

ESCOLA NAVAL

**DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DA CLASSE
ENGENHEIROS NAVAIS RAMO DE MECÂNICA**



Otimização da Utilização da Energia a Bordo

Marco André Nobre Antunes

**MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS ENGENHARIA
NAVAL RAMO DE MECÂNICA**

2013

ESCOLA NAVAL

**DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DA CLASSE
ENGENHEIROS NAVAIS RAMO DE MECÂNICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES
NAVAIS**

Otimização da Utilização da Energia a Bordo

O Mestrando,
(assinado no original)

ASPOF EN-MEC Nobre

Antunes

O Orientador
(assinado no original)

ENG. Jorge Antunes

“Aprender sem pensar é tempo perdido.”

Confúcio

AGRADECIMENTOS

Quero endereçar os meus agradecimentos:

À minha família e amigos que me apoiaram durante o período em que estive envolvido na realização desta dissertação, ajudando-me sempre que possível, e compreendendo todo o tempo em que não pude estar com eles.

Ao Departamento de Formação de Engenheiros Navais, ramo de Mecânica da Escola Naval, pelo apoio, preocupação e disponibilidade demonstradas.

Aos organismos que prontamente disponibilizaram informação e dados para a investigação desenvolvida durante esta dissertação de mestrado: N.R.P. Viana do Castelo e Direção de Navios.

Ao CFR EN-MEC Reboucho Antunes pelo apoio concedido e por ser a “chave de ignição”, a força motivadora desta dissertação.

Ao meu Tutor, o Eng. Jorge Antunes por todo o apoio demonstrado, pela orientação dada e pela disponibilidade para ajudar e responder às minhas questões durante a realização da dissertação.

DEDICATÓRIA

POR FAZEREM DE MIM O QUE SOU HOJE DEDICO ESTA DISSERTAÇÃO,
À MINHA MÃE POR TUDO;
AO MEU AVÔ JOSÉ NOBRE E MINHA PRIMA SANDRA NOBRE POR SEREM
UM PILAR NA MINHA VIDA;
À ELIZABETE MONTEIRO POR TODO O CARINHO;
AO FILIPE BORBINHA POR TODO O APOIO E COMPREENSÃO
DEMONSTRADOS;
À MINHA FAMÍLIA PELO AMOR QUE ME DÃO;
AOS MEUS AMIGOS, POR TEREM SIDO INFLUÊNCIAS POSITIVAS NA
MINHA VIDA;
AO MEU CURSO PADRE FERNANDO OLIVEIRA POR ME APOIAREM
DURANTE ESTES CINCO ANOS DE ESCOLA NAVAL.

RESUMO

O consumo de combustíveis tem um peso determinante no custo total das missões desenvolvidas pela Marinha Portuguesa, pelo que a presente dissertação de mestrado se reveste de interesse no que diz respeito à poupança de combustível, com as vantagens evidentes, bem como na redução da pegada carbónica das operações do navio.

Assim, este trabalho surge da necessidade de investigar metodologias para conhecer e reduzir os consumos energéticos a bordo de navios de guerra.

Com a finalidade de realizar uma otimização energética, foi selecionado um navio modelo, sendo realizados vários estudos, analisando as condições de funcionamento e características dos vários sistemas conversores de energia, destacando o propulsor, a energia elétrica e a energia térmica, com o objetivo de avaliar os consumos energéticos e o rendimento global, ou seja, o balanço da energia que é convertida e utilizada a bordo em cada um dos sistemas mencionados.

Foram desenvolvidos quatro simuladores na ferramenta “MATLAB” onde, em três deles, é simulado o comportamento energético do navio modelo, podendo o quarto simulador ser utilizado para outros navios.

Para efetuar estas simulações é necessário a introdução de algumas condições iniciais, como as características do próprio navio, a velocidade a que este se desloca, a marcação e intensidade do vento a que está sujeito, bem como as características dos hélices e respetivos motores propulsores. Através destes simuladores foi possível obter um balanço global e específico, para alguns equipamentos, dos seus consumos e rendimentos energéticos.

Após o desenvolvimento dos simuladores, os mesmos foram submetidos à validação por comparação com dados retirados do navio modelo real, permitindo identificar áreas de melhoria, de forma a reduzir o erro entre os modelos e o modelo físico, isto é, o navio real.

Desta forma, pretendeu-se melhorar os conhecimentos ao nível dos processos de conversão e consumo de energia do navio modelo, desenvolvendo uma ferramenta de preparação de viagem, tendo em conta as condições meteorológicas e as vertentes energético-ambientais das operações do navio modelo, ou de qualquer outro navio da Marinha Portuguesa.

Palavras-Chave: Marinha Portuguesa, Navio, Energia, Simulador.

ABSTRACT

Fuel consumption has a significant weight on the cost of missions undertaken by the Portuguese Navy. This dissertation is focused precisely on the advantages drawn by fuel savings on ships' operations and overall carbon footprint reduction.

This dissertation is justified by the need to develop methods to better understand and decrease energy consumption on board warships.

In order to perform an energy optimization study, a baseline model ship was selected. The undertaken studies focused on analyzing operational conditions and characteristics of the various power systems converters, with special emphasis on the propellant, electric energy and thermal energy, with the purpose of evaluating energy consumption and overall yield, i.e., measuring the balance of the energy that is converted and used on board in each of the aforementioned systems.

Four simulators were developed using "MATLAB" tool; three were used to simulate the energy behavior of the baseline model ship and an additional one for other ships.

To perform these simulations it was necessary to introduce some initial assumptions, such as the characteristics of the ship itself, the speed at which the ship moves, the intensity of the wind that it is subject to, as well as the characteristics of the respective propellers and propeller engines. Through this simulator it was possible to obtain both a specific and global understanding of energy consumption and utilization for a set of equipments.

Following the simulators' development, they were subjected to validation by comparing data from the real baseline model ship, allowing the identification of areas in need of improvement, reducing the errors between the simulation model and the actual physical model, i.e., the actual ship.

Therefore, the goal of this dissertation was to improve the level of knowledge of conversion processes and energy consumption of the baseline model ship, developing a travel planning tool that would take into account the weather and the environmental energy aspects of the operations of the baseline model ship or any other ship of the Portuguese Navy.

Keywords: Portuguese Navy, Ship, Energy, Simulator.

LISTA DE ACRÓNIMOS

BB	Bombordo
BN	Número de Beaufort
BAR	Blade Area Ratio
CCW	Counterclockwise
CODOL	Combined Diesel Or Electrical
CPP	Control Pitch Propeller
CW	Clockwise
DE	Diesel Engine
DN	Direção de Navios
EB	Estibordo
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEIN	Espaço Estratégico de Interesse Nacional
EEOI	Energy Efficiency Operational Indicator
EM	Electric Motor
EN	Escola Naval
GB	Gear Box
HPV	Hélices de Passo Variável
IMO	International Maritime Organization
IP	Instalação Propulsora
IPMS	Integrated Platform Management System
ISO	International Organization for Standardization
ITTC	The International Towing Tank Conference
kW	Quilowatt
MARPOL	The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
MATLAB	MATrix LABoratory
MD	Motor Diesel
ME	Motor Elétrico
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NPO	Navios de Patrulha Oceânica
NM	Nautical Miles

NRP	Navio da República Portuguesa
SIGP	Integrated Platform Management System
SL	Shaft Line
VEEO	Voyage Energy & Emissions Optimiser
WECS	Wartsila Engine Control System

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Uso global de energia por setores (Annual Energy Outlook 2012, 2012)	23
Figura 2 - Relação da percentagem dos gastos existentes no navio modelo.....	24
Figura 3 – Parâmetros geométricos de um navio.....	28
Figura 4 – Ilustração do passo e do ângulo do passo	31
Figura 5 – Velocidade de esteira em função do ângulo de ataque	32
Figura 6 – Velocidades de esteira e de referência.....	33
Figura 7 – Curvas de um hélice	34
Figura 8 – Perdas num motor Diesel	39
Figura 9 – Limites de um motor Diesel.....	40
Figura 10 – Esquema fase exploratória	45
Figura 11 – Esquema fase analítica	47
Figura 12 – Esquema fase conclusiva	47
Figura 13 – Interações energéticas “Navio / Ambiente”.....	53
Figura 14 – Determinação de qual o melhor rendimento do hélice para uma determinada curva característica do navio	59
Figura 15 – Entradas, botões e saídas do simulador 1	64
Figura 16 – Fluxograma do simulador 1 (Parte1).....	65
Figura 17 - Fluxograma do simulador 1 (Parte2)	66
Figura 18 - Entradas, botões e saídas do simulador 2	67
Figura 19 - Fluxograma do simulador 2 (Parte1)	67
Figura 20 - Fluxograma do simulador 2 (Parte2)	68
Figura 21 - Entradas, botões e saídas do simulador 4	69
Figura 22 - Fluxograma do simulador 4 (Parte1)	70
Figura 23 - Fluxograma do simulador 4 (Parte2)	70
Figura 24 – SIGP, Instalação propulsora.....	72
Figura 25 – SIGP, Tanques	72
Figura 26 - WECS.....	72
Figura 27 – Caudalímetro de admissão	73
Figura 28 – Caudalímetro de retorno	73
Figura 29 – Carga em função do consumo específico do gerador.....	96
Figura 30 – Carga em função da potência do gerador	96
Figura 31 – Coeficiente de resistência residual em função do rácio de velocidade-comprimento	97
Figura 32 – Perdas na transmissão em função da velocidade do navio.....	97
Figura 33 – Perdas na transmissão com veio arrastado em função da velocidade do navio.....	98
Figura 34 – Binário em função do consumo específico dos motores Diesel	98
Figura 35 – Binário em função da carga dos motores Diesel	99
Figura 36 – Potência fornecida pelos geradores em função da transmitida ao veio pelos motores elétricos.....	99
Figura 37 – Rotação dos turbocompressores em função da potência dos MD.....	100

Figura 38 – Velocidade em função da resistência do navio a navegar com 2MD	100
Figura 39 – Velocidade em função da resistência do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado	101
Figura 40 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 para 2MD	122
Figura 41 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 2MD	122
Figura 42 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 2MD.....	123
Figura 43 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 com a resistência deduzida para 2MD	123
Figura 44 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 2MD	124
Figura 45 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 2MD	124
Figura 46 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar, dos simuladores e dos dados retirados a navegar para 2MD.....	125
Figura 47 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 2MD	125
Figura 48 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 2MD	126
Figura 49 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17.5 nós (1)	126
Figura 50 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17.5 nós (2)	127
Figura 51 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17.5 nós (3)	127
Figura 52 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17 nós (1).....	128
Figura 53 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17 nós (2).....	128
Figura 54 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17 nós (3).....	129
Figura 55 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16.5 nós (1)	129
Figura 56 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16.5 nós (2)	130
Figura 57 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16.5 nós (3)	130
Figura 58 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16 nós (1).....	131
Figura 59 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16 nós (2).....	131

Figura 60 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16 nós (3).....	132
Figura 61 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 15.5 nós (1).....	132
Figura 62 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 15.5 nós (2).....	133
Figura 63 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 15.5 nós (3).....	133
Figura 64 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 12 nós (1).....	134
Figura 65 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 12 nós (2).....	134
Figura 66 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 12 nós (3).....	135
Figura 67 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 10.5 nós (1).....	135
Figura 68 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 10.5 nós (2).....	136
Figura 69 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 10.5 nós (3).....	136
Figura 70 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 para 1MD (EB) e um veio arrastado.....	137
Figura 71 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 1MD (EB) e um veio arrastado.....	137
Figura 72 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 1MD (EB) e um veio arrastado.....	138
Figura 73 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (EB) e um veio arrastado.....	138
Figura 74 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (EB) e um veio arrastado.....	139
Figura 75 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (EB) e um veio arrastado.....	139
Figura 76 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar, dos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (EB) e um veio arrastado.....	140
Figura 77 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (EB) e um veio arrastado ..	140
Figura 78 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (EB) e um veio arrastado.....	141
Figura 79 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 para 1MD (BB) e um veio arrastado.....	141
Figura 80 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 1MD (BB) e um veio arrastado.....	142
Figura 81 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 1MD (BB) e um veio arrastado.....	142

Figura 82 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (BB) e um veio arrastado	143
Figura 83 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (BB) e um veio arrastado	143
Figura 84 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (BB) e um veio arrastado	144
Figura 85 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar, dos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (BB) e um veio arrastado	144
Figura 86 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (BB) e um veio arrastado ..	145
Figura 87 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (BB) e um veio arrastado	145
Figura 88 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (1) (1)	146
Figura 89 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (1) (2)	146
Figura 90 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (1) (3)	147
Figura 91 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (2) (1)	147
Figura 92 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (2) (2)	148
Figura 93 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (2) (3)	148
Figura 94 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (1) (1)	149
Figura 95 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (1) (2)	149
Figura 96 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (1) (3)	150
Figura 97 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14.1 nós (1)	150
Figura 98 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14.1 nós (2)	151
Figura 99 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14.1 nós (3)	151
Figura 100 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (2) (1)	152
Figura 101 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (2) (2)	152
Figura 102 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (2) (3)	153
Figura 103 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 13 nós (1)	153

Figura 104 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 13 nós (2).....	154
Figura 105 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 13 nós (3).....	154
Figura 106 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.2 nós (1).....	155
Figura 107 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.2 nós (2).....	155
Figura 108 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.2 nós (3).....	156
Figura 109 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.6 nós (1).....	156
Figura 110 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.6 nós (2).....	157
Figura 111 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.6 nós (3).....	157
Figura 112 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar, dos simuladores e dos dados retirados a navegar para 2ME.....	158
Figura 113 – Printscreen simulador 1.....	165
Figura 114 – Printscreen simulador 2.....	166
Figura 115 – Printscreen simulador 3.....	167
Figura 116 – Printscreen simulador 4.....	168
Figura 117 – Desenho da instalação propulsora do “Navio Modelo”.....	170

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros geométricos de um navio	28
Tabela 2 – Valores de “per” e “spe”	41
Tabela 3 – Características do casco e forma do navio modelo.....	49
Tabela 4 – Características do hélice	52
Tabela 5 – Dados das provas de mar do estaleiro para 2MD	103
Tabela 6 – Dados do simulador 1 para 2MD.....	103
Tabela 7 – Dados do simulador 1 com a resistência deduzida para 2MD.....	103
Tabela 8 – Dados recolhidos a navegar para 2MD.....	104
Tabela 9 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17.5 nós.....	104
Tabela 10 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17 nós.....	105
Tabela 11 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16.5 nós.....	106
Tabela 12 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16 nós.....	107
Tabela 13 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 15.5 nós.....	108
Tabela 14 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 12 nós.....	109
Tabela 15 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 10.5 nós.....	110
Tabela 16 – Dados das provas de mar do estaleiro para 1MD (EB) e um veio arrastado .	110
Tabela 17 – Dados das provas de mar do estaleiro para 1MD (BB) e um veio arrastado.	110
Tabela 18 – Dados do simulador 1 para 1MD e um veio arrastado	111
Tabela 19 – Dados do simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD e um veio arrastado.....	111
Tabela 20 – Dados recolhidos a navegar para 1MD (EB) e um veio arrastado	111
Tabela 21 – Dados recolhidos a navegar para 1MD (BB) e um veio arrastado	111
Tabela 22 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (1)	112
Tabela 23 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (2)	113
Tabela 24 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (1)	114
Tabela 25 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14.1 nós	115
Tabela 26 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (2)	116

Tabela 27 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 13 nós	117
Tabela 28 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.2 nós	118
Tabela 29 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.6 nós	119
Tabela 30 – Dados das provas de mar do estaleiro para 2ME.....	120
Tabela 31 – Dados do simulador 1 para 2ME	120
Tabela 32 – Dados do simulador 1 com a resistência deduzida para 2ME	120
Tabela 33 – Coeficientes para os valores de KT - séries de Wageningen.....	160
Tabela 34 – Coeficientes para os valores de KQ - séries de Wageningen	161
Tabela 35 – Coeficientes para os valores de ΔKT - séries de Wageningen	162
Tabela 36 – Coeficientes para os valores de ΔKQ - séries de Wageningen.....	162
Tabela 37 – Valores de “m” e “n” segundo Aertssen.....	163

LISTA DE EQUAÇÕES

<i>EQUAÇÃO</i> (2. 1) – Resistência total	29
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 2) – Resistência residual.....	29
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 3) – Resistência atrito.....	30
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 4) – Coeficiente atrito.....	30
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 5) – Reynolds	30
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 6) – Correção resistências	30
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 7) – Potência efetiva.....	30
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 8) – Variação de velocidade – Vento	31
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 9) – Variação de resistência – Vento.....	31
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 10) – Variação de potência - Vento.....	31
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 11) – Ângulo do passo.....	32
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 12) – Raio do passo	32
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 13) – Ângulo do passo.....	32
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 14) – Velocidade de esteira	32
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 15) – Velocidade de esteira	33
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 16) – Comprimento da secção cilíndrica / diâmetro	33
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 17) – Coeficiente de impulso	34
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 18) – Coeficiente de binário.....	34
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 19) – Coeficiente de avanço.....	34
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 20) – Rendimento do hélice em águas abertas	35
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 21) – Potência de impulso	35
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 22) – Potência do hélice em águas abertas.....	35
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 23) – Rendimento do hélice em águas abertas	35
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 24) – Fator de esteira.....	35
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 25) – Fator de dedução de impulso	35
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 26) – Rendimento rotação relativa	36
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 27) – Potência do hélice	36
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 28) – Rendimento da propulsão	36
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 29) – Potência fornecida aos hélices	36
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 30) – Rendimento da propulsão	36
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 31) – Rendimento do casco	37
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 32) – Rendimento do veio	37
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 33) – Rendimento da caixa redutora	37
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 34) – Relação de transmissão da caixa redutora	38
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 35) – Potência motor	38
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 36) – Rendimento motor	38
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 37) – Energia combustível	38
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 38) – Consumo específico combustível	40

<i>EQUAÇÃO</i> (2. 39) – Consumo por milha náutica	40
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 40) – Rácio Emissão Poluentes	41
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 41) – Emissão específica de poluentes	41
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 42) – Emissão de poluentes por milha náutica	41
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 43) – Densidade combustível	42
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 44) – EEOI	42
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 45) – EEOI	43
<i>EQUAÇÃO</i> (2. 46) – EEOI	43
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 1) – Consumo combustível.....	55
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 2) – Potência fornecida aos hélices	55
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 3) – Fator de esteira	56
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 4) – Fator de dedução de impulso	56
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 5) – Veocidade de esteira	56
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 6) – Impulso	56
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 7) – Coeficiente de impulso	57
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 8) – Coeficiente de binário	57
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 9) – Correção ao Coeficiente de impulso	58
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 10) – Correção ao Coeficiente de binário.....	58
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 11) - Reynolds	58
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 12) – Curva característica do navio.....	59
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 13) – Rendimento da rotação relativa.....	59
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 14) – Rendimento do veio	60
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 15) – Rendimento da caixa redutora	60
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 16) – Rendimento do motor	61
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 17) – Rendimento do motor elétrico	61
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 18) – Rendimento total – GE	61
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 19) – Consumo total.....	62
<i>EQUAÇÃO</i> (6. 20) – Rendimento total.....	62

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iv
DEDICATÓRIA.....	v
AO MEU CURSO PADRE FERNANDO OLIVEIRA POR ME APOIAREM DURANTE ESTES CINCO ANOS DE ESCOLA NAVAL. RESUMO	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE ACRÓNIMOS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE EQUAÇÕES	xvii
ÍNDICE.....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	23
1.1 OBJETIVOS	26
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	27
2.1 GEOMETRIA DO NAVIO	27
2.2 RESISTÊNCIA	28
2.3 PROPULSORES.....	31
2.4 RESISTÊNCIA E PROPULSORES.....	35
2.4.1 FATOR DE ESTEIRA	35
2.4.2 FATOR DE DEDUÇÃO DE IMPULSO	35
2.4.3 RENDIMENTO DA ROTAÇÃO RELATIVA	36
2.5 PROPULSÃO	36
2.5.1 MOTORES DIESEL	38
2.5.2 RELAÇÃO HÉLICE - MOTOR.....	39
2.6 COMBUSTÍVEL E EMISSÕES	40
2.7 ANÁLISE DA VIAGEM.....	42
2.8 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO	43
3. METODOLOGIAS DE INVESTIGAÇÃO.....	44
3.1 FASE EXPLORATÓRIA	44
3.2 FASE ANALÍTICA	46
3.3 FASE CONCLUSIVA.....	47
4. NAVIO MODELO	48

4.1	CARACTERÍSTICAS DO CASCO E DA FORMA DO NAVIO.....	48
4.2	EQUIPAMENTOS	49
4.3	MOTORES DIESEL PROPULSORES	50
4.4	MOTORES ELÉTRICOS PROPULSORES	51
4.5	GRUPOS ELETROGÊNEOS.....	51
4.6	CAIXAS REDUTORAS.....	51
4.7	LINHAS DE VEIOS E HÉLICES	52
5.	SISTEMA NAVIO	53
6.	MODELAÇÃO MATEMÁTICA DE CONVERSORES DE ENERGIA COM VISTA À SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DO NAVIO	54
6.1	NAVIO ATRACADO	54
6.2	NAVIO A NAVEGAR.....	55
6.2.1	MOTORES DIESEL.....	60
6.2.2	MOTORES ELÉTRICOS	61
6.2.3	NAVIO NO SEU “GLOBAL”	62
7.	SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DO NAVIO	63
7.1	NAVIO MODELO	63
7.1.1	SIMULADOR 1 – GASTOS ENERGÉTICOS E EMISSÕES.....	63
7.1.2	SIMULADOR 2 e 3 – VELOCIDADE ECONOMICA E ECOLOGICA	66
7.2	QUALQUER NAVIO.....	68
7.2.1	SIMULADOR 4 – GASTOS ENERGÉTICOS E EMISSÕES.....	68
8.	VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO.....	71
8.1	METODO DE RECOLHA DE DADOS	71
8.2	DADOS A RECOLHER.....	73
8.3	RECOLHA DE DADOS	75
8.4	ANÁLISE DOS DADOS.....	75
8.4.1	SIMULADOR 1	76
8.4.2	SIMULADOR 2 E 3	85
8.4.3	SIMULADOR 4	85
9.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	87
9.1	VISÃO GERAL.....	87
9.2	HIPÓTESES E OBJETIVOS CUMPRIDOS	88
9.3	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES.....	89
9.4	LIMITAÇÕES E PROBLEMAS ENCONTRADOS	90

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
APÊNDICE A – GRÁFICOS <i>MICROSOFT EXCEL</i>	95
APÊNDICE B – DADOS PARA VALIDAÇÃO DO SISTEMA FÍSICO NAVIO REAL	102
B.1. TABELAS	103
B.2. GRÁFICOS.....	122
ANEXO A – TABELAS	
ANEXO B – PRINTSCREENS DOS SIMULADORES	
ANEXO C – INSTALAÇÃO PROPULSORA “NAVIO MODELO”	
ANEXO D – CÓDIGO DOS SIMULADORES EM CD-ROM	

1. INTRODUÇÃO

A Energia é claramente um dos principais motores do desenvolvimento de um país tanto a nível económico como político.

