

Os resultados preliminares são promissores e indicam que análises mais aprofundada poderão resultar em um coeficiente muito útil para a estimativa da potência instalada de uma embarcação mercante ainda nas fases iniciais do projeto.

6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros considera-se aumentar o banco de dados de embarcações semelhantes, além de analisar outros tipos de navios.

Sugere-se também a verificação da adequação de uma eventual correção no modelo baseada no número de Froude, propondo um modelo que, embora simples, separe os efeitos viscosos e potenciais.

Outra sugestão é analisar, ou adequar o melhor modelo para cada tipo de embarcação ao invés de propor um coeficiente geral que contemple os 6 tipos de embarcações estudados.

REFERÊNCIAS

- AMORIN, F. A. S. **Um modelo de otimização para projeto preliminar de navios**. 1983. 220. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1983.
- CHAME, M. E. F, **Projeto conceitual otimizado de embarcações utilizando fórmulas empíricas**. 2014, Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville, Joinville, SC, 2014.
- EVANS, J. H. Basic Design Concepts. Journal of the American Society of Naval Engineers. v. 71. p. 671-678. nov. 1959.
- FOX, R. W. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- GALE, P. A. The Ship Design Process. In: LAMB, Thomas. The Society of Naval Architects and Marine Engineers (Ed.). Ship Design and Construction. New Jersey, 2003. Cap. 5. p. 1- 40.
- HOLTROP, J. MENNEN, G. G. J. A statistical power prediction method. In: **.International Shipbuilding Progress**. 1978. Cap. 25.
- KISS, R. K. Mission Analysis and Basic Design. In: TAGGART, Robbert (Ed.). Ship Design and Construction. New Jersey, 1980. Cap. 1. p. 1-49.
- KOREAN REGISTER OF SHIPPING. **RB-12-E**: Rules for the Towing Survey of Barges and Tugboats. Daejeon: 2010. 14 p.
- LABES, T. A. **Modelos para estimativas preliminares das dimensões principais e coeficientes de um navio cargueiro**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville, Joinville, sc, 2015.
- LAMB, T. **Ship Design and Construction**. SNAME, 2003.
- LEVINE, David M. **Estatística : teoria e aplicações usando microsoft® excel em português**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- MORAES, A. A.; FERREIRA, C. V. ; TANCREDI, T. P. ; ARAUJO, I. ; BERTOLO, P. . Uma comparação das fases de Projeto Informacional e Conceitual do Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos Aplicada a Indústria Naval, SOBENA 2016, Rio de Janeiro, 2016.
- MOLLAND, A. F. **The maritime engineering reference book: a guide to ship design, construction and operation**. Oxford: Elsevier Science Ltd; 2008.

OZDEMIR, Y. H.; BARLAS, B.; YILMAZ T.; BAYRAKTAR S. Numerical and experimental study of turbulent free surface flow for a fast ship model. In: Brodogradnja / Shipbuilding, 2014.

PARSONS, M.G. Parametric Design. In: LAMB, T. 2003. Ship Design and Construction. Michigan. 2003.

ROZENFELD, H., [et al.]. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva. 2006. 542 p.

TRINDADE, j. **Hidrodinâmica e Propulsão: Engenharia de Máquinas Marítimas**. Escola Náutica Infante D. Henrique. Portugal, 2012

UEDA, R. J. ; et al. Análise paramétrica da resistência ao avanço de cascos de embarcações de apoio: comparação entre métodos semi-empíricos e métodos numéricos. In: 24º CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 2012, Rio de Janeiro. **Anais SOBENA 2012**.

VAN MANEN, J. D.; VAN OSSANEM, P. **Principles of Naval Architecture, Second Revision, Volume II: Resistance, Propulsion, and Vibration**. Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, New Jersey USA, 1988.

WATSON, D.G.M. **Practical ship desing**. Oxford: Elsevier Science Ltd; 1998

ANEXO A: Contêiner

	Nome	Bandeira	DWT [t]	W [t]	LPP [m]	BHP [Kw]	B [m]	T [m]	Vs [kt]	Fn	C.alm	Cb	Cp	L/B	Cm	VsL	Bt
1969	xxx	xxx	9900	19570	161,5	18500	24,1	8,5	20,5	0,27	338,18	0,58	0,62	6,70	0,95	3311	205
1990	OrientSpirit	S.V.G	8713	12194	105,5	4471	18,2	8	14	0,22	325,14	0,77	0,80	5,80	0,99	1477	146
1990	LsAizenshtat	S.V.G	8717	12194	105,5	4470	18,2	8	14,2	0,23	339,36	0,77	0,80	5,80	0,99	1498	146
1990	Mekong spirit	Malta	12380	17815	142,8	6930	22,3	8,3	17	0,23	483,58	0,66	0,69	6,40	0,98	2428	185
1990	Kreta	Malta	12256	17658	143,2	11638	22,7	7,8	19,8	0,27	452,28	0,68	0,71	6,31	0,98	2835	177
2000	Neyada	Russia	6850	9787	109	6100	17,9	7,1	17	0,27	368,51	0,69	0,72	6,09	0,98	1853	127
2001	SascoAvacha	Russia	8441	12160	125,5	7200	19,4	7,4	17	0,25	360,83	0,66	0,69	6,47	0,98	2134	144
2004	FescoNavarian	Russia	8505	12153	126,8	7200	19,4	7,4	17	0,25	360,69	0,65	0,68	6,54	0,98	2156	144
2006	Cosco Guangzhou	Grécia	107500	144489	333,4	74760	42,8	14,5	22,9	0,21	442,31	0,68	0,71	7,79	0,98	7635	621
2006	MaerskKowloon	Dinamarca	84500	110457	286,7	57200	40	14,5	21,3	0,21	388,93	0,65	0,68	7,17	0,97	6107	580
2008	Vitim	Chipre	22749	30800	171,9	13320	25,3	9,9	19,2	0,24	522,12	0,70	0,73	6,79	0,99	3300	250
2008	Voronezh	Chipre	22749	30800	171,9	13320	25,3	9,9	19,2	0,24	522,12	0,70	0,73	6,79	0,99	3300	250
2009	Vladimir	Chipre	22708	30800	171,9	13320	25,3	9,9	19,2	0,24	522,12	0,70	0,73	6,79	0,99	3300	250

ANEXO B: Graneleiro

Ano	Nome	Bandeira	DWT [t]	W [t]	LPP [m]	BHP [Kw]	B [m]	T [m]	Vs [kt]	Fn	C.alm	Cb	Cp	L/B	Cm	VsL	BT
1962	Canadian Hunter	Canadá	xxx	17350	168,9	2150	19,3	7,1	12,4	0,16	594,33	0,73	0,76	8,75	0,99	2094	137
1969	Centauro	Itália	63410	78938	236,2	18400	31,7	12,5	15,9	0,17	402,00	0,82	0,85	7,45	1,00	3756	396
1983	Energy Enterprise	Libano	38234	48800	196	8826	29	10,4	14,5	0,17	461,27	0,81	0,83	6,76	1,00	2842	302
1990	Anemone	Coréia do Sul	151439	169990	264	11974	45	16,9	12,9	0,13	550,15	0,83	0,85	5,87	1,00	3406	761
1990	BeiLun Hai	China	65665	77288	215	9451	32,2	13,1	14,9	0,17	635,07	0,83	0,85	6,68	1,00	3204	422
1991	C. Corsier	Coréia do Sul	158537	177697	271	12025	43	17,7	14	0,14	721,25	0,84	0,86	6,30	1,00	3794	761
1991	Shanghai Carrier	Coréia do Sul	156750	169756	256	15401	46,2	17,7	15	0,15	671,85	0,79	0,81	5,54	1,00	3840	818
1991	Harmonie Carrier	Libéria	156183	169836	256	15480	46,2	17,7	15	0,15	668,64	0,79	0,81	5,54	1,00	3840	818
1991	Shanghai Carrier	Coréia do Sul	155616	169916	256	15559	46,2	17,7	15	0,15	665,45	0,79	0,82	5,54	1,00	3840	818
1993	Stellar Neptune	Ilhas Marshall	298445	339839	318	23573	58	22,2	16	0,15	846,18	0,81	0,83	5,48	1,00	5088	1288
1994	Stellar Magic	Ilhas Marshall	298338	339839	318	23461	58	22	14,5	0,13	632,81	0,82	0,84	5,48	1,00	4611	1276
1995	China Act	Libéria	151688	181906	260	12607	45	17,6	15	0,15	859,46	0,86	0,88	5,78	1,00	3900	792
1995	Cape Warrior	Panamá	151688	170572	260	12607	43	17,6	16	0,16	999,28	0,85	0,87	6,05	1,00	4160	757
1995	Aquadonna	Libéria	161010	181049	270,3	17098	45	17,5	14,5	0,15	570,63	0,83	0,85	6,01	1,00	3919	788
1996	Ngmsailor	Libéria	164188	188350	279,9	45881	43,2	17,5	15	0,15	241,70	0,87	0,89	6,48	1,00	4199	756
1996	Alpha Friendship	Grécia	161524	181049	270	15621	45	17,5	14,5	0,15	624,59	0,83	0,85	6,00	1,00	3915	788
1996	Vogecarrier	Libéria	164308	188465	279,6	15881	43,2	18,9	15	0,15	698,58	0,81	0,83	6,47	1,00	4194	816
1997	Amy N	Panamá	322457	368018	320	21662	58	23	14,7	0,14	753,07	0,84	0,86	5,52	1,00	4704	1334
1997	BergeNord	Noruega	220350	271348	294,7	19662	53,1	18,8	15	0,14	719,44	0,90	0,92	5,55	1,00	4421	998
2000	Tsunomine	Panamá	156818	176519	265	16857	46,8	16,6	17,1	0,17	933,40	0,84	0,86	5,66	1,00	4532	777
2001	Iron Baron	Reino Unido	164218	188179	277,5	14711	44	17,6	14,5	0,14	680,52	0,85	0,88	6,31	1,00	4024	774
2002	Bulk Africa	Libéria	170578	194991	289	14327,5	45	18	15	0,15	792,10	0,81	0,84	6,42	1,00	4335	810
2004	WisbyVerity	Holanda	xxx	9714	104,7	3840	15,1	6,8	14,2	0,23	339,47	0,88	0,90	6,93	1,00	1487	103
2005	Cape Flamingo	Reino Unido	180201	210996	288,93	18630	45	18,2	17,2	0,17	968,03	0,87	0,89	6,42	1,00	4970	819
2006	Gotland Carolina	Bahamas	xxx	64306	164,7	11340	32,2	13,5	15,3	0,20	506,95	0,88	0,90	5,11	1,00	2520	435
2009	WisbyArgan	Noruega	xxx	8356	89,8	2925	18,3	6,1	13,6	0,24	354,12	0,81	0,84	4,91	1,00	1221	112