Uma vez que Portugal não tem reservas de combustíveis fósseis a serem exploradas e a sua obtenção energética é constituída maioritariamente por estas, este está totalmente à mercê dos sobressaltos dos mercados energéticos internacionais. Nos dias de hoje, devido à constante subida dos preços da energia é de extrema importância estabelecer diretrizes que controlem e limitem os consumos energéticos de modo a garantir que as necessidades de energia primária sejam reduzidas, procurando atingir a sustentabilidade energética sem nunca afetar a eficiência.

As atividades efetuadas no sector energético têm uma importante relevância no ambiente e, em média, 25% da energia total global é usada no sector dos transportes (ver figura 1).

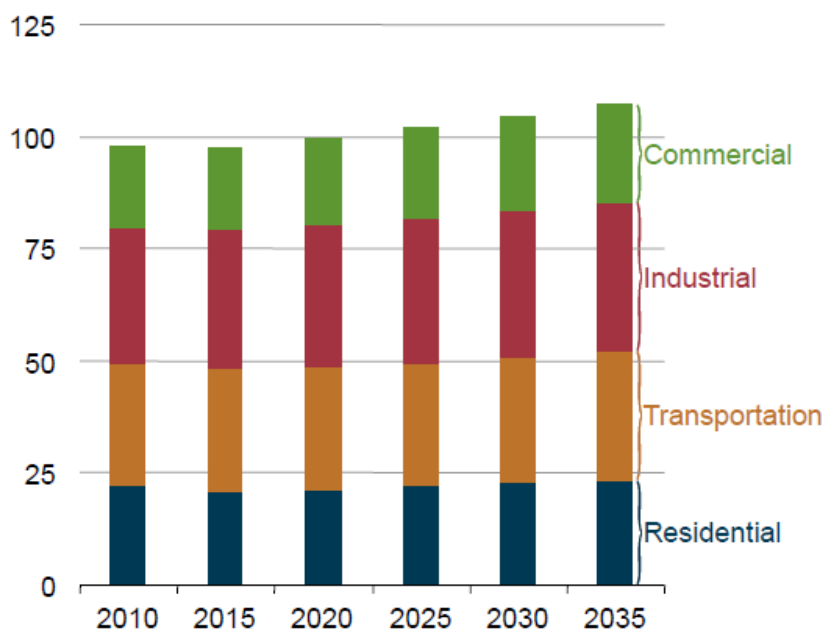


Figura 1 - Uso global de energia por setores (Annual Energy Outlook 2012, 2012)

Na indústria dos transportes, os navios são responsáveis por 3,3% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), ou seja, cerca de mil milhões de toneladas de CO₂ por ano (Annual Energy Outlook 2012, 2012).

Os navios de guerra, pela sua filosofia de conceito, desperdiçam uma quantidade ainda mais significativa de energia que não é contabilizada, provavelmente, devido ao conceito de navio de guerra, mas que com a tecnologia atual poderá ser objeto de uma melhor gestão energética, e logo de uma operação mais económica e amiga do ambiente. Em navios militares, julga-se que a abordagem deste assunto não tem sido uma preocupação, o que fará com que a nossa Marinha seja pioneira no que toca a este tema.

No navio modelo escolhido como modelo físico real para este estudo, o setor onde existe custos mais elevados é no setor dos combustíveis e lubrificantes, como é possível observar na figura 2.

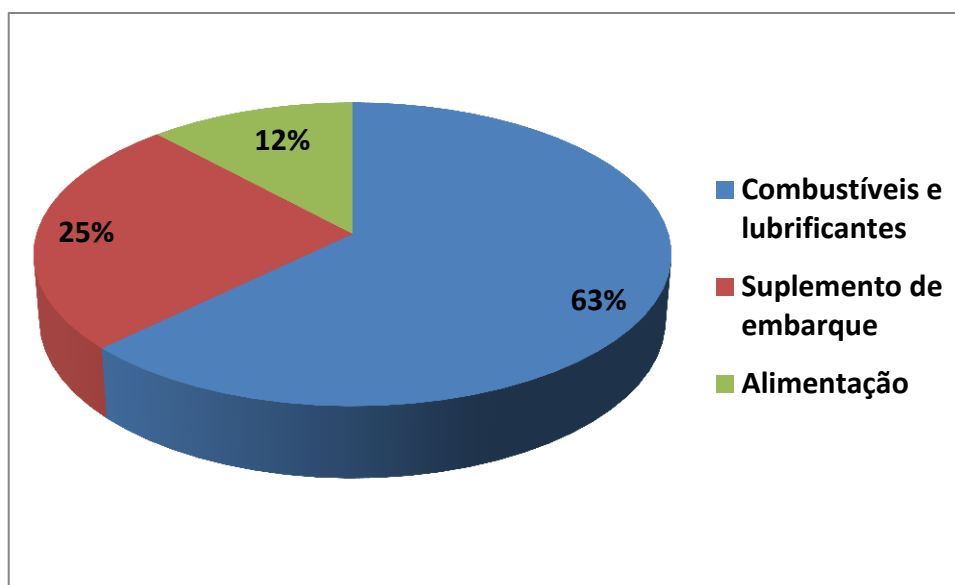


Figura 2 - Relação da percentagem dos gastos existentes no navio modelo

Visto que o setor dos combustíveis e lubrificantes é o mais dispendioso, se houver uma redução nos consumos a este nível, existe consequentemente a redução nos custos de operação do navio. Esta redução poderá ser obtida através da otimização energética, quer em termos de operação, quer em termos de projeto.

A otimização energética é o processo segundo o qual, com base em medições de consumos e desempenho dos sistemas, se obtém o consumo de energia primária (no caso dos navios, gasóleo) e, por consequência, se diminui a pegada carbónica do navio. Tais resultados obtêm-se por aproveitamentos das correntes de calor, no caso da energia térmica, otimização da instalação propulsora, e por adoção de diferentes procedimentos operacionais.

As emissões de gases poluentes estão diretamente ligadas à degradação ambiental do nosso planeta. Como medidas de salvaguarda deste, foram criados protocolos e convenções, como o Protocolo de Quioto, que visam minimizar estas emissões.

No que diz respeito aos navios, é a IMO (*International Maritime Organization*) quem lidera os esforços para reduzir as emissões de gases poluentes, desenvolvendo a legislação necessária e diretivas operacionais, tendo em conta as preocupações ambientais já referidas, e sempre através de uma perspetiva económica. (About IMO, 2013)

A MARPOL (*The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*) é a principal convenção internacional sobre a prevenção da poluição dos ambientes marinhos. Esta convenção contém regulamentos dirigidos à prevenção e minimização da poluição proveniente dos navios, seja ela acidental ou rotineira. A MARPOL ANEXO VI define claramente regras e limites internacionais para a otimização da energia a bordo de navios e a respetiva poluição atmosférica.

Tais regras aplicam-se a todos os navios na fase de projeto, obrigando à definição do denominado EEDI, *Energy Efficiency Design Index*, para todos os navios com mais de 400 toneladas (Ton) de porte bruto, cuja quilha tenha sido assente depois de 1 de Janeiro de 2013; para os navios existentes, define o *Energy Efficiency Operational Index* (EEOI) normalmente em toneladas de dióxido de carbono por toneladas de carga em cada milha náutica $\left(\frac{\text{Ton } CO_2}{\text{Ton carga} \cdot \text{NM}}\right)$. (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL), 2013)

A evolução da engenharia e das preocupações ambientais das últimas décadas originaram o desenvolvimento de vários sistemas e metodologias, com vista a encontrar soluções de otimização energética que contribuam simultaneamente para a redução de emissões de gases poluentes (gases com efeito de estufa, principalmente o CO₂, e gases que deterioram a camada de ozono).

O “*Voyage Energy & Emissions Optimiser*” (VEEO) é resultante desta evolução. É um produto recentemente desenvolvido pela empresa Portuguesa “Tecnoveritas”, com o principal objetivo de otimizar a energia a bordo de um navio, através do desempenho dos diversos sistemas conversores de energia de bordo, como sejam: motores principais e respetiva instalação propulsora, caldeiras, geradores e casco.

1.1 OBJETIVOS

Foram definidos os seguintes objetivos:

1. Modelação matemática dos principais conversores de energia¹ a bordo de um navio;
2. Simulação do comportamento energético de um navio, através dos modelos desenvolvidos;
3. Desenvolver uma ferramenta de preparação de viagem, tendo em conta as condições meteorológicas e a vertente energética e ambiental para os vários modos de operação;
4. Através da ferramenta desenvolvida conseguir com que as patrulhas sejam realizadas de forma mais económica e ecológica, sendo que o estado através da Marinha dá o exemplo;
5. Efetuar a caracterização energética do navio modelo, de acordo com as metodologias existentes, para os vários regimes de operação do navio;
6. Comparar os dados obtidos pela ferramenta desenvolvida com os dados recolhidos a bordo e, desta forma, validar os modelos matemáticos desenvolvidos.
7. Identificar possíveis medidas que permitam reduzir os consumos energéticos, com incidência nas potências;
8. Sugerir recomendações de melhoria com base nas não conformidades detetadas.

¹ Conversores de energia são máquinas capazes de transformar ou converter um tipo de energia noutra.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Um navio é um sistema bastante complexo ao nível da engenharia. Este é constituído por sistemas, tanto mecânicos como elétricos, tais como:

- Instalação propulsora;
- Sistema de distribuição e produção de energia;
- Sistema de distribuição e tratamento de combustível;
- Sistema de distribuição e aquecimento de água (inclui sistema de combate a incêndios);
- Sistema de ventilação e ar condicionado;
- Sistema de produção de frio;

Em termos gerais um navio funciona através da integração ou operação conjunta destes sistemas de forma a navegar, a garantir condições de habitabilidade para a tripulação e a desempenhar uma determinada missão.

Para realizar uma otimização energética de um navio é necessário conhecer a geometria do navio, os sistemas acima mencionados, bem como o seu perfil de operação.

2.1 GEOMETRIA DO NAVIO

Os parâmetros apresentados na seguinte tabela são essenciais para o cálculo da resistência do navio:

Calado médio (T_m) – Distância vertical média desde o ponto da face interior da quilha ao plano de flutuação (Figura 3);
Caimento – Inclinação da linha de construção relativamente à linha base (Figura 3);
Deslocamento (Δ) - Peso de água deslocado pelo navio com um determinado calado.
Coefficiente de bloco (C_B) $C_B = \frac{\nabla}{L_{BP} \cdot B \cdot T}$

<p>Coeficiente prismático (C_P)</p> $C_P = \frac{\nabla}{L_{BP} \cdot A_m}$
<p>Comprimento ao nível da linha de água (LWL) (Figura 3);</p>
<p>Comprimento entre perpendiculares (L_{BP}) (Figura 3);</p>
<p>Área da secção mestra (A_m) (Figura 3);</p>
<p>Área de superfície molhada (S)</p>
<p>Boca (B) – Largura da secção mestra medida no plano transversal (Figura 3);</p>
<p>Centro longitudinal de flutuabilidade (LCB)</p>

Tabela 1 – Parâmetros geométricos de um navio

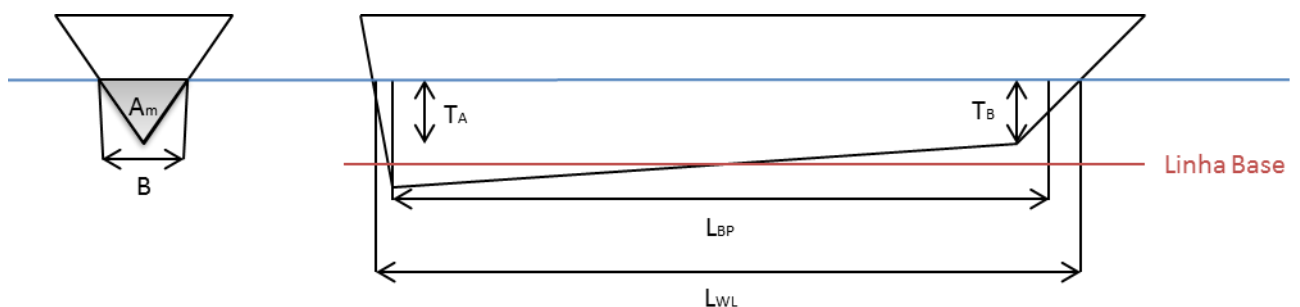


Figura 3 – Parâmetros geométricos de um navio

2.2 RESISTÊNCIA

O navio ao navegar no mar está sujeito a uma força designada por resistência. Esta força é a que a instalação propulsora do navio necessita de superar para navegar. Abaixo do nível da água, a resistência total é constituída por (Woud & Stapersma, 2012, p. 51) (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, pp. 12-16):

- Resistência por atrito, soma das forças tangências que atuam no casco do navio, devido à viscosidade;

- Resistência por pressão, soma das forças normais que atuam no casco do navio, devido às ondas produzidas pela navio e parcialmente à viscosidade;

Já acima da linha de água, a resistência total tem como constituinte:

- Resistência ao ar, força exercida pelo vento na estrutura do navio acima da linha de água;

A resistência pode ser prevista com vários graus de precisão, utilizando não só métodos teóricos, estatísticos ou experimentais, mas também uma combinação destes.

William Froude, em 1870, teve a iniciativa de estudar a resistência através de modelos e desenvolveu os primeiros teoremas aceites (Froude, 1872) (Froude, 1874). Os conhecimentos nesta área eram muito limitados e eram todos desenvolvidos com base na “tentativa erro”. Com base nos estudos desenvolvidos por Froude postulou-se que a resistência total é igual à soma da resistência residual mais a resistência por atrito e a correcção destes valores, sendo esta segunda mais relevante que a primeira (Molland, Turnock, & Hudson, 2011) (Woud & Stapersma, 2012).

$$R_T = R_R + R_F + R_A \quad (2.1)$$

A resistência residual e por atrito são funções do número de Reynolds² e do número de Froude³ e são obtidos através de testes com modelos de navios num tanque de provas.

A resistência residual pode ser calculada a partir do seu coeficiente, pela equação (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, pp. 35-36):

$$R_R = C_R \cdot \frac{1}{2} \cdot S \cdot \rho \cdot V^2 \quad (2.2)$$

Sendo,

S = Área de superfície molhada (m^2);

V = Velocidade de superfície (m/s);

ρ = Densidade da água do mar;

O coeficiente de resistência residual assume vários valores em função do rácio da velocidade (V/\sqrt{LWL}), aumentando de forma exponencial em função deste (Gillmer,

² O número de Reynolds é um dos parâmetros dimensionais mais importantes da Mecânica dos Fluidos. É amplamente utilizado na análise da semelhança dinâmica entre modelos e protótipos e na separação dos escoamentos laminar e turbulento. (Çengel & Turner, 2001)

³ O número de Froude pode ser interpretado como o rácio entre a inércia e a força da gravidade no fluido, o que permite avaliar se o movimento do navio ocorre com baixa ou alta velocidade. (Licker, 2007)

1972). A resistência por atrito deduzida por Froude pode ser obtida através do coeficiente de atrito (C_F). Segundo a International Towing Tank Conference (ITTC⁴), é dada pelas seguintes fórmulas (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, p. 35 e 78):

$$R_F = C_F \cdot \frac{1}{2} \cdot S \cdot \rho \cdot V^2 \quad (2.3)$$

Onde,

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} R_e - 2)^2} \quad (2.4)$$

$$R_e = \frac{V \cdot LWL}{\nu} \quad (2.5)$$

R_e = Número de Reynolds;

ν = Viscosidade;

LWL = Comprimento ao nível da linha de água.

Tanto a resistência residual como a resistência de atrito são obtidas através de testes com modelos de navios. Sendo assim, é necessário efetuar uma correção a esses valores, R_A , dada por (Gillmer, 1972):

$$R_A = 0.0004 \cdot \frac{1}{2} \cdot S \cdot \rho \cdot V^2 \quad (2.6)$$

A resistência total do navio está diretamente relacionada com a sua potência. A potência efetiva de um navio é a capacidade de vencer a resistência do navio a uma determinada velocidade. A potência efetiva do navio representa a potência dos componentes principais, sendo dada pela seguinte equação (Molland, Turnock, & Hudson, 2011) (Woud & Stapersma, 2012):

$$P_E = R_T \times V_S \quad (2.7)$$

Como foi referido anteriormente, acima da linha de água é necessário considerar a resistência do ar. A perda de velocidade, o aumento da resistência total e da potência devido não só ao vento como à altura das ondas, podem ser obtidas pelas fórmulas abaixo mencionadas (van Berlekom, 1981, pp. 123-134) (Townsin & Kwon, 1983, pp. 191-209) (Aertssen, 1975, p. 11):

⁴ ITTC – é uma associação voluntária de organizações em todo o mundo que têm responsabilidade de predição do desempenho hidrodinâmico dos navios e instalações navais, com base nos resultados da modelagem física e numérica. (ITTC, 2012)

$$\frac{\Delta V}{V} \times 100\% = \frac{m}{L_{BP}} + n \quad (2.8)$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \left[1 + \frac{\Delta R}{R} \right]^{\frac{1}{2}} - 1 \quad (2.9)$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta V}{V} \right)^3} - 1 \quad (2.10)$$

Os valores de "m" e "n" podem ser obtidos de uma tabela desenvolvida por Aertssen, sabendo a marcação relativa do vento ⁵ e o número de Beaufort⁶ (BN) (ANEXO A, Tabela 37).

2.3 PROPULSORES

O hélice é um dos componentes do aparelho propulsor que converte energia mecânica em impulso. Um navio pode ter um ou dois hélices e em raras exceções três ou quatro. O hélice consiste, normalmente, num conjunto de 2 a 7 pás e cubo ou cone⁷. Este gera impulso através da rotação das pás com um certo ângulo de ataque relativamente ao fluido, ângulo do passo (θ). O passo (P) é a distância que o hélice percorre teoricamente durante uma rotação (ver figura 4) (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, pp. 261-263) (Woud & Stapersma, 2012, pp. 389-390).

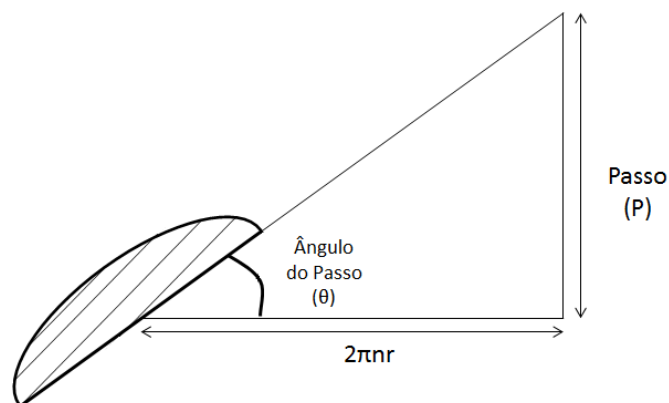


Figura 4 – Ilustração do passo e do ângulo do passo

⁵ Marcação relativa do vento – Ângulo a partir da proa do navio pelo qual o vento incide no navio.

⁶ Número de Beaufort – Classifica a intensidade dos ventos, tendo em conta a sua velocidade e os seus efeitos resultantes no mar e em terra.

⁷ Cubo ou cone – Parte central do hélice onde as pás estão acopladas. Cubo para hélices de passo fixo e cone para hélices de passo controlável. (Molland, Turnock, & Hudson, 2011)

Logo,

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{P}{2\pi r} \right) \quad (2.11)$$

$$r = x \cdot R \quad (2.12)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{P/D}{\pi x} \right) \quad (2.13)$$

Onde:

r = Raio da secção do hélice;

R = Raio do hélice;

x = Secção eficiente da pá;

D = Diâmetro do hélice;

Consoante o ângulo de ataque o hélice vai deslocar-se com uma maior ou menor velocidade, designada por velocidade de esteira (V_A) (ver figura 5).

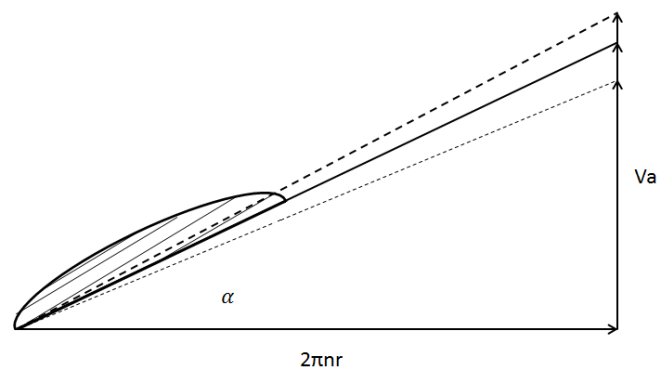


Figura 5 – Velocidade de esteira em função do ângulo de ataque

A velocidade de esteira depende da velocidade de referência (V_R), do raio da secção do hélice (r em metros) e da rotação (n em rps) (ver figura 6):

$$V_A = \sqrt{V_R^2 - (2\pi \cdot n \cdot r)^2} \quad (2.14)$$

$$V_A = \sqrt{V_R^2 - (x \cdot \pi \cdot n \cdot D)^2} \quad (2.15)$$

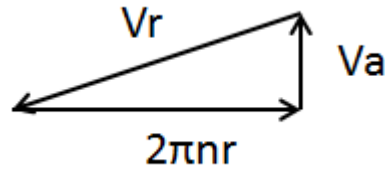


Figura 6 – Velocidades de esteira e de referência

Até agora só se teve em conta o ângulo de ataque. No entanto existem outros fatores muito importantes e de grande influência no rendimento do hélice, como a área da pá e o comprimento da secção cilíndrica. A área da pá é normalmente apresentada como rácio, logo, é não dimensional e é definida como *BAR*, “Blade Area Ratio” (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, pp. 264-265). O comprimento da secção cilíndrica (*c* em metros) pode ser relacionado com o *BAR*, por intermédio de uma aproximação feita com base nas séries de Wageningen (ver capítulo 6.2) e considerando $x = 0.7$ (Van Lammeren, Van Manen, & Oosterveld, 1969, pp. 269-317).

$$\left(\frac{c}{D}\right)_{0.7R} = X_2 \times BAR \quad (2.16)$$

Onde $X_2 = 0.747$ para três pás, $X_2 = 0.520$ para quatro pás e $X_2 = 0.421$ para cinco pás.

Existem vários tipos de propulsores. Contudo, no âmbito deste trabalho distinguir-se-ão dois tipos de hélice, os de passo fixo e os de passo controlável (Woud & Stapersma, 2012, pp. 178-181), porque são os mais comuns na Marinha Portuguesa.

- Hélice de passo fixo – o passo, apesar de não ser constante ao longo do da pá, é fixo porque as pás estão presas ao cubo.
- Hélice de passo controlável – as pás não estão fixas ao cubo logo é possível rodá-las sobre o seu eixo, através de um sistema hidráulico contido no propulsor, variando assim o passo e consequentemente o ângulo de ataque.

O rendimento do hélice é estimado numa primeira fase a partir de testes em águas abertas, onde os resultados são geralmente representados como gráficos do coeficiente de

impulso (K_T) e do coeficiente de binário (K_Q) em função do coeficiente de avanço (J) (ver figura 7) (Woud & Stapersma, 2012, pp. 394-396) (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, pp. 266-267).

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot D^4 \cdot n^2} \quad (2.17)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot D^5 \cdot n^2} \quad (2.18)$$

$$J = \frac{V_A}{D \cdot n} \quad (2.19)$$

Sendo:

T = Impulso;

Q = Binário;

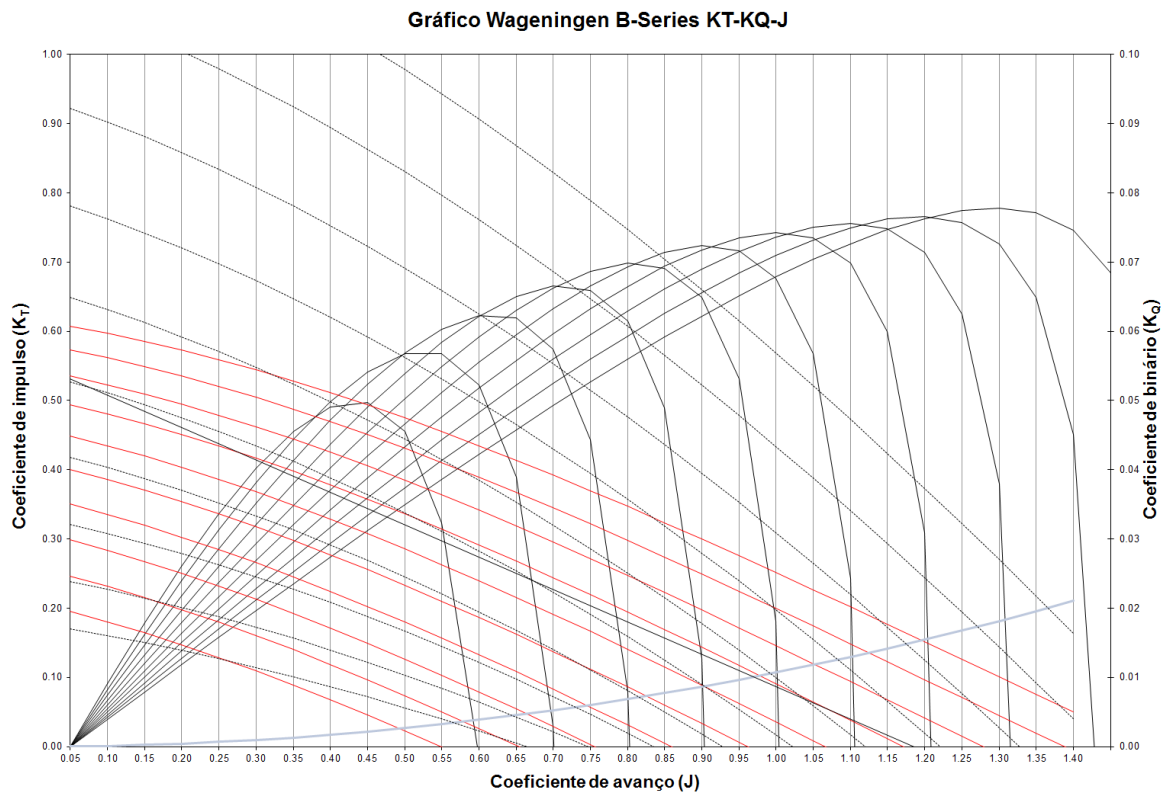


Figura 7 – Curvas de um hélice

O rendimento do hélice em águas abertas (η_0) é dado em função da sua potência em águas abertas (P_0) e da potência de impulso (P_T) (Woud & Stapersma, 2012, pp. 394-396) (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, pp. 266-267).

$$\eta_O = \frac{P_T}{P_O} \quad (2.20)$$

$$P_T = T \cdot V_A \quad (2.21)$$

$$P_O = 2\pi \cdot Q \cdot n \quad (2.22)$$

$$\eta_O = \frac{K_T \cdot J}{K_Q \cdot 2\pi} \quad (2.23)$$

2.4 RESISTÊNCIA E PROPULSORES

A resistência e os propulsores estão relacionados entre si. Os fenômenos desta interação são o fator de esteira, a dedução de impulso e o rendimento de rotação relativa.

2.4.1 FATOR DE ESTEIRA

A velocidade de esteira do propulsor (V_A) é diferente, tendencialmente menor que a velocidade da superfície do navio (V_S) devido aos seguintes fatores: à forma do navio, à viscosidade da água, às ondas produzidas pelo navio na popa e ao elemento propulsor se encontrar normalmente perto do casco, numa posição onde o fluido que o envolve é afetado por este. Esta diferença de velocidade é designada por fator de esteira, segundo Taylor e é definida como (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, p. 144) (Woud & Stapersma, 2012, p. 56):

$$w_T = \frac{(V_S - V_A)}{V_S} \quad (2.24)$$

2.4.2 FATOR DE DEDUÇÃO DE IMPULSO

O fator de dedução de impulso (t) deve-se ao aumento da resistência devido à sucção realizada pelo propulsor e é dado pela seguinte função (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, p. 145) (Woud & Stapersma, 2012, p. 55):

$$(1 - t) = \frac{R_T}{K_P \cdot T} \quad (2.25)$$

R_T = Resistência total;

$T =$ Impulso;

$K_p =$ Número de propulsores.

2.4.3 RENDIMENTO DA ROTAÇÃO RELATIVA

As condições de funcionamento do hélice detrás do casco são distintas das correspondentes ao hélice em águas abertas, devido à presença do leme, da geometria e forma do casco que gera turbulência e desigualdade no campo de fluxo. O rendimento de rotação relativa (η_R) é o rácio entre a potência do hélice em águas abertas (P_O) e a sua potência real (P_P) (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, p. 145).

$$\eta_R = \frac{P_O}{P_P} \quad (2.26)$$

$$P_P = 2\pi \cdot M_P \cdot n \quad (2.27)$$

O rendimento de rotação relativa varia normalmente entre os seguintes valores 0.98 a 1.02 (Woud & Stapersma, 2012, p. 58).

2.5 PROPULSÃO

O rendimento da propulsão (η_D) reúne todos os conceitos estudados anteriormente ao nível da resistência e dos propulsores. Este rendimento pode ser obtido pelo quociente da potência efetiva (P_E) pela potência fornecida a todos os hélices (P_D) (Woud & Stapersma, 2012, pp. 58-59).

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} \quad (2.28)$$

$$P_D = K_p \cdot P_P \quad (2.29)$$

$$\eta_D = \eta_H \cdot \eta_O \cdot \eta_R \quad (2.30)$$

$K_p =$ Número de propulsores;

P_P = Potência fornecida ao hélice;

η_H = Rendimento do casco;

η_O = Rendimento do hélice em águas abertas;

η_R = Rendimento da rotação relativa.

O rendimento do casco (η_H) é definido como (Woud & Stapersma, 2012, p. 56):

$$\eta_H = \frac{P_E}{K_P \cdot P_T} = \frac{1-t}{1-w_T} \quad (2.31)$$

P_E = Potência de efetiva;

P_T = Potência de impulso;

t = Fator de dedução de impulso;

w_T = Fator de esteira.

Através da potência fornecida ao hélice (P_P) e do conhecimento das respectivas margens de potência que dependem de vários fatores, como sejam, outros componentes do aparelho propulsor (chumaceiras e caixas redutoras) bem como da zona geográfica de operação, obtém-se a potência fornecida pelo motor ou motores principais (P_B). Para isso é necessário saber-se o rendimento do veio (η_S) e da caixa redutora (η_{GB}), que é definido pelas seguintes equações (Woud & Stapersma, 2012, pp. 62-64):

$$\eta_S = \frac{P_P}{P_S} \quad (2.32)$$

$$\eta_{GB} = \frac{P_S}{K_e \cdot P_B} \quad (2.33)$$

Onde:

P_S = Potência entregue ao veio;

K_e = Número de motores por caixa redutora;

Contudo, as perdas no sistema de transmissão de potência mecânica ao hélice variam consoante a velocidade do navio. A velocidades muito baixas as perdas são enormes (Woud & Stapersma, 2012, pp. 473-474).

Para além da potência, também se pode determinar qual é que é a rotação do motor (n_e) sabendo a relação de transmissão da caixa redutora (i) e a rotação do veio (n_p) pela fórmula abaixo mencionada (Woud & Stapersma, 2012, p. 63):

$$n_e = n_p \cdot i \quad (2.34)$$

2.5.1 MOTORES DIESEL

Os motores Diesel são máquinas térmicas, ou seja, transformam energia química do combustível em energia mecânica, energia esta que se obtém diretamente como trabalho útil. Esta transformação não ocorre na totalidade, mas assumindo que o rendimento mecânico típico ronda os noventa e oito por cento.

Este estudo dos motores Diesel vai assentar mais na sua potência e performance.

A potência efetiva de qualquer motor Diesel é dada em função do seu binário (M_B) e da sua rotação (n_e) (Woud & Stapersma, 2012, p. 63).

$$P_B = M_B \cdot 2\pi \cdot n_e \quad (2.35)$$

Quanto à performance dos motores Diesel, a mesma é representada através do rendimento térmico, porque nem toda a energia fornecida pelo combustível é transformada em trabalho. Então, o rendimento térmico (η_e) é a fração do trabalho útil (W_e) pela energia fornecida pelo combustível (Q_f) (Woud & Stapersma, 2012, p. 205).

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_f} \quad (2.36)$$

Para determinar o Q_f existe uma aproximação muito exata (Woud & Stapersma, 2012):

$$Q_f \cong m_f \cdot h^L \quad (2.37)$$

Onde m_f é o combustível injetado por ciclo em [kg] e h^L é o poder calorífico inferior, que segundo as normas International Organization for Standardization (ISO⁸) para o combustível naval “NATO F76⁹” o seu valor é de 42700 [kJ/kg].

⁸ ISO é a maior organização internacional de normalização, ajudando a tornar a indústria mais eficiente e eficaz, através da normalização de produtos e serviços. (About ISO: ISO, 2013)

⁹ NATO F76 – combustível naval primário que exige algum cuidado a manusear e no armazenamento devido às suas características a baixa temperatura. É conhecido como o combustível naval destilado. (Chapter 15 - Fuels, Oils, Lubricants and Petroleum Handling Equipment: NATO Logistics Handbook, 2013)

As perdas associadas aos motores Diesel desde a energia que lhes é fornecida até ao trabalho que estes produzem podem ser observadas na figura seguinte (Woud & Stapersma, 2012):

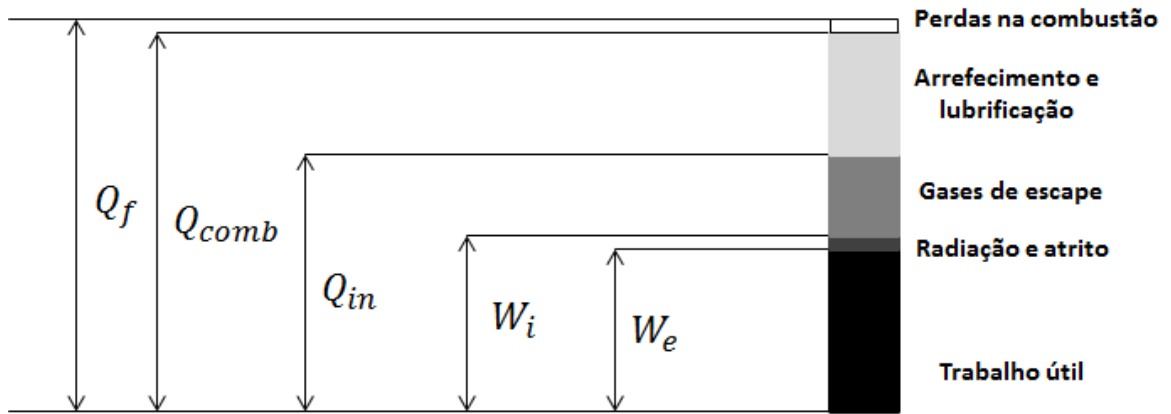


Figura 8 – Perdas num motor Diesel

2.5.2 RELAÇÃO HÉLICE - MOTOR

Nos navios a potência desenvolvida pelos motores propulsores é transmitida ao veio e por sua vez ao hélice. Sendo assim, é necessário relacionar as rotações, o binário e a potência desenvolvida pelo hélice às limitações operacionais do motor (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, pp. 299-302). A figura 9 mostra as limitações de binário, rotações e potência do motor e a curva de carga do hélice.

A curva de carga do hélice é desenhada com base na “Lei do hélice¹⁰” e os motores são projetados de forma a terem a melhor eficiência para uma carga com aquele tipo de curva, em que a potência é proporcional à velocidade de rotação ao cubo.

¹⁰ A lei do hélice é definida como a potência em função da rotação do hélice ao cubo, “ $P \propto N^3$ ”. (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, p. 301)

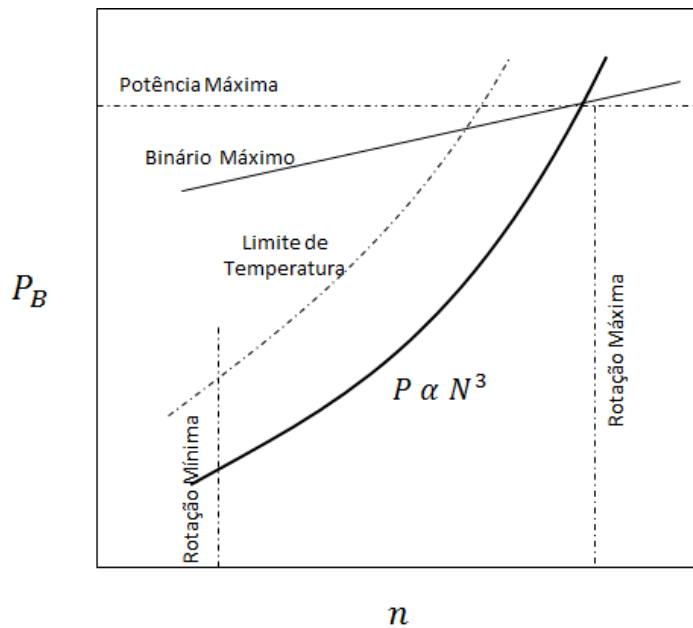


Figura 9 – Limites de um motor Diesel

2.6 COMBUSTÍVEL E EMISSÕES

O combustível naval, normalmente designado por “NATO F76”, é a fonte principal de energia dos navios de guerra e, hoje em dia, adicionalmente, de muitos outros. Tanto os motores propulsores, como os motores dos geradores e caldeirinha convertem a energia química do combustível em trabalho. Logo, cada um destes, consome uma determinada massa de combustível por segundo (\dot{m}_f) para uma potência (P_B), consoante a carga de trabalho, ou seja, possui um determinado consumo específico (sfc) (Woud & Stapersma, 2012, p. 205).

$$sfc = \frac{3600000 \times \dot{m}_f}{P_B} \text{ [g/kWh]} \quad (2.38)$$

E cada um destes equipamentos terá um consumo por milha náutica (fcm) (Woud & Stapersma, 2012, p. 482),

$$fcm = \frac{\dot{m}_f}{V_S} \quad (2.39)$$

As emissões ou gases de escape estão diretamente ligadas à combustão dos combustíveis fósseis, como é o caso do combustível naval. Existem tanto emissões poluentes como não poluentes. Contudo, para este estudo só são relevantes as emissões

poluentes e com maior impacto negativo no ambiente, como é o caso do dióxido de carbono CO₂, enxofre SO_x e azoto NO_x.

Existem dois parâmetros para quantificar as emissões provenientes da combustão nos sistemas acima mencionados, são o rácio de emissões poluentes (*per*) e as emissões poluentes específicas (*spe*) (Woud & Stapersma, 2012, pp. 210-212):

$$per = \frac{\dot{m}_{pe}}{\dot{m}_f} \left[\frac{g}{kg} \right] \quad (2.40)$$

$$spe = per \cdot sfc \left[\frac{g}{kWh} \right] \quad (2.41)$$

Assim como para o combustível também é possível quantificar a quantidade de emissões poluentes por milha náutica (*pem*),

$$pem = \frac{\dot{m}_{pe}}{v_s} \quad (2.42)$$

Os valores de "per" e "spe" dependem do tipo de combustível, no entanto estão definidos sobre algumas condições na tabela 2 para o combustível naval "NATO F76" tipicamente usado na Marinha Portuguesa (Woud & Stapersma, 2012, p. 212) (Nitrogen Oxides (NO_x) – Regulation 13, 2013).

	$per \left[\frac{g}{kg} \right]$	$spe \left[\frac{g}{kWh} \right]$		
CO ₂	3200	-		
SO _x	20	-		
NO _x	-	$n_e < 130$	$130 < n_e < 1999$	$n_e > 2000$
		17	$45 \times n^{-0.2}$	9.8

* n_e – é o número de rotações por minuto do motor.

Tabela 2 – Valores de "per" e "spe"

O consumo específico (sfc) é apresentado aqui em [g/kWh] e o consumo mássico em [g/s], pois estas são as suas unidades ISO. No entanto, para se ter uma melhor percepção dos consumos simulados, estes serão apresentados em [L/h]. Para isso, é necessário saber

qual é a densidade do combustível. Segundo a norma ISO 8217-2008 e o PTDINAV 002 a densidade do combustível “NATO F76” (ρ_f) é dada respetivamente por:

$$\rho_f < 890 \left[\frac{g}{L} \right]$$

$$\rho_f = [820; 860] \left[\frac{g}{L} \right]$$

Sabendo a densidade do combustível obtém-se o consumo em [L/h] (\dot{v}_f) através da seguinte equação:

$$\dot{v}_f = \frac{sfc \cdot P_B}{\rho_f} \left[\frac{g}{L} \right] \quad (2.43)$$

sfc = Consumo específico de combustível;

P_B = Potência efetiva de um motor Diesel;

ρ_f = Densidade do combustível.

2.7 ANÁLISE DA VIAGEM

O navio é uma plataforma móvel como tal, é necessário entender o seu comportamento ao longo de cada viagem que este realiza. Para este efeito, existe um indicador da eficiência energética operacional desenvolvido pela IMO. As diretrizes da EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) estão estipuladas na MEPC.1/Circ.684 e segundo estas o EEOI pode ser obtido da seguinte forma:

$$EEOI = \frac{\sum_J \dot{m}_{fJ} \cdot per_J}{m_{carga} \cdot D} [Ton CO_2 / Ton \cdot Nm] \quad (2.44)$$

Onde J é o tipo de combustível utilizado e m_{carga} a carga transportada em toneladas ou toneladas por passageiro, para navios de passageiros.

No entanto, para um navio de guerra onde o deslocamento é praticamente constante uma vez que não existem passageiros, mas só tripulação, e este número é fixo, não é aplicável o EEOI na unidade expressa, mas sim outra, como por exemplo:

$$EEOI = \frac{\sum_J \dot{m}_{f_J} \cdot per_J}{A_{patrolha} \cdot D} [Ton CO_2/Nm^3] \quad (2.45)$$

Sendo $A_{patrolha}$ a área a patrulhar e D a distância percorrida para patrulhar aquela área.

Esta fórmula pode ser aplicada a navios de guerra patrulhas que normalmente têm de patrulhar uma determinada área.

Neste caso está apenas a estudar-se a “pegada” carbónica da missão, contudo pode-se usar também o EEOI de forma a estudar a eficiência energética da atividade do navio, a partir da seguinte equação:

$$EEOI = \frac{P_e \cdot tempo}{A_{patrolha} \cdot D} [kWh/Nm^3] \quad (2.46)$$

2.8 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

O *software* escolhido para realizar a simulação do comportamento energético do navio modelo foi o *MATLAB* (*MATrix LABoratory*), devido à sua grande capacidade de processamento matemático e, principalmente, por já existir alguma afinidade com o utilizador proporcionada pela Escola Naval (EN), através de um estágio de introdução a este software.

O *MATLAB* é um *software* interativo de alta performance, voltado para o cálculo numérico, visualização e programação. Com o *MATLAB* pode-se desenvolver algoritmos, analisar informação, criar modelos e aplicações. A linguagem, ferramentas e funções matemáticas permitem-lhe explorar múltiplas abordagens e chegar a uma solução mais rápida do que com folhas de cálculo ou linguagens de programação tradicionais, como C/C++ ou Java. (Matlab, 2013)

3. METEDOLOGIAS DE INVESTIGAÇÃO

Este estudo baseia-se na análise e compreensão do comportamento energético de um navio modelo. Assim definiu-se uma metodologia de investigação¹¹ científica, de forma a serem obtidos os dados mais corretos, dados estes que garantissem uma maior fiabilidade e conclusões válidas sobre o comportamento energético do navio.

O processo de metodologia de investigação científica dividiu-se em três fases distintas, exploratória, analítica e conclusiva.

Na fase exploratória foi definido o problema em estudo, as questões de investigação, os objetivos, os conhecimentos e competências a adquirir, as hipóteses a estudar, as variáveis a observar e as fontes de dados para se conseguir um maior rendimento do sistema construído, assim como as metodologias a seguir nas diferentes fases do estudo.

Na fase analítica procedeu-se à recolha, registo e análise das informações, desenvolvimento do estudo e interpretação dos resultados.

Na fase conclusiva foi feita a confirmação das hipóteses de investigação, verificação dos objetivos alcançados, discussão dos resultados, exposição das conclusões e recomendações. (Sarmiento, 2013, pp. 6-7)

3.1 FASE EXPLORATÓRIA

Este estudo surge da Escola Naval e de um órgão técnico da Marinha - Direção de Navios (DN), que sugeriram a realização de uma otimização energética a um navio, pois tal nunca tinha sido feita na Marinha Portuguesa.

Assim, esta temática deu origem a diversas questões, entre elas:

1. Qual é a possibilidade de realizar uma otimização energética num navio?
2. Qual o navio a otimizar?
3. Que sistemas é que vão ser estudados?
4. Quais os equipamentos a otimizar?

¹¹ Metodologia de investigação – “... processo de seleção da estratégia de investigação, que condiciona, por si só, a escolha das técnicas de recolha de dados, que devem ser adequadas aos objetivos que se pretendem atingir. (Sousa & Baptista, 2011)”

5. Quais é que são as características destes equipamentos?
6. Onde é que existe a informação sobre os sistemas e equipamentos definidos?
7. Como é que se irá processar o estudo teórico e prático?
8. Qual o estudo teórico necessário?
9. Quais os parâmetros a medir?
10. Qual é a viabilidade de efetuar medições?
11. Quais os dados diretamente mensuráveis abordo?
12. Como realizar as medições?
13. Existe a possibilidade de instalar o VEEO?

Foram definidos, ainda, os conhecimentos e competências a adquirir para responder da melhor forma aos objetivos definidos anteriormente:

- Estudo da resistência do navio;
- Fundamentos teóricos de projeto de hélices;
- Estudo de motores propulsores e geradores de energia;
- Simulação dos modos de operação;
- Programação.

Foi realizado no âmbito do enquadramento teórico um estudo dos tópicos anteriores, definindo-se uma metodologia qualitativa, onde se pretendeu conhecer o processo, através de análise documental de registos organizacionais, relatórios, normativos, estudos e outras publicações (Sarmiento, 2013, pp. 16-17). Nesta fase, as investigações foram do tipo indutivo e descritivo, uma vez que foram desenvolvidos entendimentos, conceitos e ideias a partir de padrões (Sousa & Baptista, 2011, p. 56), de forma a criar uma base teórica e a tirar conclusões válidas.

Durante esta fase ponderou-se algumas hipóteses, em relação às fórmulas a utilizar, aos teoremas a aplicar, aos dados a recolher e quais os métodos de recolha (ver figura 10).