2009	Marviu	Ilhas Marshall	xxx	17472	115,7	4440	20,4	8,8	13,5	0,21	373,12	0,82	0,84	5,67	1,00	1562	180
2010	Oslo Carrier 2	Polônia	9302	12842	103	3840	18,2	8,1	11	0,18	190,08	0,83	0,85	5,66	1,00	1133	147
2010	Wisby Cedar	Noruega	xxx	9797	89,8	2925	18,3	7	12	0,21	270,49	0,83	0,85	4,91	1,00	1078	128
2011	Acacia Rubra	Ilhas Marshall	xxx	9091	96,3	3060	17,6	6,4	13	0,22	312,74	0,82	0,84	5,47	1,00	1252	113
2011	EasternBund	Hong Kong	115444	134307	249,8	13080	43	14,5	14,3	0,15	586,32	0,84	0,86	5,81	1,00	3572	624
2012	Hanjin Balikpapan	Panamá	114531	134904	248,8	13660	43	14,5	14,5	0,15	587,04	0,85	0,87	5,79	1,00	3608	624
2012	Abml Eva	Malta	106659	125196	249,2	13660	43	13,6	14,5	0,15	558,53	0,84	0,86	5,80	1,00	3613	585
2013	Orient Sun	Cingapura	114775	134908	248	13660	43	14,5	14,5	0,15	587,05	0,85	0,87	5,77	1,00	3596	624

ANEXO C: Cruzeiros

Ano	Nome	Bandeira	DWT [t]	W [t]	LPP [m]	BHP [Kw]	B [m]	T [m]	Vs [kt]	Fn	C.alm	Cb	Cp	L/B	Cm	Vsl	BT
1962	xxx	xxx	9234	19799	154,8	19800	24,1	8,2	20,5	0,27	318,44	0,63	0,67	6,42	0,97	3173	198
1962	xxx	xxx	xxx	39998	243,8	100000	29	9,1	26,3	0,28	212,76	0,61	0,65	8,41	0,96	6412	264
1962	xxx	xxx	xxx	31313	187,5	26500	24,7	9,8	20	0,24	299,91	0,67	0,70	7,59	0,98	3750	242
1969	xxx	xxx	xxx	11040	130,8	6000	18	7,3	15,5	0,22	307,72	0,63	0,66	7,27	0,97	2027	131
1976	StarryMetropolis	Jamaica	2402	10717	135,6	13240	21,8	6,2	21	0,30	340,01	0,57	0,62	6,22	0,95	2848	135
1977	LkavdiyaYelanskaya	Russia	1414	4160	90	3884	16,2	4,7	17,2	0,30	338,87	0,59	0,63	5,56	0,96	1548	76
1980	KapitanDranitsyn	Russia	4515	14917	121,3	18240	26,5	8,5	19	0,28	227,87	0,53	0,58	4,58	0,93	2305	225
1981	KapitanKhlebnikov	Russia	4418	14917	121,3	18264	26,5	8,5	18	0,27	193,50	0,53	0,58	4,58	0,93	2183	225
1989	AkademikLoffe	Russia	1738	6718	106,2	5152	18,2	5,9	16	0,26	283,06	0,57	0,62	5,84	0,95	1699	107
1989	Olympiada	Russia	1291	3042	90	2200	15	3,1	12	0,21	164,90	0,71	0,74	6,00	0,99	1080	47

ANEXO D: Roll on Roll off

Ano	Nome	Bandeira	DWT [t]	W [t]	LPP [m]	BHP [Kw]	B [m]	T [m]	Vs [kt]	Fn	C.alm	Cb	Cp	L/B	Cm	VsL	BT
1969	xxx	xxx	10111	18286	141,7	13200	23,8	6,7	18	0,25	306,66	0,79	0,81	5,95	1,00	2551	159
1969	xxx	xxx	4400	16500	152,4	16500	23,8	5,8	20	0,27	314,24	0,77	0,79	6,40	0,99	3048	138
1969	xxx	xxx	10976	11080	121,9	11660	20,7	5,2	18	0,27	248,59	0,82	0,85	5,89	1,00	2194	108
1972	PanagiaTinou	Grécia	1215	5791	105,8	11026	19,2	4,4	19	0,30	200,61	0,63	0,67	5,51	0,97	2010	84
1974	European Express	Chipre	1823	9568	148,5	26470	21,5	6,1	23	0,31	207,16	0,48	0,54	6,91	0,91	3416	131
1975	Theofilos	Grécia	3332	12083	146	15510	23,5	6,1	21	0,29	314,41	0,56	0,61	6,21	0,95	3066	143
1975	Aqua Maria	Grécia	783	3250	105	5968	18	4,6	18,6	0,30	236,57	0,36	0,45	5,83	0,83	1953	83
1979	GeroiPlevny	Ucrânia	12889	23248	170	12954	26	7,4	19,5	0,25	466,26	0,69	0,72	6,54	0,98	3315	192
1984	Dagostam	Azerbaijão	3950	9061	147	8700	17,5	4,5	17,1	0,23	249,80	0,76	0,79	8,40	0,99	2514	79
1985	Azerbaijan	Azerbaijão	3985	9061	147	8700	17,5	4,5	17	0,23	245,44	0,76	0,79	8,40	0,99	2499	79
1986	Sakhalin 9	Russia	3030	8530	112,9	12060	19,8	6,6	16,8	0,26	164,14	0,56	0,61	5,70	0,95	1897	131
1986	Petersburg	Russia	8036	23644	173,1	10592	26	6,6	19,5	0,24	576,69	0,78	0,80	6,66	0,99	3375	172
1986	AkademikHesen Aliyev	Azerbaijão	3985	9061	147	8700	17,5	4,5	17	0,23	245,44	0,76	0,79	8,40	0,99	2499	79
1992	AlanticRunner	Malta	18731	27851	161	9540	23,1	10,4	17	0,22	473,18	0,70	0,73	6,97	0,99	2737	240
1993	AlanticAction	Malta	18820	27780	161	9540	23,1	10,4	17	0,22	472,37	0,70	0,73	6,97	0,99	2737	240
1994	Green Point	EUA	14930	30946	170	11915	32,3	9,2	19	0,24	567,42	0,60	0,64	5,26	0,96	3230	297
1994	Green Cove	EUA	16178	29455	170	10459	32,3	9,2	19,5	0,25	676,17	0,57	0,61	5,26	0,95	3315	297
1998	M.S. Green Lake	EUA	22799	38907	190	12709	32,3	10	19,3	0,23	649,50	0,62	0,66	5,88	0,97	3667	323
1998	Green Ridge	EUA	21523	38874	190	14121	32,2	10,1	18,5	0,22	514,54	0,61	0,65	5,90	0,97	3515	325
1999	Green Dale	Ilhas Faroé	16157	29455	170	11629	32,3	9	19	0,24	562,55	0,58	0,62	5,26	0,95	3230	291
2006	Agdam	Azerbaijão	5946	9900	144,9	4000	18,3	4,7	14	0,19	316,29	0,77	0,80	7,92	0,99	2029	86
2007	Green Bay	EUA	18312	35002	192	12138	32,3	9,6	19,8	0,24	684,30	0,57	0,62	5,94	0,95	3802	310
2010	Csav Rio Geike	Ilhas Faroé	18701	34173	192	14315	32,3	9,7	19	0,23	504,57	0,55	0,60	5,94	0,94	3648	313
2012	Barda	Azerbaijão	5398	8885	149	4000	17,5	4,4	14,5	0,20	326,95	0,76	0,78	8,51	0,99	2161	77
2012	Balaken	Azerbaijão	5398	8885	149	4000	17,5	4,4	14,5	0,20	326,95	0,76	0,78	8,51	0,99	2161	77
2014	Berkarar	Turquemenistão	2400	11262	149	6120	17,5	4,3	17,6	0,24	447,57	0,98	1,00	8,51	1,00	2622	75