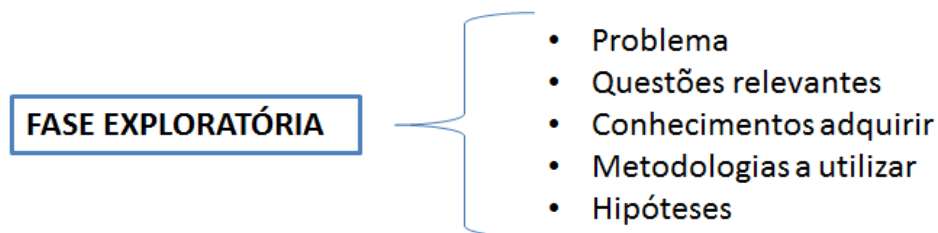


Figura 10 – Esquema fase exploratória

3.2 FASE ANALÍTICA

Na fase analítica (ver figura 11), com base nas competências adquiridas foi selecionado um navio modelo e realizou-se a recolha e registo dos dados, ou seja, características técnicas do navio e dos seus equipamentos. Isto quando estes estavam disponíveis. Caso contrário foi necessário uma revisão ao enquadramento teórico e adotar outro meio de atingir o mesmo fim.

Para efetuar esta recolha, foi feito um estudo descritivo, onde foram descritos de forma rigorosa e clara o navio e os seus sistemas (Marshall & Rossman, 1999, pp. 40-41).

Numa primeira fase recorreu-se a dados secundários (“...já existem e foram recolhidos, registados e analisados por outras pessoas, para o mesmo fim ou para outros fins...” (Sarmento, 2013, p. 9)), no entanto quando estes mesmos dados não foram suficientes foram utilizados dados primários (“...são pesquisados pelo investigador, com vista a satisfazer uma necessidade de informação presente e específica.” (Sarmento, 2013, p. 9)).

Foi elaborada a modelação matemática de conversores de energia com vista à simulação do comportamento energético do navio, usando os conhecimentos adquiridos no enquadramento teórico, através dos dados recolhidos e registados do navio modelo e com o auxílio do programa *Microsoft Excel*.

Foram usados tanto métodos quantitativos como qualitativos.

A metodologia qualitativa já foi previamente apresentada, quanto à quantitativa é uma investigação onde as hipóteses, as variáveis e o projeto de investigação são sempre previamente definidos, baseando-se a validade dos resultados no controlo conceptual e técnico das variáveis em estudo (Sousa & Baptista, 2011, p. 55).

Para além destas duas metodologias aplicadas foi usado, ainda, o plano de investigação de triangulação de dados, isto é, “...uso de uma variedade de fontes num mesmo estudo;” (Carmo & Ferreira, 2008, p. 201).

Após a concretização da modelação matemática, através da programação em *MATLAB* foram desenvolvidos os simuladores do comportamento energético do navio, através do método experimental e do crítico. O método experimental foi estabelecido numa relação causa-efeito com as experiencias realizadas. O método crítico foi baseado na observação crítica dos valores obtidos, ou seja, se estão dentro do padrão. (Sarmento, 2013, p. 4)

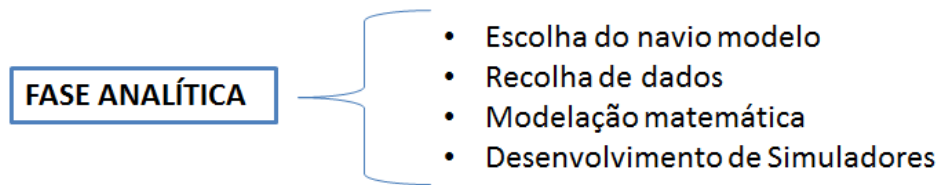


Figura 11 – Esquema fase analítica

3.3 FASE CONCLUSIVA

Nesta última fase, foram confrontados os conhecimentos e competências adquiridos durante o enquadramento teórico, modelação matemática de conversores de energia com vista à simulação do comportamento energético do navio, a simulação com os resultados das medições efetuadas a bordo do navio modelo.

Utilizou-se o método de observação direta, que consiste na observação de todos os factos, no seu registo, na sua análise e posteriores conclusões (Sarmiento, 2013, p. 4). Na análise usou-se a comparação direta entre dados obtidos nos simuladores desenvolvidos e dados recolhidos a bordo do navio modelo (ver figura 12).

Assim, através da validação dos modelos de simulação e da discussão dos resultados, confirmaram-se algumas das hipóteses colocadas na fase explorativa e verificaram-se certos objetivos alcançados, dando então origem às conclusões e recomendações deste estudo, bem como a sugestões para futuras investigações.

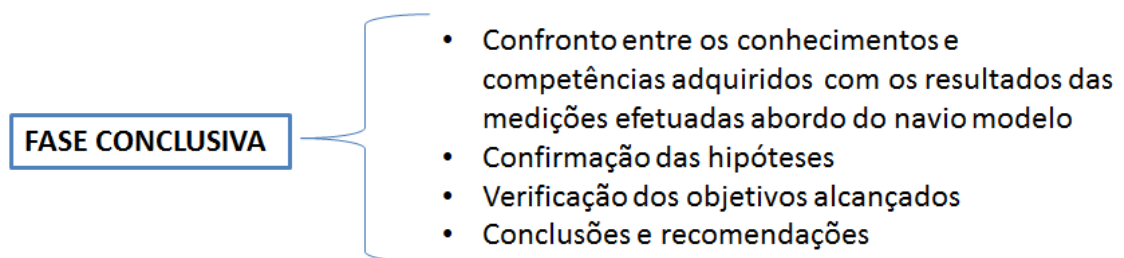


Figura 12 – Esquema fase conclusiva

4. NAVIO MODELO

O navio escolhido para a realização da auditoria energética foi o Navio da Republica Portuguesa (NRP) Viana do Castelo.

Dos seis Navios de Patrulha Oceânica (NPO) da classe “Viana do Castelo” encomendados aos estaleiros navais de Viana do Castelo, este foi o primeiro a ser entregue à Marinha Portuguesa a 30 de Dezembro de 2010.

Este navio foi concebido como navio “não combatente” e destina-se a exercer a Autoridade de Estado e realizar tarefas de interesse público, como a defesa do ambiente, a prevenção e combate à poluição, a assistência a pessoas ou embarcações em perigo, ações de fiscalização de pescas e controlo da navegação nas áreas de jurisdição ou responsabilidade nacional.

Apesar do seu estatuto de navio “não combatente” possui a capacidade para ações de patrulha, minagem defensiva e apoio a pequenas forças em tempo de guerra, no Espaço Estratégico de Interesse Nacional (EEIN) (Patrulhas Oceânicos, 2012). É, portanto, um bom exemplo do conceito de Marinha de duplo uso.

O N.R.P Viana do Castelo tem 83,1 metros de comprimento, 12,95 metros de boca máxima, 9,60 metros do pontal ao convés de voo e um calado médio de 3,82 metros. A sua velocidade máxima é de 21 nós, e possui uma velocidade de cruzeiro de 15 nós (Patrulhas Oceânicos, 2012).

O principal motivo para este navio ter sido escolhido como navio modelo para este trabalho foi o facto de ser um navio muito recente, e que, por isso, terá um período de navegação mais longo. Consequentemente, a otimização energética tem um impacto maior, ou seja, maximizado a longo prazo.

4.1 CARACTERÍSTICAS DO CASCO E DA FORMA DO NAVIO

Das características do casco e da forma do navio foram retiradas as necessárias para o estudo, para uma condição de carga normal de operação das publicações (Varela, 2013) e (Dionísio , 2013). Os dados estão presentes na seguinte tabela:

Calado médio (T_m)	3,820 m
Caimento	0.066
Deslocamento (Δ)	1836.54 ton
Coeficiente de bloco (C_B)	0.474
Coeficiente prismático (C_P)	0.619
Comprimento ao nível da linha de água (LWL)	80.412 m
Comprimento entre perpendiculares (L_{BP})	76.80 m
Área de superfície molhada (S)	1127.056 m ²
Boca (B)	12.294 m
Centro longitudinal de flutuabilidade (LCB)	1.8125%

Tabela 3 – Características do casco e forma do navio modelo

4.2 EQUIPAMENTOS

A Instalação Propulsora dos Navios de Patrulha Oceânico da Classe “Viana do Castelo” é do tipo Combinação Diesel ou Motor Elétrico, (CODOL – Combined Diesel Or Electrical Motor), disposta por duas linhas de veios idênticas e independentes entre si.

Os grupos propulsores (Motores Diesel e Motores Elétricos) transmitem através das caixas redutoras e das linhas de veios, aos hélices de passo controlável. Estes transformam-no em impulso e, através das chumaceiras de impulso existentes nas caixas redutoras, transmitem-no ao casco do navio, dando-lhe movimento.

Os hélices referidos são designados por supra-convergentes, rodando em sentidos opostos, onde o hélice de bombordo (BB) roda no sentido direto (CW – Clockwise) e o hélice de estibordo (EB) roda em sentido retrógrado (CCW – Counterclockwise). (ver ANEXO C, figura 117)

O facto da Instalação Propulsora (IP) possuir Hélices de Passo Controlável (HPV) torna possível aumentar a velocidade e inverter o sentido do movimento do navio sem necessidade de variação dos regimes do meio propulsor nem inversão da rotação do veio.

Os componentes da instalação propulsora são os seguintes:

- Dois, Motor Diesel Propulsor (DE – Diesel Engine), WARTSILA W12V26A2
- Dois, Motor Elétrico Propulsor (EM – Electric Motor), MARELLI MOTOR B5M 355 LD6
- Duas, Caixa Redutora (GB – Gear Box), WARTSILA SCH61V61-SDC48
- Duas, Linha de Veios (SL – Shaft Line) (inclui chumaceiras e vedantes)
- Duas, Hélice de Passo Controlável (CPP – Control Pitch Propeller), WARTSILA HPP2-15-1123

(Manual de Sistema, Descrição - Condução - Manutenção, Instalação Propulsora, 2010)

4.3 MOTORES DIESEL PROPULSORES

Os motores Diesel propulsores WARTSILA W12V26A2 têm doze cilindros em “V”, debitando cada um uma potência máxima de 325 kW, o que perfaz 3900 kW de potência máxima total. Trabalham numa gama de rotações que varia entre as 450 rpm (ralenti) e as 1000 rpm (rotação máxima), e são sobrealimentados por duas turbos cada um com aspiração no próprio local (The Wartsila Engine Documentation, 2003).

Os motores foram projetados para utilizar combustível naval “NATO F76”, ou equivalente. No entanto, não são totalmente independentes da energia elétrica, uma vez que o sistema de água salgada de arrefecimento não é circulado através de bombas acopladas, mas sim por eletrobombas. Sendo assim, o funcionamento destes motores está dependente da produção de energia elétrica por parte dos grupos eletrogéneos (abordados no subcapítulo seguinte).

4.4 MOTORES ELÉTRICOS PROPULSORES

Os motores elétricos propulsores MARELLI MOTOR são motores assíncronos trifásicos do tipo B5M 355 LD 6, de velocidade constante de 990 rpm que debitam uma potência de 300 kW / 525 A cada um (Manual de Operação e Manutenção - Motor Electrico da Propulsão B5M 355 LD 6, 2009).

São alimentados por uma tensão de 400 V / 50 Hz, com um índice de proteção IP55, e é de classe S1.

Os motores são alimentados energeticamente pelos grupos eletrogéneos do navio.

4.5 GRUPOS ELETROGÉNEOS

Existem quatro grupos eletrogéneos (geradores) VOLVO PENTA TAMD165A/HCM534 E 1. Cada um, debita uma potência máxima contínua de 362 kW (Volvo Penta Marine Genset, 2004).

Estes quatro geradores alimentam todos os equipamentos elétricos de bordo, sendo os principais consumidores, os motores elétricos propulsores, o impulsor de proa, o ar condicionado e a máquina do leme.

Para navegar com motores elétricos é necessário ter três geradores em funcionamento para não haver sobrecargas na rede, ou seja, um gerador para cada motor elétrico propulsor e um para os restantes equipamentos de bordo.

A navegar com motores Diesel propulsores em condições normais de cruzeiro só é necessário um gerador em funcionamento.

4.6 CAIXAS REDUTORAS

A Caixa Redutora WARTSILA SCH61V61-SDC48 é constituída por quatro rodas dentadas principais, atribuídas a cada um dos equipamentos: motor Diesel, motor elétrico, veio e virador.

A Caixa Redutora pode ser decomposta em três partes:

- A caixa de engrenagens;

- O acoplamento do Motor Diesel;
- O acoplamento do Motor Elétrico.

A Caixa de Engrenagens é responsável pelas relações de transmissão dos motores propulsores, sendo 3,44 para o motor Diesel e 8,25 para o motor elétrico. O acoplamento das máquinas propulsoras à Caixa Redutora é efetuado através de acoplamentos resilientes semi-elásticos tipo “VULKAN” (Manual de Sistema, Descrição - Condução - Manutenção, Instalação Propulsora, 2010).

4.7 LINHAS DE VEIOS E HÉLICES

A Linha de Veios compreende um hélice de passo controlável (CPP), um veio com três quarteladas (veio propulsor, veio intermédio e veio do hélice) apoiado em quatro chumaceiras, e um sistema de comando do passo do hélice. Devido ao facto do hélice ser de passo controlável, o óleo de comando do passo flui no interior da Linha de Veios, através do sistema hidráulico WARTSILA HPP2-15-1123. (Manual de Sistema, Descrição - Condução - Manutenção, Instalação Propulsora, 2010)

O hélice de passo controlável possui as características mencionadas na tabela 4. (INSTRUCTION MANUAL CPP, 2005)

Diâmetro (D)	2,55 m
Número de pás	5
Rácio da área da pá (BAR)	0,69
Passo (P em m)	-2,5 a +3,9
Passo (P em graus)	-24° a +35°

Tabela 4 – Características do hélice

5. SISTEMA NAVIO

Um navio está constantemente em interação com o meio envolvente e pode ser considerado termodinamicamente um sistema aberto, ou seja, tanto a matéria como a energia podem atravessar as suas fronteiras (Cengel, 2001). As interações energéticas a que um navio está constantemente sujeito podem ser observadas na figura 13.

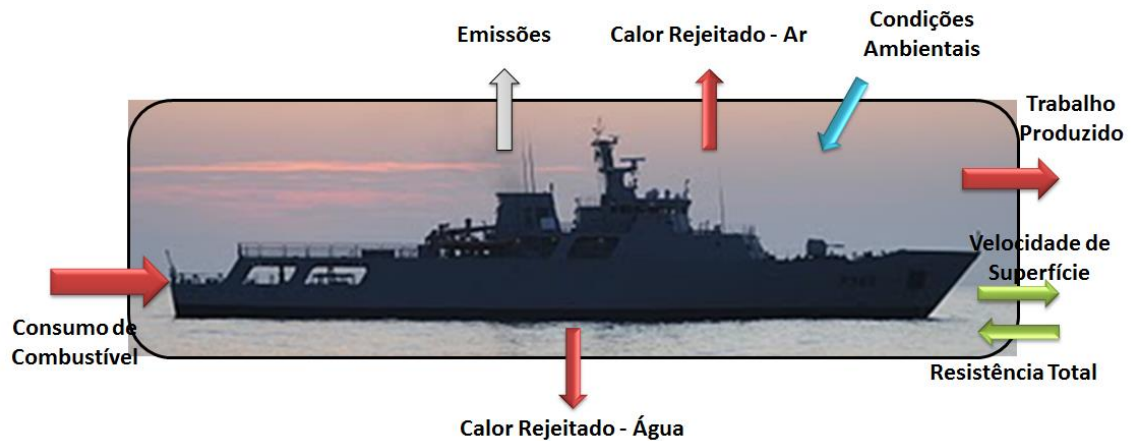


Figura 13 – Interações energéticas “Navio / Ambiente”

Como foi referido anteriormente, um navio é constituído por vários sistemas mecânicos e eléctricos que, combinados, permitem o seu funcionamento. As condições de trabalho destes sistemas vão depender do modo de operação do navio.

Neste estudo foram distinguidos três modos:

- Atracado ao cais;
- Navegação com propulsão Diesel (dois motores ou só um com veio arrastado);
- Navegação com propulsão eléctrica;

Consoante o modo de operação, as trocas energéticas entre o navio e o meio ambiente terão valores diferentes, o que está directamente relacionado com o desempenho dos sistemas e por sua vez com os custos financeiros.

Nos capítulos seguintes será estudado e simulado o comportamento energético do navio para os três modos apresentados.

6. MODELAÇÃO MATEMÁTICA DE CONVERSORES DE ENERGIA COM VISTA À SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DO NAVIO

O objetivo deste estudo é poder desenvolver um simulador no *MATLAB* capaz de dar uma estimativa precisa do consumo de combustível e o balanço energético a uma determinada velocidade de superfície e tendo em conta as condições meteorológicas.

Este é um problema bastante complexo, que requer a total compreensão do comportamento energético do navio. Como tal, é necessária a modelação matemática do navio em termos da sua resistência e dos conversores de potência, consoante os modos de operação já previamente definidos.

6.1 NAVIO ATRACADO

No caso de o navio estar atracado praticamente toda a energia consumida é elétrica e pode vir de “terra”, ou seja, do cais onde está. Pode, em alternativa, ser produzida a bordo pelos geradores existentes através de combustível, como já foi referido o “NATO F76”.

Para esta simulação foi apenas considerada a alternativa em que a energia é produzida pelos geradores.

A simulação energética dos geradores com vista a determinar o consumo em [L/h] e [L/Nm], as emissões de CO₂ e NO_x em [kg/h] e [kg/Nm], e o seu rendimento, foi feita a partir do protocolo de receção dos geradores (VOLVO PENTA MARINE GENSET TAMD165A, 2012), isto é, através dos dados retirados do protocolo de receção foram desenhados os gráficos e obtidas as respetivas equações, com um grau de confiança superior a noventa e nove por cento no programa *Microsoft Excel*, onde se obtém a carga em função do consumo específico, e a carga em função da potência (ver figura 29 e 30 no APÊNDICE A).

Estes gráficos serão idênticos para qualquer que seja o gerador, isto é, os polinómios¹² que os representam serão do mesmo grau para cada uma destas funções.

¹² Polinómio – é a soma algébrica de dois ou mais monómios, isto é, um número ou uma letra ou um produto de letras ou de números com letras onde as letras têm apenas expoentes naturais.

Sabendo o número de geradores em funcionamento e a sua carga de trabalho, pode-se obter os dados referidos com as fórmulas (2.36) até à (2.43) dos motores, uma vez que um gerador não é nada mais que um motor Diesel acoplado a um alternador.

Como foi mencionado inicialmente neste subcapítulo, quase toda a energia consumida a bordo quando o navio está atracado é elétrica. Contudo, há um grande consumidor de energia, neste caso não elétrica, mas sim a partir do “combustível naval” (isto é, independente dos geradores ou da energia recebida de “terra”), que é a caldeirinha.

Esta última tem um consumo nominal diário em [L/h] definido pelo fabricante, aproveitando este dado, foi simulado o seu comportamento energético e ecológico através da equação (6.1), sabendo apenas quantas horas esta trabalha por dia (h).

$$\dot{v}_f = \frac{\dot{v}_{nominal} \cdot h}{24} \quad (6.1)$$

O consumo em [L/Nm] e as emissões de CO₂ e NO_x em [kg/h] e [kg/Nm] e o seu rendimento foi determinado pelas mesmas equações que para os geradores.

Este método de simulação da caldeirinha também é aplicado com o navio a navegar.

6.2 NAVIO A NAVEGAR

Para o navio navegar é necessário os motores a Diesel ou elétricos fornecerem a potência necessária ao hélice para vencer a resistência.

Então numa primeira fase estimou-se qual é esta potência que os motores têm que desenvolver (P_D).

A partir das equações (2.28) até (2.30) obtêm-se:

$$P_D = \frac{P_E}{\eta_H \cdot \eta_O \cdot \eta_R} \quad (6.2)$$

No entanto, nenhuma destas variáveis é conhecida, logo vai ser necessário determinar cada uma delas.

Como se sabe η_H pode ser determinado pela equação (2.31), mas nem o fator de esteira, nem o fator de dedução de impulso podem ser obtidos de forma convencional, visto que o impulso, a resistência e a velocidade de esteira ainda são incógnitas.

Contudo, existem estudos e testes realizados onde se pode obter o fator de esteira e o fator de dedução de impulso através de características próprias do navio como a boca, o comprimento, o coeficiente de bloco e o número de propulsores.

Existem várias fórmulas desenvolvidas a partir de testes. No entanto, foi selecionada uma para cada um dos fatores consoante as características do navio modelo.

Para o fator de esteira foi selecionada uma que pode ser aplicada a navios com dois hélices e com coeficiente de bloco baixo (que é o caso do navio modelo) (Taylor, 1943):

$$w_T = 0.55C_B - 0.20 \quad (6.3)$$

Para o fator de dedução de impulso, pode ser aplicada a seguinte fórmula a navios com dois hélices (Holtrop, 1984, pp. 272-276):

$$t = 0.325C_B - 0.1885 \frac{D}{\sqrt{B \cdot T}} \quad (6.4)$$

A P_E , segundo a equação (2.7) depende diretamente da resistência, que neste momento é uma incógnita.

A resistência total do navio pode ser obtida através de algumas características deste, principalmente das geométricas, segundo as equações (2.1) até à (2.6), e retirando alguns pontos de gráfico no (Gillmer, 1972), determina-se o polinómio que melhor representa o coeficiente de resistência residual usando o programa *Microsoft Excel* (APÊNDICE A, Figura 31).

No entanto, esta é a resistência total para uma intensidade do vento segundo a escala de Beaufort inferior a quatro. Para uma intensidade do vento igual ou superior a este valor é necessário ter em conta as formulas (2.8), (2.9) e (2.10).

Sabendo a resistência, o fator de dedução de impulso e o fator de esteira pode determinar-se o impulso e a velocidade de esteira, que vão ser posteriormente utilizados no cálculo da η_0 , segundo as seguintes fórmulas deduzidas das equações (2.24) e (2.25):

$$V_A = V_S \cdot (1 - w_T) \quad (6.5)$$

$$T = \frac{R_T}{K_P \cdot (1-t)} \quad (6.6)$$

O η_0 é dado pela equação (2.20) e (2.23), onde P_T é conhecida pela equação (2.21) uma vez que tanto o impulso como a velocidade de esteira já podem ser determinados.

No entanto, P_0 , K_T , J e K_Q ainda são desconhecidos.

Estes valores não podem ser obtidos diretamente, uma vez que nas equações (2.17), (2.18), (2.19) e (2.22), se desconhecem os valores de Q e n .

Para obter o valor de η_0 é necessário recorrer às representações gráficas de K_T e K_Q , já abordadas anteriormente.

As representações gráficas podem ser obtidas através de testes hidrodinâmicos realizados aos hélices no estaleiro ou de séries¹³, tais como as séries de Gwan, Au, Ma, KCA, KCD e Wageningen.

A partir dos testes hidrodinâmicos realizados aos hélices no estaleiro (Jacob, 2004), obteve-se os valores de K_T e K_Q para alguns $\left(\frac{P}{D}\right)$, tendo os restantes valores sido determinados por interpolação, de forma a obter as curvas do hélice para toda a gama de valores $\left(\frac{P}{D}\right)$ possíveis.