ANEXO E: Tanques

Ano	Nome	Bandeira	DWT [t]	W [t]	LPP [m]	BHP [Kw]	B [m]	T [m]	Vs [kt]	Fn	C.alm	Cb	Cp	L/B	Cm	vsl	BT
1962	xxx	xxx	xxx	21200	178,3	3600	20,7	8,8	13,8	0,17	559,19	0,64	0,67	8,61	0,97	2461	182
1969	xxx	xxx	xxx	179700	289,9	30000	47,2	17,4	16,2	0,16	451,29	0,74	0,76	6,14	0,99	4696	821
1975	Hardt	E.G	9267	15000	160	2677	18	7	13	0,17	499,16	0,73	0,75	8,89	0,99	2080	126
1984	FSO CNOOC	Indonésia	127019	149242	250	16000	39,6	17,33	13,5	0,14	432,66	0,85	0,87	6,31	1,00	3375	686
1991	OceanEmerald	Dominica	152680	173264	269,1	16750	46,4	16,72	16	0,16	760,01	0,81	0,83	5,80	1,00	4306	776
1992	Catherine Knutsen	Noruega	141720	164395	265	21132	43,2	16,7	14,6	0,14	441,95	0,84	0,86	6,13	1,00	3869	721
1993	StellarLiberty	Ilhas Marshall	291435	339839	318	23461	58	21,6	15,5	0,14	772,97	0,83	0,85	5,48	1,00	4929	1253
1996	KritiBreeze	Libéria	134441	156083	262,22	16339	46	16	15	0,15	598,80	0,79	0,81	5,70	1,00	3933	736
1997	British Harrier	Ilhas Marshall	151200	170000	264	15220	46	17	14,5	0,15	614,69	0,80	0,83	5,74	1,00	3828	782
1997	Helix	Polónia	46092	60000	172,4	8840	32,2	12,5	14,5	0,18	528,55	0,84	0,87	5,35	1,00	2500	403
1998	LochRannoch	Reino Unido	130031	156252	257,39	19960	46	15,1	14	0,14	398,82	0,85	0,88	5,60	1,00	3603	695
1998	StenaAlexita	Bahamas	126955	150735	262	19272	46	15,73	15	0,15	496,01	0,78	0,80	5,70	0,99	3930	724
1998	Stena Alexia	EUA	127466	150000	247	19270	46	15,7	14,6	0,15	455,94	0,82	0,84	5,37	1,00	3606	722
1999	NavionHispania	Canadá	126183	152836	256,5	20020	42,5	15,65	14,5	0,14	435,30	0,87	0,90	6,03	1,00	3719	666
2000	Cosmic	Grécia	150284	172686	263	19850	48,0	16,02	15,2	0,15	548,62	0,83	0,85	5,48	1,00	3998	769
2000	Sonangol Girassol	Bahamas	159057	182370	264	18850	48	17,02	15,2	0,15	599,13	0,82	0,85	5,50	1,00	4013	817
2001	Polar Endeavour	EUA	141734	160500	258,2	22120	46,2	17,5	16,5	0,17	599,77	0,75	0,77	5,59	0,99	4260	809
2001	HS Alcina	Libéria	160183	182477	265,56	16859	48	17,02	15,2	0,15	670,15	0,82	0,84	5,53	1,00	4037	817
2001	Front Melody	EUA	149995	173251	262	20740	45,6	17,12	15,4	0,15	547,27	0,83	0,85	5,75	1,00	4035	781
2002	Heydar Aliyev	Malta	164551	189202	264	18600	50	17,02	16,66	0,16	819,34	0,82	0,84	5,28	1,00	4398	851
2003	IskmatiSpirit	Bahamas	165293	189187	264,07	18623	50	17,02	15,5	0,15	658,98	0,82	0,84	5,28	1,00	4093	851
2004	Ice Transporter	Libéria	146270	169802	263	17990	48,1	16,04	15,9	0,16	685,15	0,82	0,84	5,47	1,00	4182	771
2004	OttomanNobility	Turquia	149999	175181	258	22559	46	17,52	15	0,15	468,39	0,82	0,84	5,61	1,00	3870	806

2005	Heather Knutsen	Canadá	148644	173615	262	16860	46,0	17,02	15,2	0,15	648,23	0,83	0,85	5,69	1,00	3982	784
2005	BesiktasDardanelles	Turquia	163750	188402	264	14830	50	16,93	14,5	0,14	675,60	0,82	0,85	5,28	1,00	3828	847
2006	Alaska	Grécia	163250	189267	264	18660	50	17	15,6	0,15	670,67	0,82	0,85	5,28	1,00	4118	850
2006	Eton	Libéria	162390	188140	270	21770	50	16,5	15,5	0,15	561,64	0,82	0,85	5,40	1,00	4185	825
2006	AlekseyKosygin	Libéria	163545	189406	271,18	21770	50	16,62	15,5	0,15	564,16	0,82	0,84	5,42	1,00	4203	831
2007	Windsor Knutsen	Noruega	160241	188140	270	21770	50,1	16,52	15,5	0,15	561,64	0,82	0,84	5,39	1,00	4185	827
2008	Phaethon	Grécia	158267	183713	264	18860	48	17,15	15,7	0,15	663,11	0,82	0,85	5,50	1,00	4145	824
2008	OttomanEquity	Turquia	150545	175237	258	18660	46	17,52	15	0,15	566,39	0,82	0,84	5,61	1,00	3870	806
2008	SummitSpirit	Bahamas	159400	182884	264	18660	48	17,02	14	0,14	473,79	0,83	0,85	5,50	1,00	3696	818
2009	Meltemi	Grécia	163759	189258	264	18660	50	17	15,3	0,15	632,70	0,82	0,85	5,28	1,00	4039	850
2009	Zenith Spirit	Bahamas	160510	182884	264	18660	48	17,02	14,5	0,14	526,39	0,83	0,85	5,50	1,00	3828	817
2010	Maran Poseidon	Grécia	158267	183713	265,17	18660	48	17,17	15,7	0,15	670,21	0,82	0,84	5,52	1,00	4163	824
2010	Nordic Vega	Bahamas	159999	185600	265,43	16860	48	17	14	0,14	529,56	0,84	0,86	5,53	1,00	3716	816
2010	SksDoyles	Noruega	119456	141032	239	18660	45	15,2	15,2	0,16	509,91	0,84	0,86	5,31	1,00	3633	685
2011	OttomanTenacity	Turquia	150199	175237	258	18660	46	16,2	15,3	0,15	601,05	0,89	0,91	5,61	1,00	3947	746
2012	Lipari	Malta	158425	182856	264	18280	48	17	15,5	0,15	656,28	0,83	0,85	5,50	1,00	4092	816
2013	Odessa	Malta	149999	177499	264	19950	50	16	15,3	0,15	567,02	0,82	0,84	5,28	1,00	4039	800
2013	Odessa	Malta	149999	177499	264	15950	50	16	15,3	0,15	709,21	0,82	0,84	5,28	1,00	4039	801
2013	Karvounis	Bahamas	156229	179975	263,7	18660	48	16,39	14,5	0,14	520,80	0,85	0,87	5,49	1,00	3824	787