De entre todas as séries descritas, vai ser aplicada a serie de Wageningen onde K_T e K_Q podem ser representados em função do J a partir dos seguintes polinómios (Oosterveld & Van Oossanen, 1975, pp. 251-262):

$$K_T = \sum_{n=1}^{39} C_n(J)^{S_n} \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^{t_n} \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^{u_n} \cdot (z)^{v_n} \quad (6.7)$$

$$K_Q = \sum_{n=1}^{47} C_n(J)^{S_n} \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^{t_n} \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^{u_n} \cdot (z)^{v_n} \quad (6.8)$$

Onde $\left(\frac{A_E}{A_0}\right) = \text{BAR}$, z é o número de pás e os coeficientes dos polinómios podem ser consultados no Anexo A nas tabelas 33 e 34.

As séries de Wageningen são válidas para $\text{BAR}=0.3$ até 1.05, $P/D = 0.60$ até 1.40 e $z = 2$ até 7 (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, p. 371), o que torna estas séries válidas para o navio modelo.

No entanto, as equações só são válidas para um número $R_e = 2 \times 10^6$. Logo é necessário serem corrigidas. Para se corrigir estas séries para $R_e = 2 \times 10^6$ até $R_e = 2 \times 10^9$, terá que se recorrer às seguintes equações (Oosterveld & Van Oossanen, 1975, pp. 251-262):

13 Serie – Soma de uma sequência infinita de termos.

$$K_T(R_e) = K_T(R_e = 2 \times 10^6) + \Delta K_T(R_e) \quad (6.9)$$

$$K_Q(R_e) = K_Q(R_e = 2 \times 10^6) + \Delta K_Q(R_e) \quad (6.10)$$

Os valores de ΔK_T e ΔK_Q podem ser calculados como apresentado no Anexo A nas tabelas 35 e 36.

O número de Reynolds pode ser obtido da seguinte forma (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, p. 377):

$$R_e = \frac{V_R \cdot c}{\nu} \quad (6.11)$$

A V_R e o c podem ser determinados a partir das equações (2.15) e (2.16), respetivamente.

Contudo, as séries de Wageningen para os hélices de passo controlável como têm um cone/diâmetro maior apresentam perdas de 2 a 3% no rendimento (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, p. 385).

Com os gráficos desenhados, tanto a partir dos testes hidrodinâmicos realizados aos hélices, como das séries de Wageningen, pode ser retirado em função do J qual o rendimento máximo do hélice em águas abertas do navio para um determinado $\left(\frac{P}{D}\right)$.

Mas, isto só é possível se os valores de Q obtidos a partir de K_Q das séries segundo a equação (2.18) forem inferiores ao valor máximo do motor propulsor Q_m e se for desenhada a curva característica do navio e esta tiver valores de K_T iguais (ver figura 14).

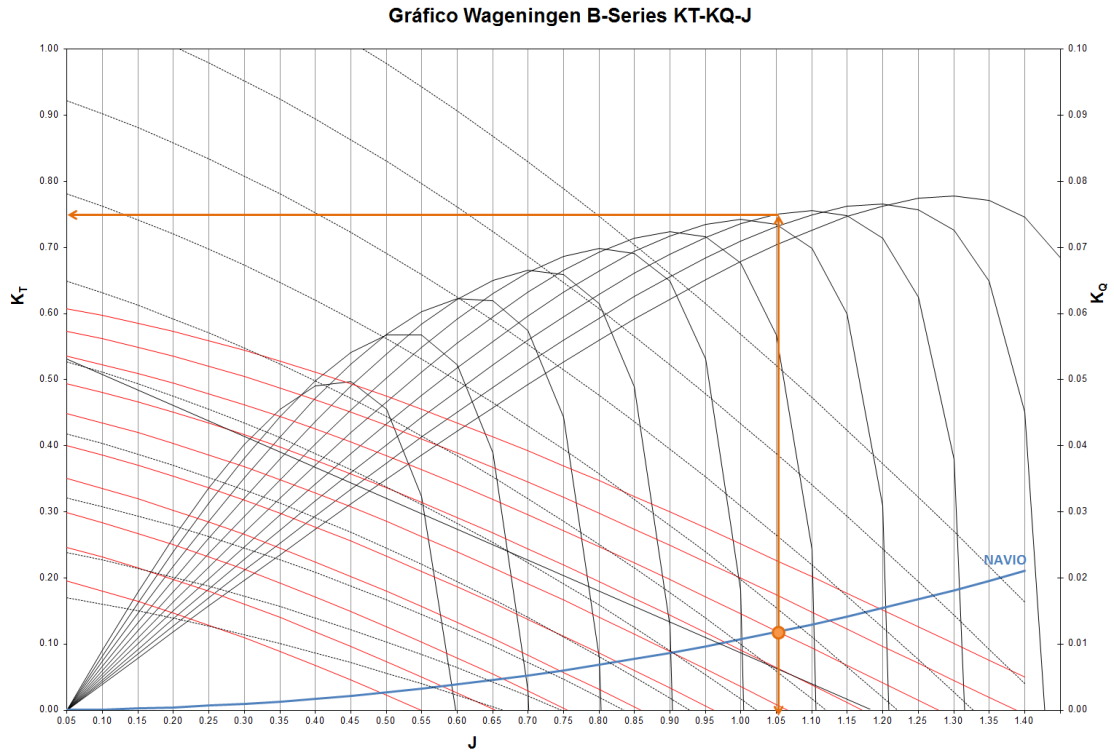


Figura 14 – Determinação de qual o melhor rendimento do hélice para uma determinada curva característica do navio

A curva característica do navio que pode ser obtida representando-se K_T em função de J^2 , que através das equações (2.17) e (2.19) chega-se ao seguinte resultado (Molland, Turnock, & Hudson, 2011, pp. 304-305) (Woud & Stapersma, 2012, pp. 403-408):

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{R}{\rho \cdot D^2 \cdot V_S^2 \cdot (1-t) \cdot (1-w_T)^2} \quad (6.12)$$

O η_R não é possível determinar pela equação (2.26), uma vez que o valor de P_p é desconhecido. No entanto, Holtrop (1982, pp. 166-170), através de ensaios, desenvolveu uma fórmula bastante fiável, onde pode ser obtido o η_R com base no coeficiente prismático (C_p), no centro longitudinal de flutuabilidade (LCB) e no $\left(\frac{P}{D}\right)$:

$$\eta_R = 0.9737 + 0.111(C_p - 0.0225 LCB) - 0.06325 \left(\frac{P}{D}\right) \quad (6.13)$$

Sendo assim, utilizando a equação (6.2) já se pode obter o valor de P_D .

Sabendo que o navio modelo possui dois hélices, pode ser obtida a P_p pela equação (2.29).

Sendo assim, já é possível determinar P_B através das equações (2.32) e (2.33) e assumindo que o rendimento do veio e da caixa são dados por:

$$\eta_S = 0.98^{n_{chumanceiras}} \quad (6.14)$$

$$\eta_{GB} = 0.96 \quad (6.15)$$

No entanto, como referido anterior mente, os rendimentos apresentados só são válidos para grandes velocidades.

Assim sendo, é necessário modelar-se matematicamente as perdas de transmissão de potência em função da velocidade do navio de forma a ter em conta as perdas para qualquer velocidade na simulação futura. Para isso retiram-se alguns pontos do gráfico do (Woud & Stapersma, 2012, p. 474) e determina-se os polinómios que melhor os representam (tanto para o navio a navegar com veio arrastado como sem) usando o programa *Microsoft Excel* (APÊNDICE A, Figura 32 e 33).

Nesta fase é preciso distinguir entre o uso de motores Diesel ou elétricos e adicionalmente fazer um balanço global de todos os sistemas abordados.

6.2.1 MOTORES DIESEL

Para além da potência que o motor têm que desenvolver, P_B , é necessário ter em conta as limitações operacionais deste, como foi abordado anteriormente.

Depois de definidos estes parâmetros característicos do motor é necessário determinar-se o binário M_B a partir das equações (2.34) e (2.35).

Obtido o binário, o motor vai ser simulado através dos dados obtidos do protocolo de receção dos motores (MOTOR DIESEL PROPULSOR - FACTORY ACCEPTANCE TEST, 2013).

Com estes dados resulta uma curva, e é criada a equação que a represente da melhor forma, ou seja, com um grau de confiança superior a noventa e nove por cento, o binário em função do consumo específico do motor e o binário em função da carga no programa *Microsoft Excel* (APÊNDICE A, Figura 34 e 35).

Depois de ser obtido o grau dos polinómios que representam estas funções, tal como nos geradores, será o mesmo para qualquer motor Diesel.

Conhecido o consumo específico do motor, pode ser determinado com as fórmulas (2.38) $sfc = \frac{3600000 \times \dot{m}_f}{P_B}$ [g/kWh] (2. 38) até à (2.43), o consumo em [L/h] e [L/Nm] e as emissões de CO₂ e NO_x em [kg/h] e [kg/Nm] e o rendimento do motor pela fórmula abaixo mencionada, deduzida a partir das formulas (2.36), (2.37) e (2.38).

$$\eta_e = \frac{3600000}{sfc \cdot hL} \quad (6. 16)$$

6.2.2 MOTORES ELÉTRICOS

Nos motores elétricos tal como para os motores Diesel é preciso ter em conta as limitações operacionais destes e a relação hélice-motor, previamente abordada.

Com o protocolo de receção dos motores elétricos (ELECTRICAL EQUIPMENT TEST REPORT, 2013) será simulada qual a potência fornecida pelos geradores (P_{GE}) em função da P_B , usando o mesmo método que para os motores Diesel e geradores (APÊNDICE A, Figura 36 Figura 36).

Sabendo qual é a potência que o gerador está a produzir para os motores elétricos podemos determinar a carga de trabalho (sabendo que para cada ME é necessário um gerador, de forma a não gerar sobrecarga na rede elétrica de bordo) através da figura 30; sabendo a carga, sabe-se o consumo específico pela figura 29.

Tendo o consumo específico, determina-se o consumo em [L/h] e [L/Nm] e as emissões de CO₂ e NO_x em [kg/h] e [kg/Nm] e o rendimento do motor gerador pelo mesmo método utilizado nos motores Diesel e nos geradores.

Contudo, não se quer só o rendimento do gerador, quer-se o rendimento desde a produção de energia até ser fornecida ao veio (η_{TE}), ou seja, o rendimento do gerador (η_{GE}) e do motor elétrico (η_{ME}).

Este rendimento é possível ser calculado com as fórmulas seguintes:

$$\eta_{ME} = \frac{P_B}{P_{GE}} \quad (6. 17)$$

$$\eta_{TE} = \eta_{ME} \cdot \eta_{GE} \quad (6. 18)$$

6.2.3 NAVIO NO SEU “GLOBAL”

Após terem sido abordados os sistemas individualmente, agora vai ser determinado o consumo total, o rendimento e as perdas de todos os sistemas mencionados anteriormente, que são os principais consumidores energéticos, e ainda o cálculo do EEOI.

A simulação de todo o navio será feita, ou para propulsão Diesel, ou para elétrica, uma vez que na Marinha Portuguesa não existe nenhum navio que possa navegar com ambos os tipos de propulsão em simultâneo.

Contudo, as equações utilizadas são as mesmas, só alterando o facto de ser uma controlável do motor Diesel, ou de a ser do motor elétrico. Como tal, todas as variáveis respeitantes a estes dois motores serão adiante designadas como “motores”.

O consumo total em [L/h] e em [L/Nm] pode ser obtido através da soma aritmética do consumo de todos os sistemas, como demonstrado nesta equação:

$$\dot{v}_T = \dot{v}_{motores} + \dot{v}_{geradores} + \dot{v}_{caldeirinha} \text{ [L/h] ou } \left[\frac{\text{L}}{\text{Nm}} \right] \quad (6.19)$$

O rendimento total determina-se segundo a seguinte fórmula:

$$\eta_T = \frac{\eta_{motores} \cdot \eta_S \cdot \eta_{GB} \cdot \eta_D + \eta_{geradores} + \eta_{caldeirinha}}{n_{sistemas}} \quad (6.20)$$

Por fim, o EEOI será calculado pelas equações (2.45) e (2.46).

7. SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DO NAVIO

Foram desenvolvidos quatro simuladores, três respeitantes ao navio modelo e um geral para qualquer navio da Marinha Portuguesa.

Todos estes simuladores têm como base a modelação matemática apresentada no capítulo anterior.

Os simuladores, como já referido anteriormente, foram desenvolvidos no programa *MATLAB* e com o auxílio do *Microsoft Excel* (os programas encontram-se no CD-ROM em anexo), principalmente para confirmar os valores obtidos na simulação das séries de Wageningen e das próprias curvas do hélice, uma vez que não é simples a programação destas, pois implica a utilização de vários ciclos.

Os simuladores são todos constituídos por um conjunto de “entradas”, “botões” e “saídas”. O seu princípio de funcionamento consiste no seguinte:

- Introduzem-se valores válidos nas “entradas”;
- Pressiona-se um, e apenas um “botão”;
- Obtém-se os valores nas “saídas”;

Relativamente aos simuladores do navio modelo, um calcula os gastos energéticos e emissões dos motores Diesel, elétricos, geradores e caldeirinha (ver figura 113), os outros dois, um para a propulsão Diesel e outro para elétrica, que calculam as velocidades mais eficientes e ecológicas (ver figuras 114 e 115). Quanto ao simulador, em geral este calcula os gastos energéticos e emissões dos motores Diesel e geradores para qualquer navio da Marinha Portuguesa (ver figura 116).

7.1 NAVIO MODELO

7.1.1 SIMULADOR 1 – GASTOS ENERGÉTICOS E EMISSÕES

O simulador contém o conjunto de entradas e saídas e quatro botões ilustrados na figura 15.

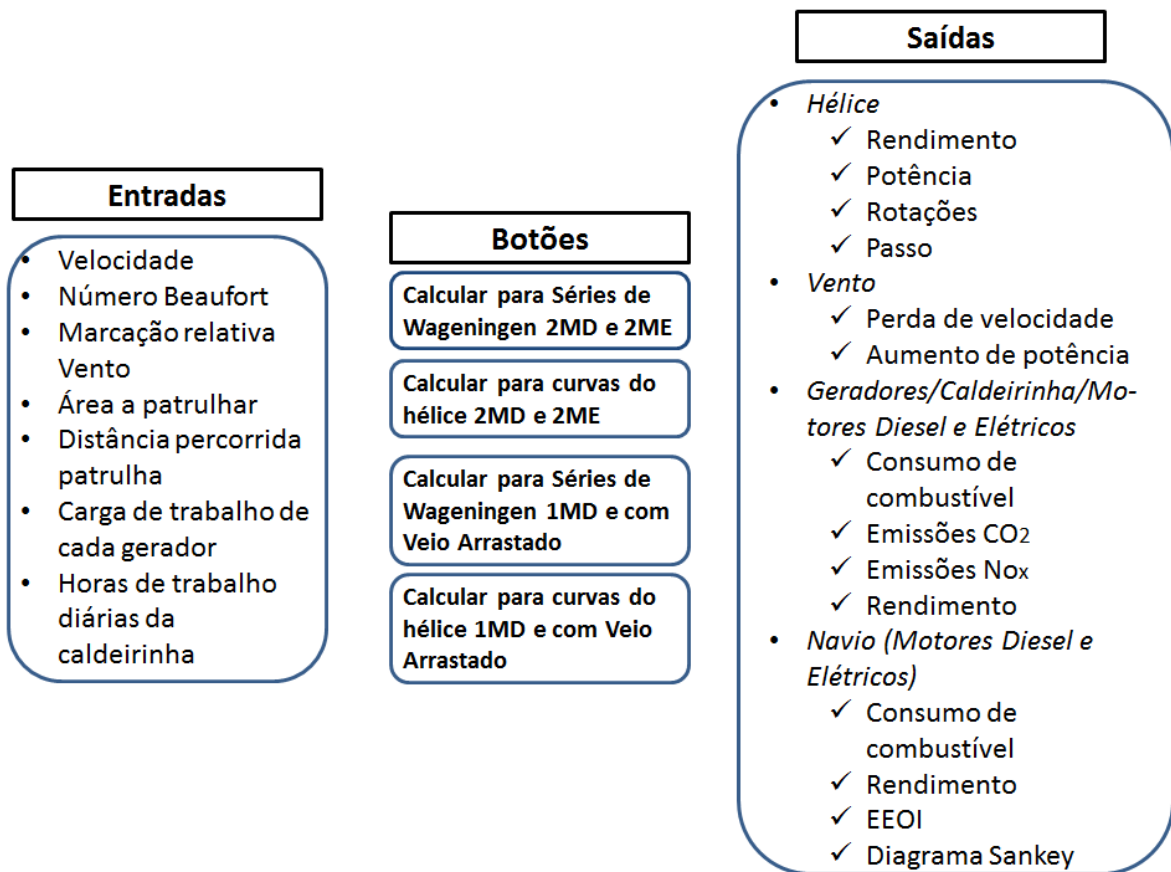


Figura 15 – Entradas, botões e saídas do simulador 1

Quando pressionado o botão “Calcular para Séries de Wageningen 2MD e 2ME” vai simular o comportamento do navio de acordo com o fluxograma representado nas figuras 16 e 17. Este fluxograma¹⁴ é praticamente o mesmo para os restantes botões. As diferenças para os restantes botões são:

- Para o botão “Calcular para curvas do hélice 2MD e 2ME”, usa as curvas do hélice determinadas nas provas de mar do navio (TESTES EM TANQUE - RESISTENCIA E PROPULSÃO HÉLICE PASSO VARIÁVEL, 2013) no tópico “CALCULA O COEFICIENTE DE AVANÇO\ ROTAÇÕES DO HÉLICE\ PASSO SOBRE O DIÂMETRO DO HÉLICE ATRAVÉS DAS SÉRIES DE WAGENINGEN - PARA O RENDIMENTO MÁXIMO DO HÉLICE” em vez de usar as séries de Wageningen.

¹⁴ Fluxograma – Representação esquemática de um ou mais processos.

- Para o botão “Calcular para Séries de Wageningen 1MD e com Veio Arrastado”, ao nível do fluxograma não existem diferenças, no entanto o cálculo da resistência e potência ao veio difere por a propulsão estar a ser efetuada apenas com um motor e um veio, estando o outro veio apenas com passo inserido mas sem qualquer tipo de propulsão.
- Para o botão “Calcular para curvas do hélice 1MD e com Veio Arrastado”, têm a mesma diferença que no botão “Calcular para curvas do hélice 2MD e 2ME” e ainda a mesma diferença quanto ao cálculo da resistência e da potência ao veio do botão “Calcular para Séries de Wageningen 1MD e com Veio Arrastado”.

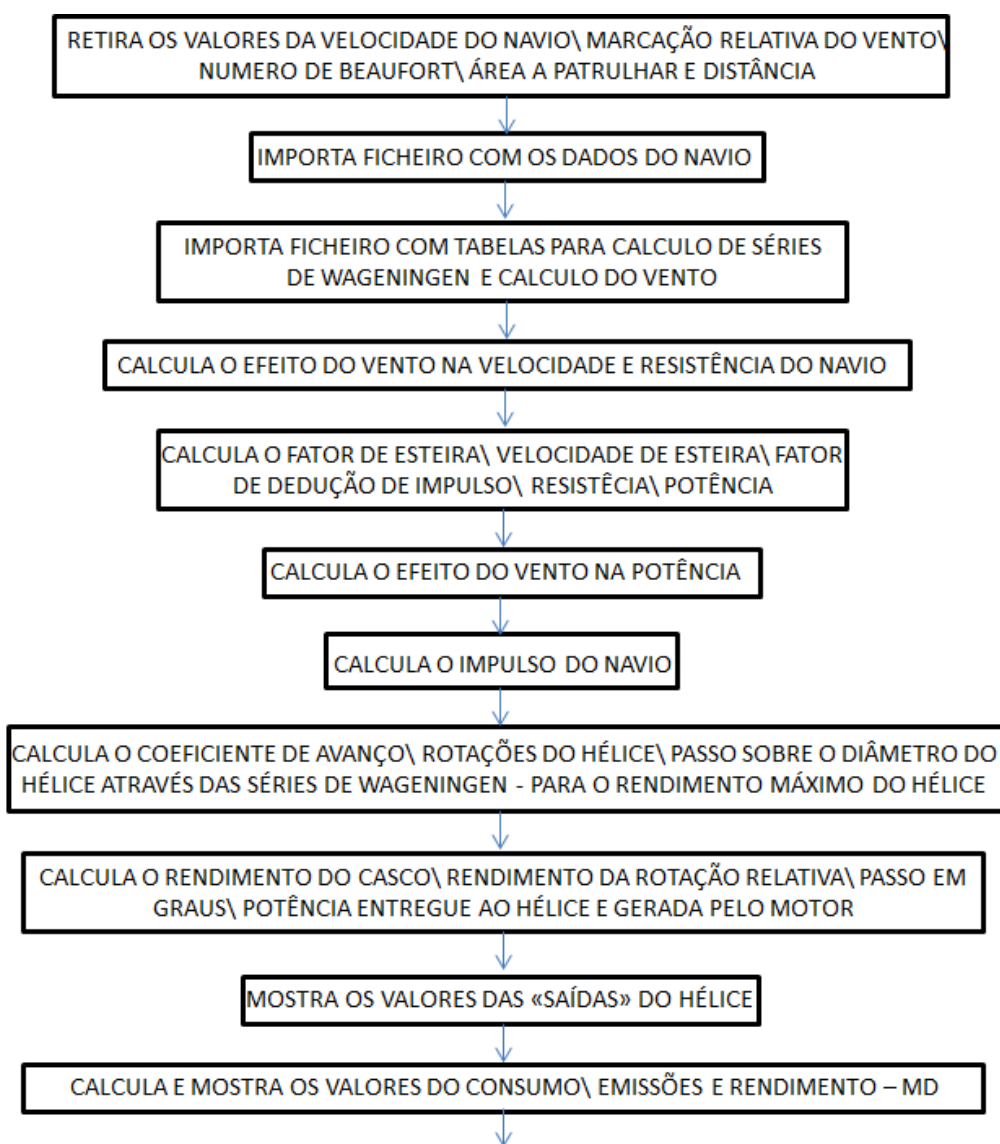


Figura 16 – Fluxograma do simulador 1 (Parte1)

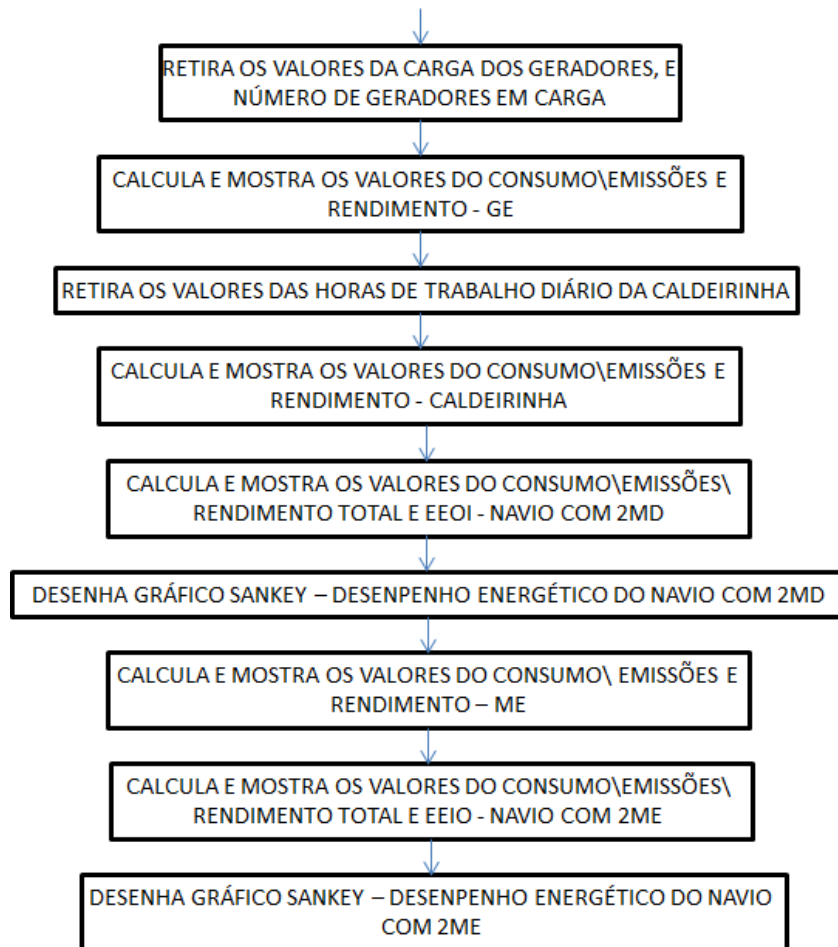


Figura 17 - Fluxograma do simulador 1 (Parte2)

7.1.2 SIMULADOR 2 e 3 – VELOCIDADE ECONOMICA E ECOLOGICA

O simulador 2 e 3 têm apenas duas “entradas”, para obter os valores das “saídas” vão calcular para todas as velocidades, entre um e vinte e um nós, de meio em meio nó, selecionando qual a velocidade com um melhor rendimento da instalação propulsora e onde o motor apresente um consumo por milha náutica inferior, ou seja, a velocidade eficiente e a económica\ ecológica respetivamente.