ANEXO F: Carga Geral

Ano	Nome	Bandeira	DWT [t]	W [t]	LPP [m]	BHP [Kw]	B [m]	T [m]	Vs [kt]	Fn	C. Alm	Cb	Cp	L/B	Cm	vsl	BT
1962	xxx	xxx	xxx	15072	129,5	3200	17,4	8,5	12	0,17	329,49	0,77	0,79	7,44	0,99	1554	130
1962	xxx	xxx	xxx	10540	117,3	3150	16,8	7,3	13	0,20	335,28	0,71	0,74	6,98	0,99	1525	117
1969	xxx	xxx	14250	18700	161,5	15200	25	8,2	20	0,26	370,80	0,55	0,60	6,46	0,94	3230	162
1969	xxx	xxx	14250	22000	165,8	24000	25	8,2	23	0,29	398,03	0,63	0,67	6,63	0,97	3813	166
1969	xxx	xxx	10600	4460	110	1030	13	3,9	10	0,16	263,06	0,78	0,80	8,46	1,00	1100	110
1974	Berg	Malta	3606	4460	107,4	5665	13,2	3,6	10,8	0,17	60,25	0,85	0,87	8,14	1,00	1160	107
1974	Andor	S.C.N	3506	6180	112,5	1472	15	4,5	11,8	0,18	375,89	0,79	0,82	7,50	1,00	1328	113
1975	Fizulo	Azerbaijão	4150	8178	135	1322	16,5	4,1	10,7	0,15	376,14	0,87	0,90	8,18	1,00	1445	135
1975	Blackwood	Belize	6062	6752	112,5	1472	15	4,9	11,8	0,18	398,74	0,80	0,82	7,50	1,00	1328	113
1977	AshygElesger	Azerbaijão	4150	4375	102,2	1030	14,8	3,3	10	0,16	259,71	0,86	0,88	6,91	1,00	1022	102
1979	Diamond C	Camboja	3108	20500	136	5259	21,2	8,9	16	0,23	583,39	0,78	0,80	6,42	0,99	2176	136
1979	Asra-Y	Camboja	15775	12440	110,1	4416	19,4	8,1	14,5	0,23	370,64	0,70	0,73	5,68	0,99	1596	110
1980	Abou Karim III	Líbano	6682	29103	154,1	5737	22,9	10,1	14,5	0,19	502,78	0,80	0,82	6,73	1,00	2234	154
1983	Albarella	S.C.N	23440	29103	154,1	5737	22,9	10,1	14,5	0,19	502,78	0,80	0,82	6,73	1,00	2234	154
1984	LetPodeby	Belize	23440	19352	138	6990	22	8,3	12	0,17	178,19	0,75	0,77	6,27	0,99	1656	138
1984	Alessandra I	Malta	14160	18023	133,8	7000	21,7	8,6	17,5	0,25	526,30	0,70	0,73	6,17	0,99	2342	134
1984	Alessia	Malta	12816	13006	109,9	4413	18,9	8,4	11,5	0,18	190,60	0,73	0,75	5,81	0,99	1264	110
1985	Acqua Stella	Panamá	9514	58813	185,6	11843	32,2	12,2	13	0,16	280,55	0,79	0,81	5,76	1,00	2413	186
1985	King Edward	Barbados	46650	29093	154,2	5164	22,9	10,1	14,7	0,19	581,87	0,80	0,82	6,73	1,00	2267	154
1991	Denny Z	S.C.N	23270	5025	112,4	1030	13	4,1	10	0,16	284,83	0,82	0,84	8,65	1,00	1124	112
1991	Akua	Ilhas Cook	3332	8178	136	1764	16,5	4,1	10	0,14	230,11	0,87	0,89	8,24	1,00	1360	136
1991	Alena	Malta	6059	37543	170,7	6400	26	10	14	0,18	480,72	0,83	0,85	6,57	1,00	2390	171
1998	IslandMariner	Libéria	29501	42234	192,2	15785	27,9	11,2	19,4	0,23	560,96	0,69	0,72	6,89	0,98	3729	192
2002	AtralnticProjetect II	Malta	30312	8612	114,2	2460	16,7	5,1	11,5	0,18	259,75	0,86	0,89	6,84	1,00	1313	114
2007	AkhmedMahmudov	Malta	6354	12842	103	3840	18,2	8,1	11,6	0,19	222,91	0,83	0,85	5,66	1,00	1195	103

ANEXO G: Análise comparativa entre os diferentes modelos analisados

Graneleiro

	Modelo			Almirantado		
	Modelo 1	2	Cwa	Almirantado	Labes	Holtrop
Média	8.8%	13.3%	11.8%	13.3%	27.2%	18.7%
Máximo	179.0%	188.0%	154.0%	177.2%	83.0%	111.3%
Desvio	31.8%	32.6%	33.3%	39.4%	22.5%	26.7%

Cruzeiro

	Modelo			Almirantado		
	Modelo 1	2	Cwa	Almirantado	Labes	Holtrop
Média	66.7%	47.4%	39.4%	16.5%	19.5%	27.2%
Máximo	574.7%	370.1%	363.8%	43.4%	39.2%	51.3%
Desvio	170.1%	104.9%	105.7%	13.7%	10.0%	18.4%

Ro - Ro

	Modelo			Almirantado		
	Modelo 1	2	Cwa	Almirantado	Labes	Holtrop
Média	11.4%	21.0%	25.6%	37.8%	36.9%	25.7%
Máximo	87.2%	107.9%	83.1%	109.3%	73.2%	112.1%
Desvio	20.0%	31.7%	22.4%	32.4%	17.4%	24.2%

Tanque

	Modelo			Almirantado		
	Modelo 1	2	Cwa	Almirantado	Labes	Holtrop
Média	8.4%	9.4%	10.5%	13.5%	14.2%	15.3%
Máximo	84.1%	101.3%	187.0%	44.9%	49.2%	59.8%
Desvio	13.9%	17.6%	33.7%	10.6%	11.4%	12.4%

Carga Geral

	Modelo			Almirantado		
	Modelo 1	2	Cwa	Almirantado	Labes	Holtrop
Média	32.1%	37.6%	28.1%	29.9%	22.9%	29.6%
Máximo	85.0%	107.7%	68.9%	83.7%	82.1%	80.8%
Desvio	26.3%	27.2%	21.4%	21.7%	23.7%	22.9%

Conteinerero

	Modelo			Almirantado		
	Modelo 1	2	Cwa	Almirantado	Labes	Holtrop
Média	15.4%	34.2%	19.1%	16.8%	16.7%	20.7%
Máximo	34.0%	65.6%	39.6%	34.2%	32.2%	46.8%
Desvio	10.5%	22.7%	11.6%	11.6%	10.2%	15.1%

ANEXO H: Análises estatísticas de cada modelo analisado

Conteineir

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-37484.8	13902.59	-2.69624	0.024544
W [t]	0.581898	0.062565	9.300735	6.52E-06
Vs [kt]	-234.074	719.5486	-0.32531	0.752384
Fn	164580.8	86735.54	1.897501	0.090248

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-17084.7	2723.905	-6.27213	9.24E-05
VsL	5.577797	3.110182	1.793399	0.103155
Bt	71.32378	34.38723	2.074136	0.064833

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-1428.4	870.0064	-1.64183	0.128878
x	0.010133	0.000307	33.05344	2.32E-12

Graneleiro

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-6868.29	14767.26	-0.4651	0.645217
W [t]	0.033984	0.018012	1.886792	0.0689
Vs [kt]	1815.534	940.6362	1.930113	0.063095
Fn	-65188.7	56610.54	-1.15153	0.258609

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-3278.08	3544.922	-0.92472	0.362252
VsL	4.267285	2.038234	2.093619	0.044568
BT	3.895766	6.948538	0.56066	0.57906

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	4313.878	1950.514	2.211662	0.034252
x	0.004326	0.000763	5.670561	2.82E-06

Cruzeiro

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-25010.4	46460.63	-0.53831	0.609734
W [t]	0.311546	1.579747	0.197213	0.850172
Vs [kt]	7056.577	6070.443	1.162448	0.289195
Fn	-341637	431914.3	-0.79098	0.459069

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-25115.9	7989.581	-3.14358	0.016297
Vsl	19.11084	3.315945	5.763318	0.000689
BT	-31.5291	67.00491	-0.47055	0.652272

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-7512.14	2993.823	-2.50921	0.036416
x	0.021028	0.001601	13.13169	1.08E-06

RoRo

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-24620.3	4824.253	-5.10344	4.1E-05
W [t]	-0.0406	0.083976	-0.48344	0.63356
Vs [kt]	2342.652	667.6405	3.508851	0.001982
Fn	-25669.5	42964.3	-0.59746	0.556299

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-4702.2	4385.011	-1.07234	0.294692
VsL	6.620944	2.108572	3.140013	0.00459
BT	-16.7314	13.30947	-1.2571	0.221333

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	7058.526	1471.364	4.797267	6.95E-05
x	0.003499	0.0011	3.179459	0.004036