As figuras 18, 19 e 20 mostram as “entradas”, “botões” e “saídas” e o fluxograma para o botão “Calcular para Séries de Wageningen 2MD” do simulador 2. As diferenças, ao nível do simulador, para os restantes três botões são iguais às do simulador 1.

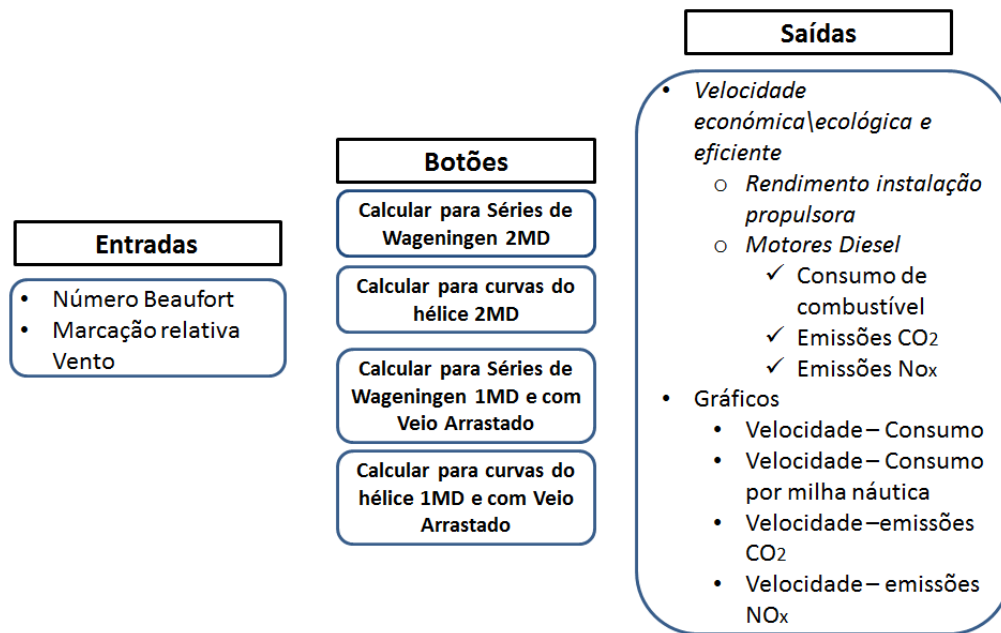


Figura 18 - Entradas, botões e saídas do simulador 2

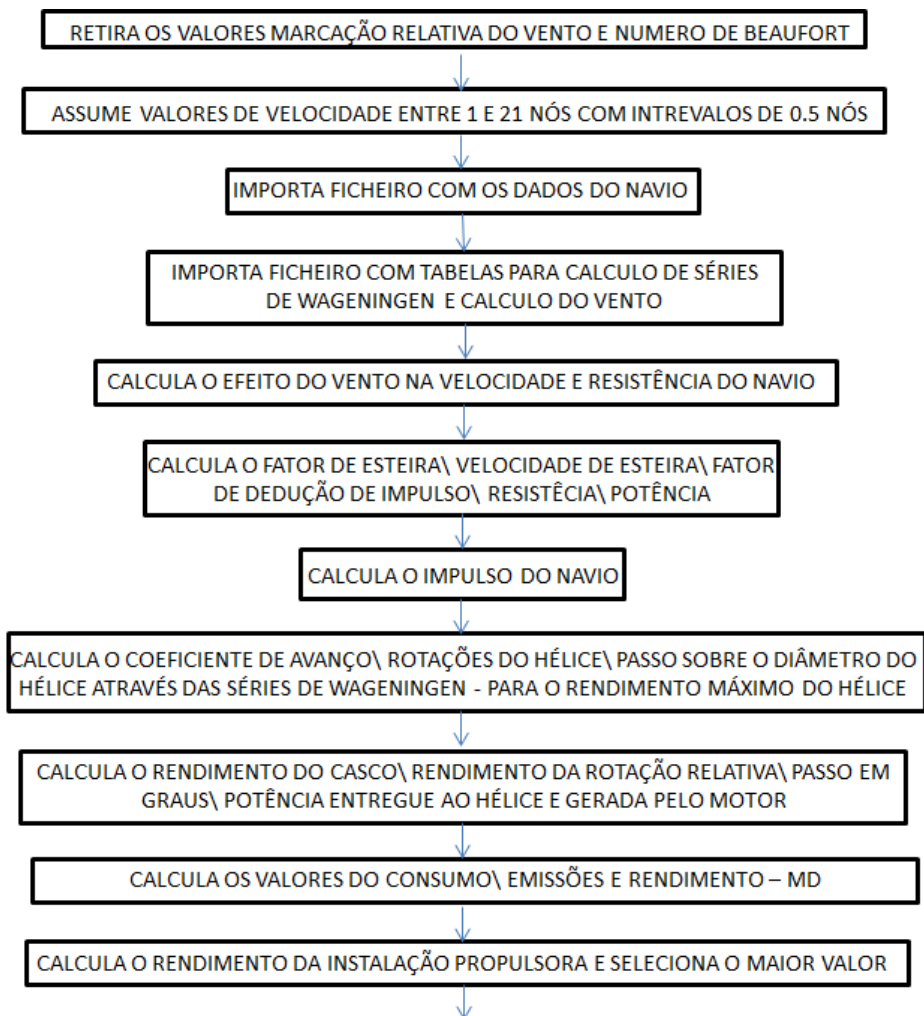


Figura 19 - Fluxograma do simulador 2 (Parte1)

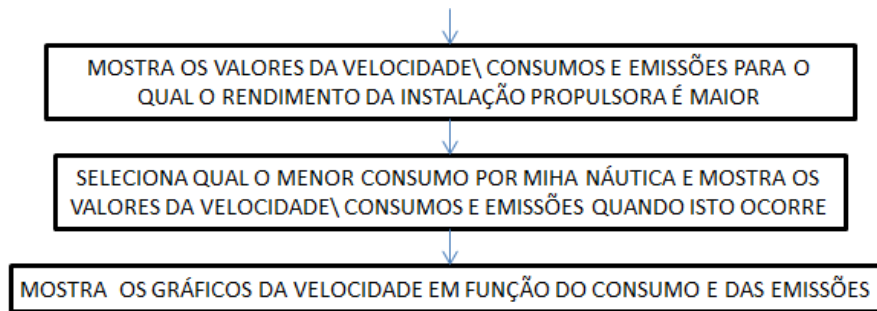


Figura 20 - Fluxograma do simulador 2 (Parte2)

O simulador 3 difere do 2 apenas porque calcula as “saídas” para os motores elétricos em vez dos motores Diesel e calcula, só para dois motores nunca apenas para um, como tal tem menos dois botões.

7.2 QUALQUER NAVIO

7.2.1 SIMULADOR 4 – GASTOS ENERGÉTICOS E EMISSÕES

O simulador 4 é muito similar ao 1, sendo as únicas diferenças:

- No simulador 4 é necessário introduzir todos os dados do navio e equipamentos para realizar a simulação, mas no simulador 1 estes dados já são conhecidos;
- Este apenas calcula para motores propulsores Diesel enquanto que o 1 também o faz para motores elétricos, tendo funcionalmente apenas dois botões;

As “entradas”, “botões”, “saídas” e fluxograma do simulador 4 estão representados nas seguintes figuras:

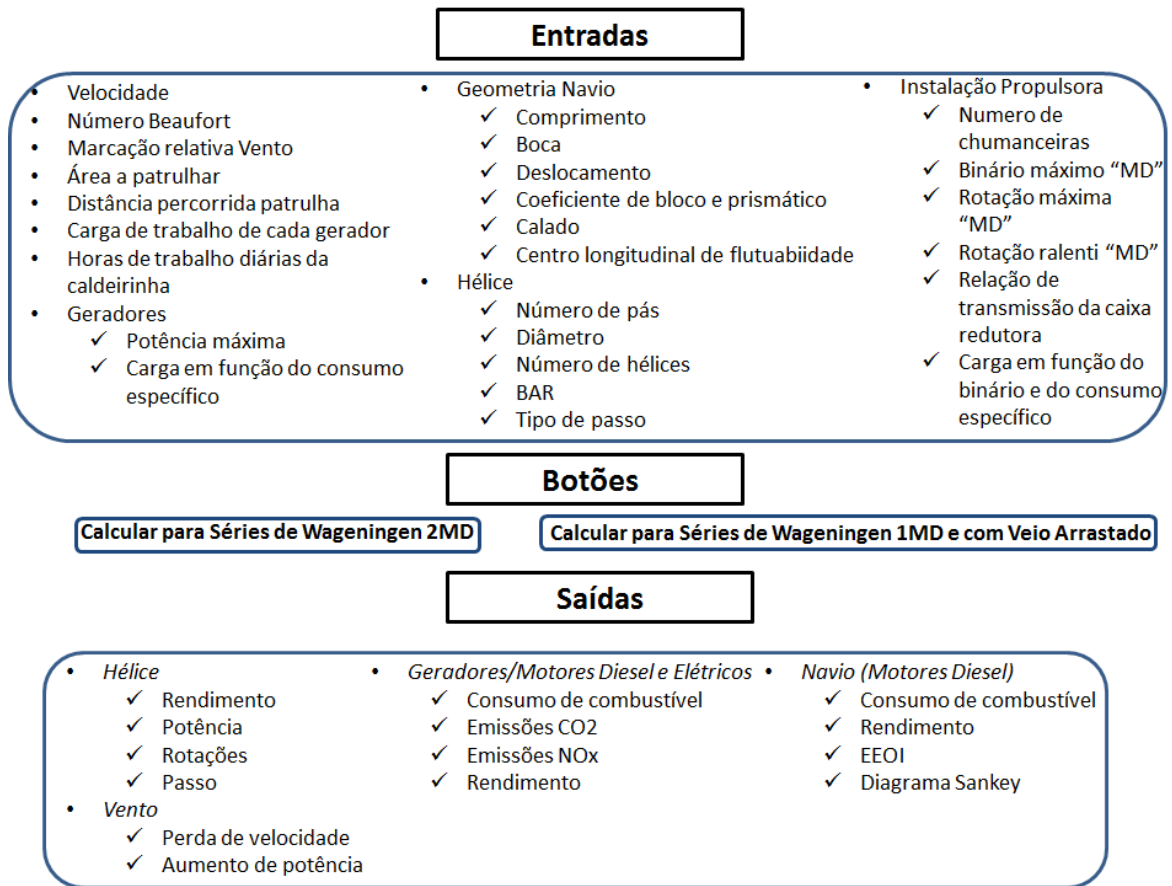


Figura 21 - Entradas, botões e saídas do simulador 4

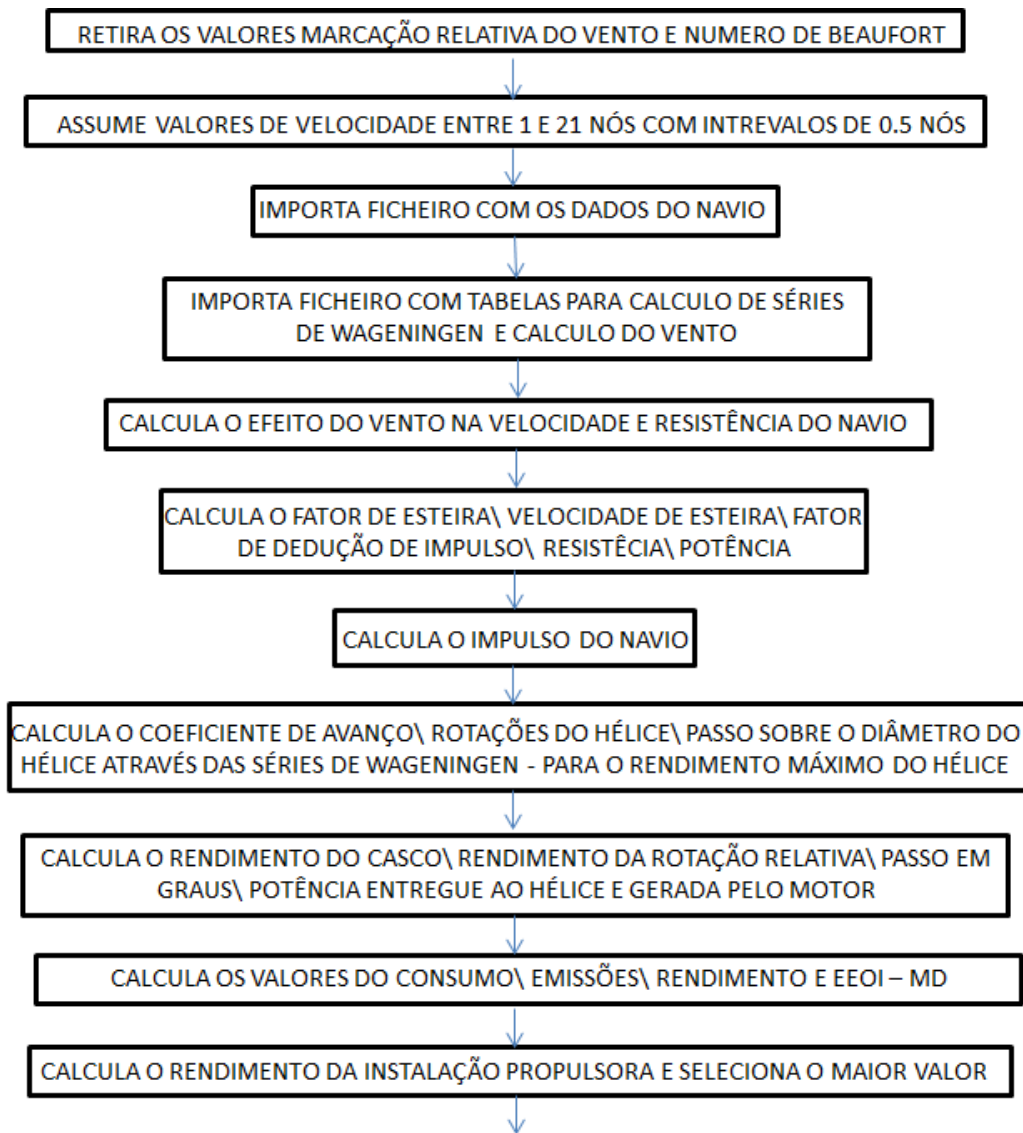


Figura 22 - Fluxograma do simulador 4 (Parte1)

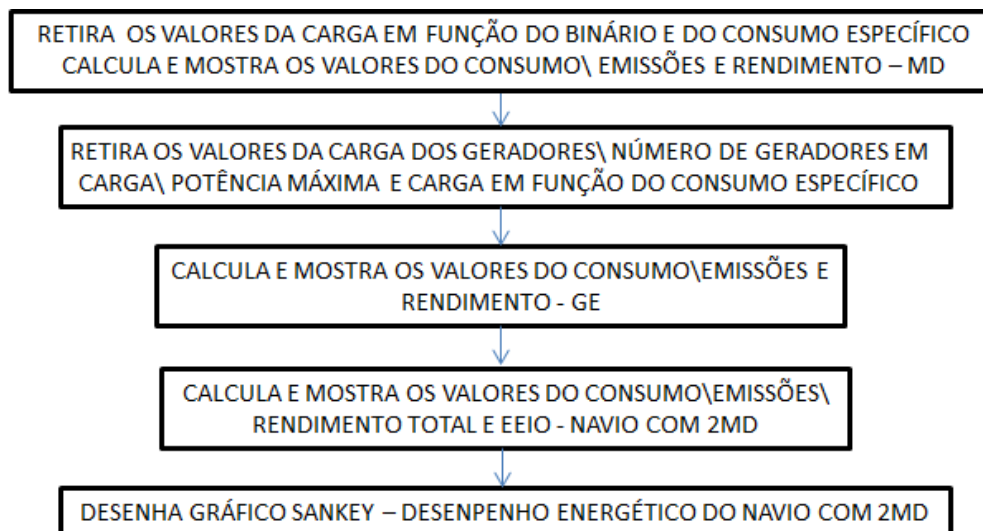


Figura 23 - Fluxograma do simulador 4 (Parte2)

8. VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

Será analisada a validade dos modelos utilizados para a elaboração dos simuladores neste capítulo. Isto partindo da comparação entre dados obtidos pelos simuladores, dos dados das provas de mar realizadas pelo estaleiro de Viana do Castelo, e dados medidos a bordo do navio modelo, “N.R.P. Viana do Castelo”.

Logo, para se realizar esta validação, é necessário haver, numa primeira fase, a recolha de dados.

A obtenção de dados através dos simuladores já foi explicada no capítulo anterior. No entanto, a medição e recolha dos dados a bordo do navio modelo será abordada seguidamente.

8.1 METODO DE RECOLHA DE DADOS

Para efetuar a medição e recolha de dados foram realizadas várias navegações no navio modelo.

Contudo, por este ser um navio da Marinha Portuguesa tem um planeamento muito móvel, com os períodos de navegação constantemente a poderem ser alterados devido ao empenhamento em diversas missões de interesse Nacional. Este facto dificultou um pouco a recolha dos dados, mas foram recolhidos todos os dados da forma mais precisa e eficaz.

Primeiro foram definidos os dados a recolher com base nas informações existentes a bordo do navio modelo e dos que se podem obter através das simulações no programa desenvolvido, pois o objetivo é a validação destes dados adquiridos e conseqüentemente dos modelos usados nos simuladores.

No “N.R.P. Viana do Castelo” existe um sistema de controlo automático à distância, denominado por “Integrated Platform Management System” (IPMS or SIGP), onde é possível gerir o controlo e operação de toda a plataforma, com os sinais que são recebidos de cada local a operar (Glover, Oakey, & Mabey, 2009), o que inclui a instalação propulsora e tanques de combustível (ver figuras 24 e 25).

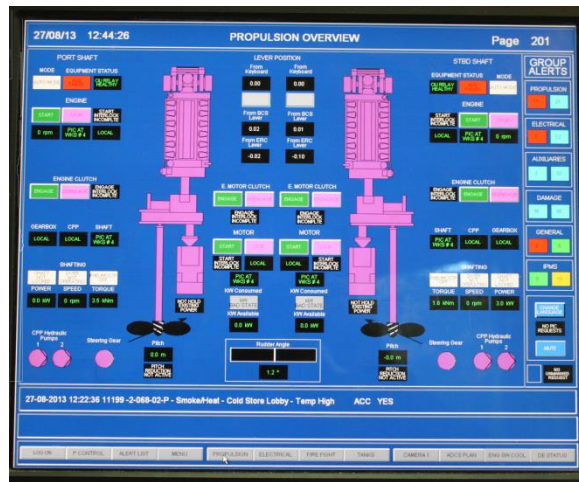


Figura 24 – SIGP, Instalação propulsora

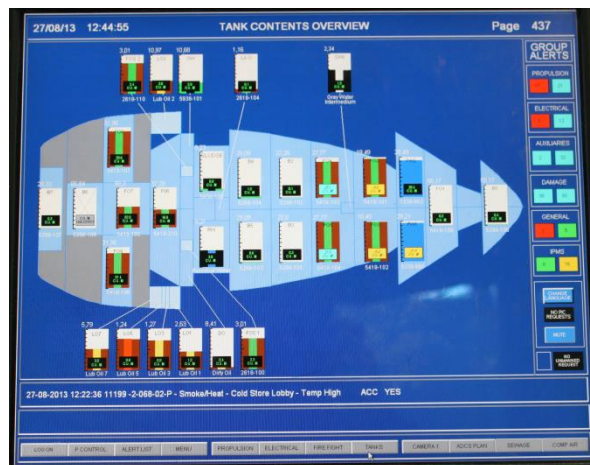


Figura 25 – SIGP, Tanques

Em cada motor de propulsão Diesel existe um controlo local de operação designado por “Wartsila Engine Control System” (WECS) que fornece vários parâmetros de funcionamento (Glover, Oakey, & Mabey, 2009) como é possível observar na figura seguinte.



Figura 26 - WECS

Para além deste sistema cada motor Diesel possui dois caudalímetros, um de admissão de combustível para o motor e um de retorno ao tanque de combustível (ver figuras 27 e 28).



Figura 27 – Caudalímetro de admissão



Figura 28 – Caudalímetro de retorno



Quanto à validação dos modelos de simulação dos geradores, motores elétricos e da caldeirinha, só pode ser feita com os dados disponíveis a bordo, a partir de sondagens realizadas aos tanques de combustível, e removendo os gastos de outros consumidores de combustível.

8.2 DADOS A RECOLHER

Os dados a recolher para a validação dos modelos de simulação da instalação propulsora com os motores propulsores Diesel são os seguintes:

- Velocidade de superfície do navio (em nós);
- Marcação relativa do vento (em graus [°]);
- Intensidade do vento através do BN;
- Estado do mar;
- Passo do hélice (em metros);
- Rotação do veio (em rpm);

- Potência no veio (em kW);
- Binário do veio (kNm);
- Rotação do motor Diesel (em rpm);
- Rotação dos turbocompressores (em rpm);
- Posição da régua dentada (em milímetros);
- Consumo combustível dos motores Diesel (em L/h).

Estes dados foram recolhidos através de um anemómetro (aparelho para medição do vento), do SIGP, do WECS e dos caudalímetros. A recolha de dados é feita com leitura direta, exceto nos caudalímetros, onde é necessário uma primeira leitura ao caudalímetro de admissão (valor em litros) e uma segunda medição após um determinado intervalo de tempo (Passos, Caudalímetro de Alimentação, 2010).

No caudalímetro de retorno é necessário passar com um íman de forma a colocar este a zero. Após esta operação, e passado um determinado intervalo de tempo é feita uma leitura (valor em litros) (Passos, Caudalímetro de Retorno, 2010). Ou seja, para determinar o consumo do motor é necessário usar a seguinte equação:

$$\dot{v}_{motores} = \frac{2^{\text{a}}\text{medição}_{\text{admissão}} - 1^{\text{a}}\text{medição}_{\text{admissão}}}{\Delta T_{\text{admissão}}} - \frac{\text{medição}_{\text{retorno}}}{\Delta T_{\text{retorno}}} \quad [L/h] \quad (8.1)$$

Para efetuar a validação dos modelos desenvolvidos para os motores elétricos propulsores, foi necessário a recolha dos seguintes dados:

- Velocidade de superfície do navio (em nós);
- Marcação relativa do vento (°);
- Intensidade do vento através do BN;
- Estado do mar;
- Passo do hélice (em metros);
- Rotação do veio (em rpm);
- Potência no veio (em kW);
- Binário do veio (kNm);
- Consumo de combustível necessário para fornecer energia elétrica aos motores (em L/h).

Todos os dados referidos são assim retirados, tal como descrito para os motores Diesel, com a exceção do consumo de combustível que é retirado do consumo realizado pelos geradores utilizados para produção de energia elétrica para estes motores.

Para se obter o consumo de combustível dos geradores, uma vez que não possuem caudalímetros, é necessário a realização de sondagens aos tanques de combustível, assumir o consumo de combustível da caldeirinha e caso se estejam a usar motores Diesel somar o valor consumido por estes (uma vez que nas sondagens aos tanques está incluído o consumo de todo o combustível).

8.3 RECOLHA DE DADOS

Foram efetuadas as recolhas de dados para a validação dos modelos da instalação propulsora a motores Diesel sempre que o navio efetuava um trânsito com um rumo estável, quando as condições meteorológicas estavam bem definidas e durante um intervalo de tempo em que o navio navegasse com o mesmo regime de máquinas.

Inicialmente, foi feita a colheita dos dados com um intervalo de tempo de dez minutos, entre leituras nos caudalímetros de combustível dos motores Diesel principais, tanto na admissão como no retorno.

No entanto, foi notado que o intervalo de tempo era demasiado curto, tendo sido obtidos dados muito díspares. Optou-se, então, por realizar as medições em intervalos de tempo de uma hora, o que levou a resultados significativamente mais fiáveis (contudo nem sempre era possível estar uma hora nas condições definidas anteriormente, como tal, e excecionalmente, alguns dados foram retirados para períodos mais curtos).

As tabelas com os dados recolhidos encontram-se no APÊNDICE B, B.1.

Foi verificado durante a recolha de dados para a validação dos modelos dos geradores, dos motores elétricos e caldeirinha, que o método utilizado, recolha por sondagem aos tanques, é ineficaz (para a mesma situação de operação os valores de consumo variavam aos milhares de litros) devido ao constante adornamento do navio e dimensão dos tanques.

8.4 ANÁLISE DOS DADOS

A análise de dados foi feita através da comparação, dos dados obtidos a navegar no N.R.P Viana do Castelo, com os dados das provas de mar realizadas pelo estaleiro e com os valores retirados dos simuladores.

Todos foram inseridos em tabelas e gráficos no *Microsoft Excel*.

A análise será inicialmente dividida entre os vários simuladores.

8.4.1 SIMULADOR 1

Uma vez que não existem dados referentes, nem aos geradores, nem à caldeirinha, a análise de dados concentrar-se-á na propulsão e serão analisados separadamente a propulsão com dois motores Diesel, com um motor Diesel e um veio arrastado e finalmente a motores elétricos.

8.4.1.1 DOIS MOTORES DIESEL

Numa primeira fase da análise do simulador 1 confrontou-se vários dados das provas de mar com os do simulador (ver tabelas 5 e 6) e foram desenvolvidos gráficos de forma a facilitar a análise (ver figuras 40, 41 e 42).

Nestes gráficos é possível observar que a potência em todos eles apresenta valores muito inferiores (principalmente para velocidades mais elevadas), o mesmo acontece para as rotações dos motores no simulador utilizando as séries de Wageningen.

Para as curvas do hélice, as rotações têm valores muito díspares para velocidades inferiores, mas valores muito próximos dos das provas de mar para velocidade acima dos quinze nós.

Uma vez que o consumo nos simuladores é calculado a partir do binário, que por sua vez deriva das rotações e da potência, este também tem valores mais baixos para velocidades mais elevadas.

Adicionalmente foi verificado que o simulador 1 não é capaz de realizar simulações para valores acima dos 19,3 nós utilizando as curvas do hélice, o que levou a repensar o método de simulação.

Visto isto, foi assumido que esta discrepância de valores é devida ao facto de as fórmulas utilizadas para o cálculo da resistência poderem não ser válidas, já que foram deduzidas com base em testes em navios mercantes (têm uma conceção muito diferente dos navios de guerra).

Sendo assim, tentou-se através das provas de mar deduzir uma equação que representasse da melhor forma a resistência total do navio em função da velocidade. Para

tal foi elaborada uma folha de cálculo no *Microsoft Excel*, onde se executou as seguintes operações (para cada velocidade do navio e potência do MD contido na tabela 5):

1. Foi retirado, com o auxílio do simulador 1, os valores dos η_H , η_O e η_R ; foram usadas as séries de Wageningen;
2. Foi determinada a P_D através da P_B fazendo uso das equações (2.29), (2.32) e (2.33), mas para o rendimento da caixa redutora e do veio foi usado o polinómio determinado anteriormente para as perdas de transmissão de potência (ver figura 32);
3. Com os valores dos η_H , η_O e η_R e da P_D , foi obtido P_E (com a equação (6.2));
4. Tendo a V_S e a P_E chega-se ao valor da R_T (usando a equação (2.7));
5. Repete-se este processo, mas utilizando os valores dos η_H , η_O e η_R determinados pelo simulador 1 com as curvas do hélice;

Após serem realizadas estas operações para todos os valores de velocidade e potência correspondente, foi criada uma curva inserindo estes dados num gráfico e foi retirado o polinómio que a representa.

Foi inserido este polinómio no simulador, em substituição do método de cálculo da resistência anteriormente definido. Contudo, este apresentava valores muito elevados relativamente aos das provas de mar, o que levou à repetição das operações realizadas.

Repetiram-se as operações com a diferença que foram determinados os valores dos η_H , η_O e η_R com o simulador 1 a utilizar o polinómio calculado primeiramente e ajustaram-se os valores da resistência de forma a garantir melhores resultados.

O novo polinómio (representado na figura 38) já caracteriza melhor a resistência do navio, como se pode observar comparando as tabelas 5 e 7 e visualizando os gráficos das figuras 43, 44 e 45.

Estes gráficos e tabelas demonstram que o simulador, tanto usando as séries de Wageningen, como as curvas do hélice, apesar da discrepância dos valores da potência e das rotações do motor relativamente aos dados das provas de mar, estes caracterizam bem o consumo de combustível (o que leva a querer que o polinómio deduzido para o cálculo do consumo específico de combustível (figura 34) determina valores mais elevados do que o que está previsto nas provas de mar).

Apesar da dedução da resistência, o simulador utilizando as curvas do hélice não é capaz de simular valores acima dos 18,7 nós.

A explicação para esta situação é a de que as curvas do hélice para valores muito elevados foram obtidas por interpolação, ou seja, os valores de K_T e K_Q para velocidades muito elevadas podem não ser os mais corretos, ou para curvas características do navio a velocidades elevadas os valores do rendimento do hélice são muito baixos ou até mesmo inexistentes.

As simulações realizadas com a resistência deduzida apresentam resultados bastante satisfatórios, uma vez que o objetivo principal do simulador é o de funcionar como ferramenta de preparação de viagem, isto é, os valores mais relevantes para este tipo de ferramenta são os do consumo de combustível e rendimentos, que são muito semelhantes aos das provas de mar (apesar de os rendimentos não serem apresentados nestes dados, pode ser assumido que estes valores estão tão bons quanto os do combustível, já que deriva deste (equação (6.17))). Por fim, foram comparados alguns dos dados retirados a navegar com os dados das provas de mar e dos simuladores através das tabelas 5, 6, 7 e 8 e dos gráficos das figuras 46, 47 e 48.

No entanto, os dados referidos não foram todos retirados nas mesmas condições de mar, apesar da intensidade do vento a que o navio estava sujeito nessa altura ser o mesmo. Isto levou a que este tipo de análise não seja adequado para estes dados.

Para analisar os dados retirados durante a navegação a bordo do navio modelo, foi efetuada a simulação com o simulador 1, tanto com a resistência teórica, como com a deduzida e fez-se a comparação dos dados para cada velocidade e intensidade e direção do vento (ver dados desde a tabela 9 até à 15 e gráficos presentes desde a figura 49 até à 69).

Nesta comparação há que ter em conta os seguintes aspetos:

1. A posição onde é medida a potência e rotação do veio, porque no simulador é junto ao hélice, enquanto que no navio a medição é feita depois da primeira chumaceira a contar de ré para vante;
2. O binário do veio é calculado com a potência e rotação no veio a partir da equação (2.27);
1. A potência do motor foi determinada através da rotação dos turbocompressores usando um polinómio determinado no *Microsoft Excel* com um gráfico criado a partir dos dados retirados do protocolo de receção dos motores Diesel (ver

figura 37) (MOTOR DIESEL PROPULSOR - FACTORY ACCEPTANCE TEST, 2013).

A interpretação dos dados vai ser dividida da seguinte forma:

- Potência no veio;

O simulador 1, programado com a resistência teórica apresenta valores inferiores de potência no veio, confirmando assim a primeira suposição em relação à resistência (isto é, a potência no veio advém da potência efetiva e dos rendimentos do hélice, da rotação relativa e do casco (ver equação (6.2)).

Estes dois últimos podem ser excluídos, uma vez que o seu efeito sobre a potência no veio é muito reduzido para as discrepâncias de valores que existe.

O rendimento do hélice depende da curva característica do navio, que por sua vez depende em grande parte do valor da resistência do navio (ver equação (6.13)), o que terá um efeito bastante significativo na potência no veio, tal como acontece com a potência efetiva, já que é função da resistência (ver equação (2.7)).

Sendo assim, a resistência do navio é o fator com mais impacto na potência.

Este facto, determinante, terá um grande impacto sobre todos os outros valores que serão estudados.

O simulador 1, programado com a resistência deduzida, apresenta valores mais elevados do que os reais, mas no fim apresenta valores de consumo de combustível muito próximos da realidade, ou seja, a diferença entre os valores do simulador e os dados reais, não estavam apenas relacionados com a resistência, mas também o estavam com a simulação dos valores, desde a potência no veio até ao consumo de combustível.

Há ainda que sublinhar que o simulador, usando as curvas do hélice apresenta sempre valores mais baixos independentemente de o simulador estar programado para com a resistência teórica, ou com a deduzida.

Isto deve-se ao facto de as curvas do hélice apresentarem melhores rendimentos.

- Rotação, potência e consumo do MD;

A potência do MD é determinada através da potência no veio, como já foi referido; por isso, apresenta sensivelmente a mesma variação de valores, devido às mesmas causas.

Há que salientar que a variação de valores entre a potência do veio e a dos motores, nos dados reais é muito inferior (para velocidades superiores a 15 nós, já que os dados retirados não permitem tirar conclusões para velocidades inferiores) à dos simuladores, de aqui pode-se concluir que a curva de valores assumida para as perdas de transmissão de potência (figura 32) não corresponde à realidade, sendo estas mais acentuadas.

Como foi referido, para velocidades menores que 15 nós, não é possível tirar ilações para os valores da potência dos motores. Isto porque os valores apresentados nos dados retirados com a rotação dos turbocompressores através do polinómio desenvolvido (figura 37), não apresentarem resultados aceitáveis para esta gama de velocidades.

As rotações do MD são deduzidas através das rotações do veio nos simuladores, e serão abordadas mais tarde.

O método utilizado para o cálculo do consumo não é de fácil avaliação, já que os consumos são determinados, como já mencionado, (nos simuladores) através do consumo específico obtido pelo polinómio deduzido em função do binário (figura 34) (este é calculado a partir das rotações e potência (ver equação (2.35)) e pela potência (ver equação (2.38)).

Salientando-se assim o facto deste estar muito dependente da potência do motor, tanto antes de se efetuar o cálculo com o polinómio, como depois, tendo em conta as discrepâncias dos valores ao nível das potências, não é assim possível tirar qualquer conclusão quanto à fiabilidade do polinómio usado.

- Passo do hélice e rotação e binário do veio;

As curvas do hélice aproximam-se mais da realidade, especialmente com o simulador programado para a resistência deduzida, uma vez que apresentam tendencialmente rotações mais elevadas e um binário e passo mais baixo, mas como a resistência do navio não corresponde à realidade, os valores deste também não correspondem aos verdadeiros.

As séries de Wageningen têm melhores rendimentos para passos do hélice maiores, logo estas apresentam binários mais elevados e rotações mais baixas.

Entre as rotações do veio e as do MD existe uma variação superior nos dados reais relativamente aos restantes dados. Isto deve-se a estes serem calculados, não só através da desmultiplicação da caixa reductora (equação (2.34)) como utilizando as equações (6.15) e

(6.16) para as perdas. Concluindo-se que estas ultimas equações não caracterizam da melhor forma esta relação no navio modelo.

- Efeito do vento;

Com estes dados não se consegue tirar qualquer conclusão em relação às perdas de potência e velocidade devido ao efeito do vento, uma vez que não existem dados do navio a navegar com os telémetros de comando na mesma posição para diferentes intensidades e direções de vento.

Neste estudo, de comparação dos dados recolhidos a navegar com o simulador, confirmou-se a premissa que o simulador (especialmente o programado com a resistência deduzida, e fazendo uso das séries de Wageningen) exhibe valores de consumo de combustível e de rendimento, como já referido, próximos dos reais. Tornando este simulador aceitável como ferramenta de preparação de viagem.

8.4.1.2 UM MOTOR DIESEL E UM VEIO ARRASTADO

Tal como no ponto anterior para os dois motores Diesel, foram analisados os vários dados das provas de mar com os do simulador através de tabelas e gráficos desenvolvidos para o efeito (ver tabelas 16, 17 e 18 e figuras 70, 71, 72, 79, 80 e 81).

Nos dados analisados, existe diferenciação entre os motores Diesel de BB e de EB. No entanto, nos simuladores não existe qualquer diferença entre estes, a diferenciação é ao nível dos dados retirados a navegar e das provas de mar.

Nestes, pode-se observar que a potência e o consumo em todos eles apresentam valores muito inferiores (sobretudo para velocidades mais elevadas), o mesmo acontece para as rotações dos motores para velocidades entre médias.

Sendo assim, tal como para os motores Diesel, o facto de os dados apresentarem estas diferenças de valores é devido à resistência do navio calculada não corresponder à realidade (a resistência total do navio será naturalmente maior que para o navio a navegar com os dois motores, devido à resistência do hélice arrastado e do leme).

Visto isto, voltou-se a deduzir uma equação que representasse da melhor forma a resistência total do navio em função da velocidade (uma vez que a resistência total do navio é alterada devido à utilização de um ou dois motores, a resistência anteriormente

deduzida a partir dos valores das provas de mar para dois motores diesel não era válida para um).

Para deduzir esta equação foi utilizado o mesmo procedimento que para dois motores, exceto o de que as operações foram executadas para cada velocidade do navio e potência do MD contido na tabela 16.

A equação deduzida já apresenta valores mais satisfatórios, nomeadamente para as séries de Wageningen nos consumos de combustível. Contudo, o simulador para estas séries apresenta valores de potência mais elevados e rotações do motor mais baixas.

Para as curvas do hélice, o simulador exhibe valores de potência muito inferiores relativamente às provas de mar, o mesmo acontecendo para as rotações do motor (sobretudo a velocidades mais elevadas). Logo os consumos também são muito inferiores.

Quanto à análise dos dados recolhidos a navegar, assim como para dois motores, foram inseridos os dados numa tabela e representados graficamente estes em comparação com os dados das provas de mar e do simulador (ver tabelas 20 e 21 e figuras 76, 77, 78, 85, 86 e 87). Todavia chegou-se à mesma conclusão que se tinha chegado para os dois motores pelos mesmos motivos.

Para analisar estes dados, foi efetuada a simulação com o simulador 1, tanto com a resistência teórica, como com a deduzida e fez-se a comparação dos dados para cada velocidade e intensidade e direção do vento (ver dados desde a tabela 22 até à 29 e gráficos presentes desde a figura 88 até à 111).

Para a realização deste estudo foram tidas em conta as mesmas considerações que na análise para os dois motores Diesel.

A interpretação dos dados vai ser realizada da seguinte forma:

- Potência no veio;

O simulador programado com a resistência deduzida, usando as séries de Wageningen, é o único que apresenta valores próximos dos reais e apenas para valores a rondar os 15 nós.

Para as restantes velocidades, os dados são todos muito diferentes dos reais, apesar de se ter deduzido uma nova resistência com base nas provas de mar, o simulador utilizando estas tem valores de potência no veio muito superiores aos reais.

As curvas do hélice apresentam sempre valores inferiores, relativamente às séries de Wageningen, assim como acontecia para dois motores, devido ao facto de ter melhores rendimentos.

- Rotação, potência e consumo do MD;

Em relação à potência do MD, mantem-se os comentários feitos para os dois motores, visto as simulações se realizarem da mesma forma.

As rotações do MD, assim como para dois motores, serão abordadas juntamente com as rotações do veio.

O consumo de combustível assume valores próximos aos reais, para as resistências deduzidas, usando as séries de Wageningen para os 15 nós e utilizando as curvas do hélice para os 14 nós.

Nos restantes valores de velocidade os valores são muito díspares.

Quanto ao método de cálculo de combustível, tiram-se as mesmas ilações que para dois motores.

- Passo do hélice e rotação e binário do veio;

O hélice verdadeiro apresenta tendencialmente um passo inferior e conseqüentemente uma rotação elevada e um binário reduzido.

O simulador que utiliza as curvas do hélice é o que mais se aproxima deste, no entanto os valores diferem muito devido à resistência teórica e deduzida não representarem a realidade.

As séries de Wageningen, tal como no estudo com dois motores, apresentam valores de passo do hélice mais elevados, logo rotações mais baixas e um binário maior, o que as afasta da realidade.

A relação entre as rotações do veio e do MD é a mesma que em dois motores, uma vez que o seu cálculo se efetua da mesma forma.

- Efeito do vento;

Nestes dados, apesar de se terem valores com o telémetro na mesma posição para diferentes intensidades e direções de vento, é para motores diferentes, e como é possível observar nos dados nas tabelas 9 até à 15, os motores apresentam consumos de

combustível diferentes para a mesma posição do telémetro de comando (o motor de BB consome mais).

Com isto e acrescentando o facto da existência de pouca variedade de dados não se chegou a nenhuma conclusão relativamente ao efeito do vento.

Nesta análise dos dados recolhidos a navegar com o simulador, chegou-se à conclusão que o simulador não mostra valores próximos dos reais, exceto para o consumo de combustível e de rendimento para valores próximos dos quinze e catorze nós (usando o simulador programado com a resistência deduzida).

Assim sendo, este simulador não é uma ferramenta de preparação de viagem satisfatória para o navio a navegar com um motor Diesel e um veio arrastado.

8.4.1.3 DOIS MOTORES ELÉTRICOS

Foi realizado o estudo a partir da comparação dos vários dados das provas de mar com os do simulador (ver tabelas 30 e 31) e foi desenvolvido um gráfico de forma a facilitar este estudo (ver Figura 112 112).

Neste estudo só é possível analisar o consumo de combustível.

Os consumos de combustível, tanto com as séries de Wageningen, como com as curvas do hélice, são superiores aos das provas de mar, à exceção de que para valores de velocidade inferiores a cinco nós as curvas do hélice apresentam valores mais baixos.

O facto destes valores serem superiores pode estar relacionado com vários fatores:

- A resistência e a potência no veio podiam ser um deles, mas como para os MD o método de cálculo exibiu sempre valores de resistência e potência inferiores aos reais, estas hipóteses podem ser excluídas;
- O cálculo dos rendimentos e rotações no veio está relacionado com a potência no veio, logo também se podem excluir;
- Restam como principais hipóteses:
 1. A relação entre a potência fornecida ao veio pelos motores elétricos e a potência fornecida pelos geradores aos motores elétricos;
 2. O cálculo da carga dos geradores;
 3. O cálculo do consumo dos geradores;

Contudo, com os dados disponíveis, não é possível verificar estas hipóteses.

Por último, foi simulado com a resistência deduzida para dois MD o consumo dos ME. No entanto, tal como esperado, os valores eram ainda mais elevados (ver tabela 32).

Concluiu-se desta análise que o simulador para os ME não caracterizava da melhor forma o desempenho do navio.

8.4.2 SIMULADOR 2 E 3

O simulador 2 e 3 utilizam o mesmo método de cálculo do simulador 1, só que estão programados de forma a darem outros valores, ou seja, apresentam as mesmas características, como tal também se aplicou a resistência deduzida a estes.

Para analisar o simulador 2 e 3 será com base no estudo realizado para o simulador 1, uma vez que têm as mesmas características.

Tem-se dois simuladores 2, um com a resistência teórica e um com a deduzida, e um simulador 3 com a resistência teórica.

Os simuladores 2 apresentam melhores resultados nas seguintes situações:

1. Para dois MD, utilizando a resistência deduzida e as séries de Wageningen;
2. Para um MD e com um veio arrastado, utilizando a resistência deduzida, no entanto os resultados não serão muito fiáveis como se estudou anteriormente;

O simulador 3 é idêntico ao simulador 1 com dois ME, que como já se havia concluído não apresenta bons resultados.

Em conclusão, os simuladores 2 só devem ser usados para dois MD, pois só estes valores estarão próximos dos reais. O simulador 3 não deverá ser usado, pois os valores serão superiores aos estabelecidos nas provas de mar e ainda não se sabe qual a sua proximidade em relação a valores reais.

8.4.3 SIMULADOR 4

O simulador 4 é muito semelhante ao simulador 1, programado com a resistência teórica e as séries de Wageningen.

Uma vez que o simulador 4 é para ser aplicado a qualquer navio, não se pode aplicar a resistência que foi deduzida para o navio modelo com base nas provas de mar deste, nem usar as curvas do hélice do navio modelo.

O simulador 4 apresenta os mesmos valores que o simulador 1 na situação descrita para o navio modelo. Não se realizou nenhuma análise a este simulador com dados de outros navios.

Sendo assim, a única ilação que se pode tirar a este simulador é a de que aplicado ao navio modelo apresenta valores distantes dos reais.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo, será apresentada uma visão geral da dissertação, hipóteses, objetivos cumpridos e recomendações.

Sugestões para possíveis pesquisas futuras a fazer nesta área.

Limitações reconhecidas e sentidas neste projeto e problemas e desafios encontrados no desenrolar deste trabalho.

9.1 VISÃO GERAL

Esta dissertação de mestrado surge da necessidade de reduzir os gastos energéticos a bordo dos navios.

Primeiramente, no capítulo do “Enquadramento Teórico” foram adquiridos e documentados todos os conhecimentos e informações necessárias para o entendimento e desenvolvimento deste tema.

Posteriormente, foram definidos no capítulo das “Metodologias de Investigação”, as hipóteses, os objetivos a cumprir e a forma de abordar esta temática, sempre com o objetivo de otimizar da melhor forma a energia gasta a bordo dos navios.

Seguidamente, nos capítulos “Navio Modelo” e “Sistema Navio” foi caracterizado um navio, o “N.R.P. Viana do Castelo”, navio selecionado para a realização de testes, de forma a entender a temática da otimização energética.