Tanque

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-2324.29	9353.434	-0.2485	0.805089
W [t]	0.003429	0.018058	0.189863	0.850427
Vs [kt]	4323.76	953.8781	4.532823	5.65E-05
Fn	-298753	85116.65	-3.50992	0.001172

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-10338	3785.328	-2.73107	0.00943
vsl	7.031598	1.855196	3.790218	0.00051
BT	1.561328	5.524715	0.282608	0.778972

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	6475.325	1661.485	3.897312	0.000362
x	0.004304	0.000586	7.339085	6.35E-09

Carga Geral

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-8809.41	3555.905	-2.4774	0.021816
W [t]	0.00958	0.065775	0.145647	0.885589
Vs [kt]	2239.982	714.7252	3.134047	0.005013
Fn	-82718.3	59405.81	-1.39243	0.178363

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-1495.84	3038.075	-0.49236	0.62734
vs*I	7.924539	1.15861	6.839695	7.17E-07
BT	-56.0054	34.82297	-1.60829	0.12203

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	1299.83	517.5766	2.511377411	0.019498
X	0.007772	0.000591	13.14900289	3.49E-12

ANEXO I: Análises estatísticas de cada modelo analisado com dados revisado.

Graneleiro				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-5069,672	5001,372	-1,014	0,319
W [t]	0,033	0,006	5,568	0,000
Vs [kt]	1509,953	299,207	5,047	0,000
Fn	-52837,707	18752,372	-2,818	0,009
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-1106,029	1168,092	-0,947	0,352
VsL	2,886	0,669	4,316	0,000
BT	6,659	2,315	2,876	0,007
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	4268,926	829,630	5,146	0,000
K	0,004	0,000	12,412	0,000

Cruzeiro				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-69498,768	78712,548	-0,883	0,442
W [t]	0,532	1,838	0,290	0,791
Vs [kt]	8334,174	7274,441	1,146	0,335
Fn	-299790,928	604422,162	-0,496	0,654
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-47475,975	17477,058	-2,716	0,053
Vsl	18,431	3,535	5,215	0,006
BT	81,666	104,390	0,782	0,478
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-13617,506	3750,077	-3,631	0,015
k	0,023	0,002	13,751	0,000

Tanques				
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	330,735	9387,405	0,035	0,972
W [t]	0,000	0,018	0,006	0,996
Vs [kt]	3617,106	1065,856	3,394	0,002
Fn	-240710,792	92505,411	-2,602	0,013
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-5046,528	4059,090	-1,243	0,222
vsl	7,433	1,739	4,273	0,000
BT	-6,976	5,939	-1,174	0,248
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	11354,469	2009,650	5,650	0,000
k	0,003	0,001	3,857	0,000

ANEXO J: Análise comparativa entre os diferentes modelos analisados revisados.

Container

	Modelo 1	Modelo 2	Cwa	Almirantado	Almirantado Labes	Holtrop
Média	15,4%	34,2%	19,1%	16,8%	16,7%	20,7%
Máximo	34,0%	65,6%	39,6%	34,2%	32,2%	46,8%
Desvio	10,5%	22,7%	11,6%	11,6%	10,2%	15,1%

Graneleiro

	Modelo 1	Modelo 2	Cwa	Almirantado	Almirantado Labes	Holtrop
Média	8,1%	4,8%	11,4%	17,0%	27,2%	18,7%
Máximo	33,4%	32,8%	84,9%	69,8%	83,0%	111,3%
Desvio	9,3%	9,0%	22,3%	20,3%	22,5%	27,1%

Cruzeiro

	Modelo 1	Modelo 2	Cwa	Almirantado	Almirantado Labes	Holtrop
Média	55,6%	37,1%	14,8%	13,4%	17,5%	27,3%
Máximo	121,6%	89,6%	139,1%	35,5%	28,6%	48,6%
Desvio	33,9%	26,8%	47,5%	13,9%	6,5%	19,8%

RoRo

	Modelo 1	Modelo 2	Cwa	Almirantado	Almirantado Labes	Holtrop
Média	11,4%	21,0%	25,6%	37,8%	36,9%	25,7%
Máximo	87,2%	107,9%	83,1%	109,3%	73,2%	112,1%
Desvio	20,0%	31,7%	22,4%	32,4%	17,4%	24,2%

Tanque

	Modelo 1	Modelo 2	Cwa	Almirantado	Almirantado Labes	Holtrop
Média	7,2%	7,2%	7,9%	15,1%	15,0%	15,6%
Máximo	28,7%	28,6%	66,4%	44,6%	49,2%	59,8%
Desvio	7,1%	7,0%	11,4%	10,5%	11,5%	12,4%

Carga Geral

	Modelo 1	Modelo 2	Cwa	Almirantado	Almirantado Labes	Holtrop
Média	32,1%	37,6%	28,1%	29,9%	22,9%	29,6%
Máximo	85,0%	107,7%	68,9%	83,7%	82,1%	80,8%
Desvio	26,3%	27,2%	21,4%	21,7%	23,7%	22,9%