As premissas da otimização foram estudadas através do desenvolvimento de simuladores energéticos criados com base na modelação matemática de conversores de energia realizada.

Finalmente, foi analisado o desempenho dos simuladores através das provas de mar realizadas no estaleiro e de testes realizados a bordo do navio modelo, de forma a validar os simuladores desenvolvidos.

9.2 HIPÓTESES E OBJETIVOS CUMPRIDOS

Os objetivos e hipóteses apresentadas nos subcapítulos 1.1 e 3.1 são analisados neste subcapítulo, pois toda esta dissertação foi desenvolvida com base nestes.

Alem das várias conclusões retiradas ao longo do capítulo dedicado à análise de dados, torna-se não só necessário fazer um comentário final sobre os resultados obtidos, como efetuar uma reflexão geral sobre este trabalho.

A modelação matemática dos conversores de energia foi realizada com sucesso. Foi criada uma sequência de equações e métodos de cálculo para o sistema propulsor, gerador de energia elétrica e térmica, assentes em fontes de informação bastante fiáveis.

Os simuladores elaborados a partir do *MATLAB* com base na modelação matemática, foram programados de forma eficaz, exibindo todos os valores pretendidos e efetuando os cálculos dos modelos desenvolvidos de acordo com o pretendido.

Dois dos simuladores foram desenvolvidos como ferramentas de preparação de viagem tendo em conta as condições meteorológicas e a vertente energética e ambiental para os vários modos de operação, um para o navio modelo e o outro para qualquer navio de guerra da Marinha Portuguesa.

Foi verificada a validade destes simuladores. Numa primeira fase com os dados das provas de mar do navio modelo realizadas no estaleiro, tendo-se concluído desta análise que o método de cálculo da resistência total não era adequado ao navio modelo.

Para os ME durante a análise de dados foram eliminadas algumas hipóteses, pelo facto de o simulador não dar os valores esperados.

Foi efetuada a recolha de dados a navegar no navio modelo, para validação dos modelos. Contudo, esta recolha foi apenas efetuada para a propulsão Diesel, ficando em falta os motores elétricos, geradores e caldeirinha, isto porque o método definido para recolha destes foi entendido como ineficaz.

Posteriormente, analisando os simuladores com os dados recolhidos, chegou-se à conclusão que a discrepância entre os dados não se devia só à resistência, mas também à simulação dos valores, desde a potência no veio até ao consumo de combustível, nos MD.

O simulador 1, para dois MD, quando programado com a resistência deduzida e fazendo uso das séries de Wageningen é uma ferramenta de preparação de viagem

satisfatória. Contrariamente a quando é utilizado para um MD com um veio arrastado ou para dois ME.

Contudo, o modo de operação com um MD e um veio arrastado não é um modo de funcionamento normal, ocasionando um acréscimo de resistência não caracterizado em testes e de difícil antevisão por modelação matemática. Logo, os resultados obtidos não são assim tão maus.

O simulador 2, tal como o 1, só deve ser usado para dois MD, pois só estes valores estarão próximos dos reais; o simulador 3 não deverá ser usado, pois os valores serão superiores aos estabelecidos nas provas de mar e ainda não se sabe qual a sua proximidade em relação a valores reais.

Por fim, o simulador 4, pelo estudo realizado, quando este é aplicado ao navio modelo apresenta valores distantes dos reais.

Sendo assim, a modelação matemática precisa de ser reformulada, principalmente ao nível da resistência do navio e das perdas de energia.

Quanto à recolha de dados, esta deverá ser mais exaustiva, pois a falta destes levou a uma análise incompleta. Análise esta onde, por exemplo, não foi possível tirar qualquer conclusão em relação aos efeitos do vento sobre o navio, nem para todos os regimes dos MD.

Em suma para além de ter sido desenvolvida uma ferramenta de preparação de viagem foi desenvolvida uma ferramenta que pode ser bastante útil para a determinar o balanço energético do navio após a sua construção antes da realização das provas de mar.

9.3 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

Neste subcapítulo vão ser apresentadas algumas ideias e recomendações para trabalhos futuros nesta área, sendo a maior parte delas baseadas na resolução de certos problemas que foram verificados e que necessitam de resolução.

Será importante desenvolver um método de cálculo da resistência não só eficaz para o navio modelo, como para todos os outros navios de guerra da Marinha Portuguesa.

Verificar quais as implicações, as vantagens e desvantagens de operar apenas com um MD. Caso seja vantajoso melhorar a metodologia desenvolvida para a simulação deste modo de operação.

A recolha de dados deverá ser efetuada durante um período de tempo mais longo e não só no navio modelo, mas também noutros navios.

Deverá existir outro processo para recolher os dados dos geradores e da caldeirinha (sugerindo-se o uso de caudalímetros).

Deverão ser analisadas outras formas de desenvolvimento de uma ferramenta de preparação de viagem, tendo em conta as condições meteorológicas e a vertente energética e ambiental para os vários modos de operação. Outros métodos de cálculo, desde a potência efetiva à energia primária.

Deverá ser confirmada se a metodologia utilizada nos simuladores para o cálculo do efeito do vento, pode ou não ser aplicada. Poderão ser criadas alternativas para determinar este efeito sobre os navios (sugere-se usar as áreas vélicas do navio segundo as equações apresentadas no (Molland, Turnock, & Hudson, 2011)).

Poderão ser adicionados aos simuladores o efeito da corrente e ondulação marítima sobre a potência do navio (o livro (Molland, Turnock, & Hudson, 2011), apresenta várias fórmulas para o estudo deste efeito).

De forma a facilitar a análise, recolha de dados, a simulação do comportamento energético, as vantagens e desvantagens em cada modo de operação, sugere-se a inserção de caudalímetros

9.4 LIMITAÇÕES E PROBLEMAS ENCONTRADOS

Perante um tema tão vasto como o que foi escolhido para este trabalho a primeiras dificuldades sentidas foram: a da focalização relativa aos temas a abordar, a definição programática do trabalho e a bibliografia apropriada para a orientação do mesmo.

Depois desta fase inicial, as maiores limitações encontradas são relativas à recolha de dados a bordo do navio modelo.

Durante esta recolha, foi entendido que para os dados apresentarem valores válidos, as medições teriam de ser efetuadas durante uma hora com o navio a navegar ao mesmo rumo

e sobe as mesmas condições meteorológicas. Este facto restringiu bastante a quantidade e a variedade de dados possíveis de retirar.

Adicionalmente, foi sentido que, para o efeito pretendido, foi demasiadamente curto o período de navegação realizado a bordo do navio, sem que este estivesse empenhado em qualquer tipo de missão.

Outra limitação sentida durante a recolha de dados foi a de o navio modelo não ter caudalímetros de combustível para os geradores nem para a caldeirinha. Este facto impossibilitou a validação dos simuladores para estes equipamentos e para os motores eléctricos.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- The Wartsila Engine Documentation.* (2003). S. Dorligo della Valle Trieste: Wartsila Corporation.
- Volvo Penta Marine Genset.* (2004). Goteborg: Volvo Penta.
- INSTRUCTION MANUAL CPP. (2005). Nantes Cedex: Wartsila Corporation.
- Manual de Operação e Manutenção - Motor Electrico da Propulsão B5M 355 LD 6. (2009). Lisboa: Direcção de Navios.
- Manual de Sistema, Descrição - Condução - Manutenção, Instalação Propulsora.* (2010). Lisboa: Direcção de Navios.
- (20 de Dezembro de 2012). *VOLVO PENTA MARINE GENSET TAMD165A.* Suécia.
- (5 de Dezembro de 2012). Obtido de ITTC: <http://itc.sname.org/introduction.htm>
- Annual Energy Outlook 2012.* (20 de Setembro de 2012). Obtido de EIA: [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2012\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2012).pdf)
- Patrulhas Oceânicos.* (2 de Outubro de 2012). Obtido de Marinha Portuguesa: <http://www.marinha.pt/pt-pt/meios-operacoes/armada/navios/patrulhas-oceanicos/Paginas/NRP-Viana-do-Castelo.aspx>
- (20 de Fevereiro de 2013). *MOTOR DIESEL PROPULSOR - FACTORY ACCEPTANCE TEST.*
- (1 de Março de 2013). *TESTES EM TANQUE - RESISTENCIA E PROPULSÃO HÉLICE PASSO VARIÁVEL.*
- (15 de Abril de 2013). *ELECTRICAL EQUIPMENT TEST REPORT.* Wartsila.
- About IMO.* (6 de Junho de 2013). Obtido de IMO: <http://www.imo.org/About/Pages/Default.aspx>
- About ISO: ISO.* (20 de Abril de 2013). Obtido de ISO: <http://www.iso.org/iso/home/about.htm>
- Chapter 15 - Fuels, Oils, Lubricants and Petroleum Handling Equipment: NATO Logistics Handbook.* (19 de Abril de 2013). Obtido de NATO : <http://www.nato.int/docu/logi-en/1997/lo-15a.htm>
- International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL).* (6 de Junho de 2013). Obtido de IMO: [http://www.imo.org/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-\(marpol\).aspx](http://www.imo.org/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx)
- Matlab.* (1 de Junho de 2013). Obtido de Mathworks: http://www.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html
- Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13.* (10 de Janeiro de 2013). Obtido de IMO: [http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)---Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)---Regulation-13.aspx)
- Aertssen, G. (1975). *The effect of weather on two classes of container ship in the North Atlantic.* London: RINA.
- Carmo, H., & Ferreira, M. M. (2008). *Metodologia Da Investigação.* Lisboa: Universidade Aberta.

- Cengel, Y. A. (2001). *Fundamentals of Thermal Fluid Sciences*. McGraw-Hill.
- Çengel, Y. A., & Turner, R. H. (2001). *Fundamentals of Termal-Fluid Sciences*. Singapore: McGraw-Hill Higher Education.
- Dionísio, L. (5 de Fevereiro de 2013). *Hydrostatic coefficientes*. Lisboa, Portugal: Marinha - Direção de Navios.
- Froude, W. (1872). *Experiments on the surface-friccion experienced by a plane moving through water*. Brighton.
- Froude, W. (1874). *Report to the Lords Commissioners of the Admiralty on experiments for the determination of the frictional resistance of water on a surface, under various conditions, performed at Chelston Cross, under Authority of their Lordships*. Belfast.
- Gillmer, T. C. (1972). *Modern Ship Design*. United States Naval Institute.
- Glover, M., Oakey, P., & Mabey, J. (9 de Agosto de 2009). *Detailed Design Specification for the Propulsion Control System*. Portsmouth, Inglaterra: Rolls-Royce Marine Electrical Systems Ltd.
- Holtrop, J. (1984). *A statistical re-analysis of resistance and propulsion data*. International Shipbuilding Progress.
- Holtrop, J., & Mennen, G. G. (1982). *An approximate power prediction method*. International Shipbuiding Progress.
- Jacob, M. (Março de 2004). *Propeller Open Water Tests for NPO 2000*. Hamburgo, Alemanha.
- Licker, M. D. (2007). *Encyclopedia of Science & Technology*. McGraw-Hill.
- Marshall, C., & Rossman, G. B. (1999). *Designing Qualitative Research*. California: Sage Publications.
- Molland, A. F., Turnock, R. S., & Hudson, D. A. (2011). *Ship Resistence and Propulsion*. New York: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- Oosterveld, M. W., & Van Oossanen, P. (1975). *Further computer-analysed data of the Wageningen B-screw series*. International Shipbuilding Progress.
- Passos, J. (27 de Janeiro de 2010). *Caudalimetro de Retorno*. Viana do Castelo, Portugal: Direcção de Navios.
- Passos, J. (27 de Janeiro de 2010). *Caudalimetro de Alimentação*. Viana do Castelo: Direcção de Navios.
- Sarmiento, M. (2013). *Guia Prático sobre a Metodologia Científica para Elaboração, Escrita e Apresentação de Teses de Doutoramento, Dissertações de Mestrado e Trabalhos de Investigação Aplicada*. Lisboa: Universidade Lusíada de Lisboa.
- Sousa, M. J., & Baptista, C. S. (2011). *Como Fazer Investigação, Dissertações, Teses e Relatórios*. Lisboa: PACTOR - Edições de Ciências Sociais e Política Contemporânea.
- Taylor, D. W. (1943). *The speed and Power of ships*. Washington, DC: Government Printing Office.
- Townsin, R. L., & Kwon, Y. J. (1983). *Aproximate formulae for the speed loss due to added resistance in wind and waves*. Transactions of the Royal Institution of Naval Architects.

- van Berlekom, W. B. (1981). *Wind forces on modern ship forms - effects on performance*. Transactions of the North East Coast Institute of Engineers and Shipbuilders .
- Van Lammeren, W. P., Van Manen, J. D., & Oosterveld, M. W. (1969). *The Wageningen B-Screw Series*. Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Varela, J. (5 de Fevereiro de 2013). *Estabilidade Intacta segundo ITDINAV 802 (A)*. Lisboa, Portugal: MARINHA - DIRECÇÃO DE NAVIOS.
- Woud, H. K., & Stapersma, D. (2012). *Desing of Propulsion and Electric Power Generation Systems*. London: IMarEST.

APÊNDICE A

GRÁFICOS *MICROSOFT EXCEL*

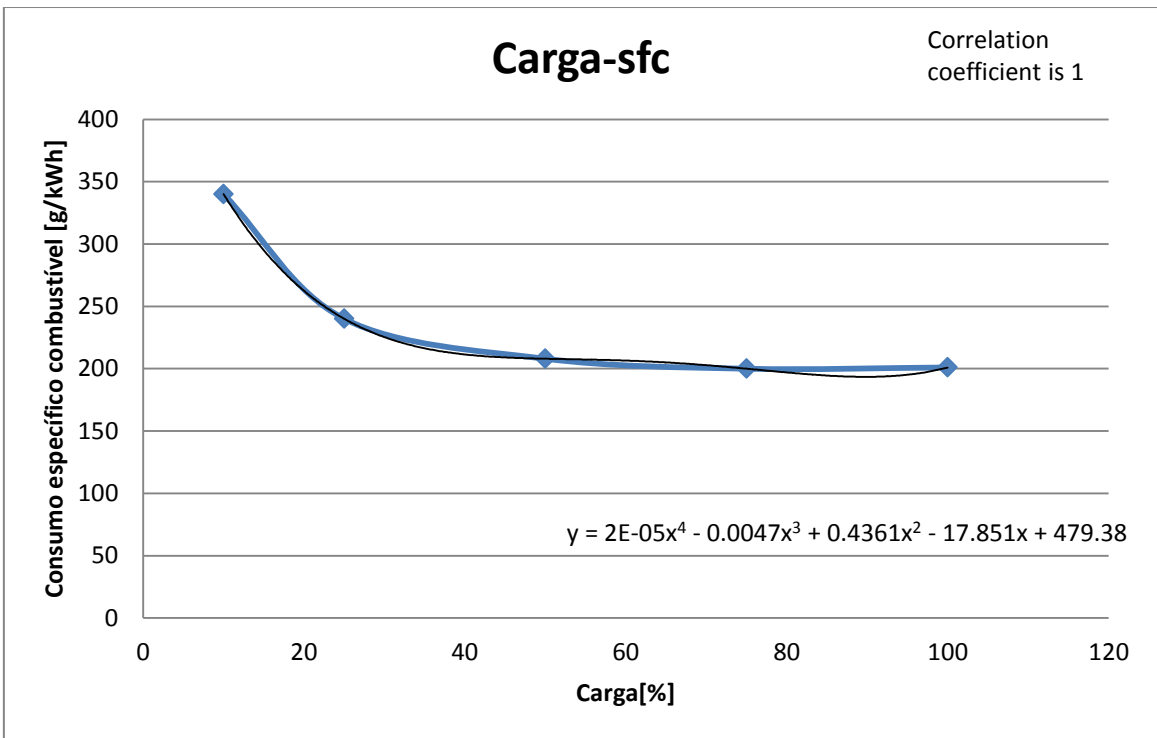


Figura 29 – Carga em função do consumo específico do gerador

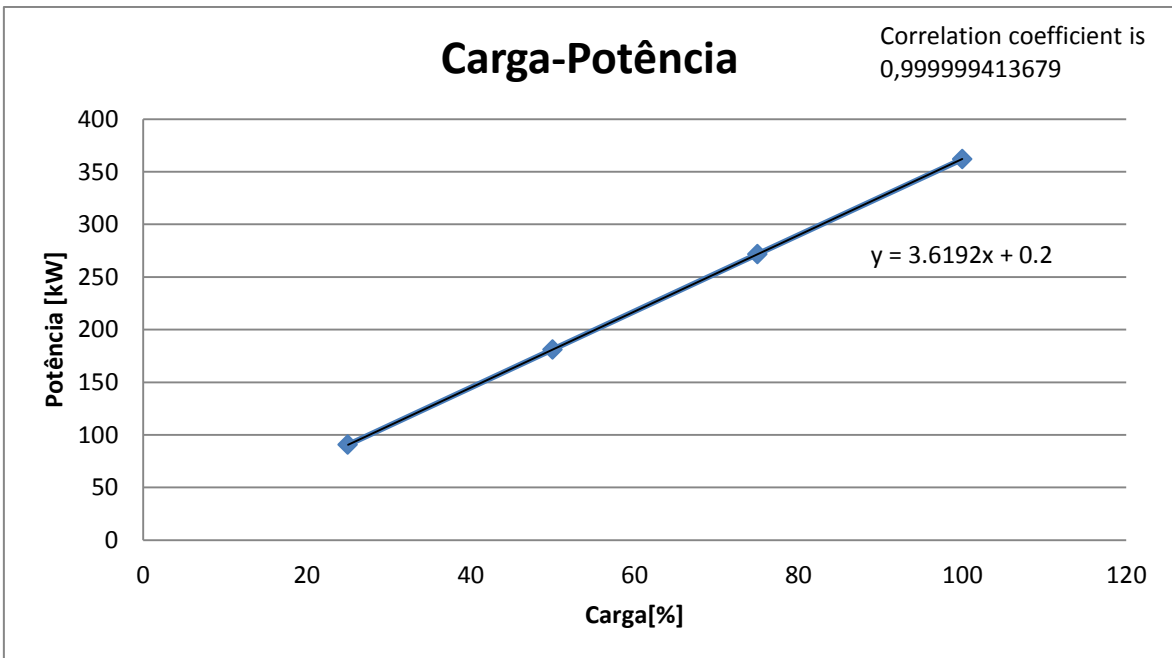


Figura 30 – Carga em função da potência do gerador

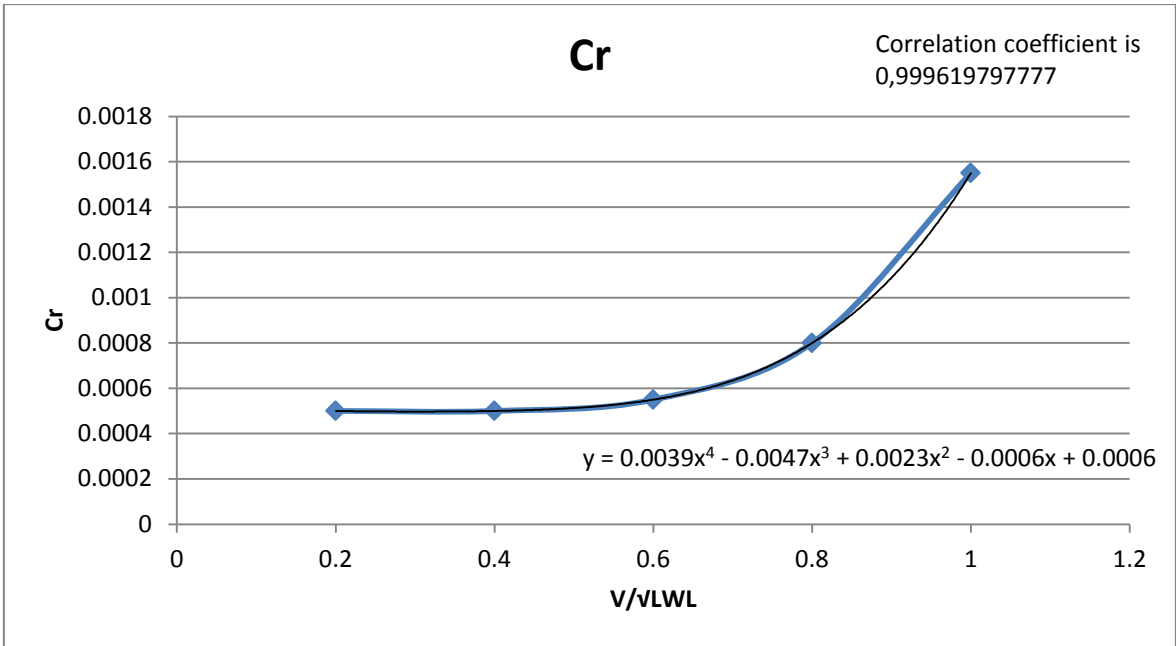


Figura 31 – Coeficiente de resistência residual em função do rácio de velocidade-comprimento

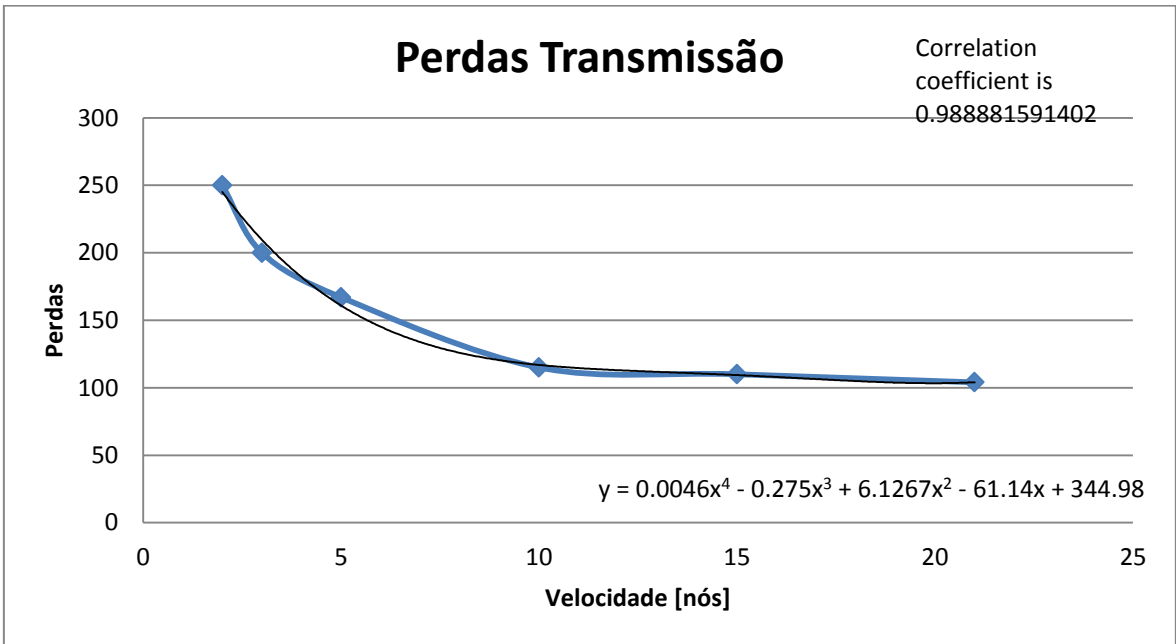


Figura 32 – Perdas na transmissão em função da velocidade do navio

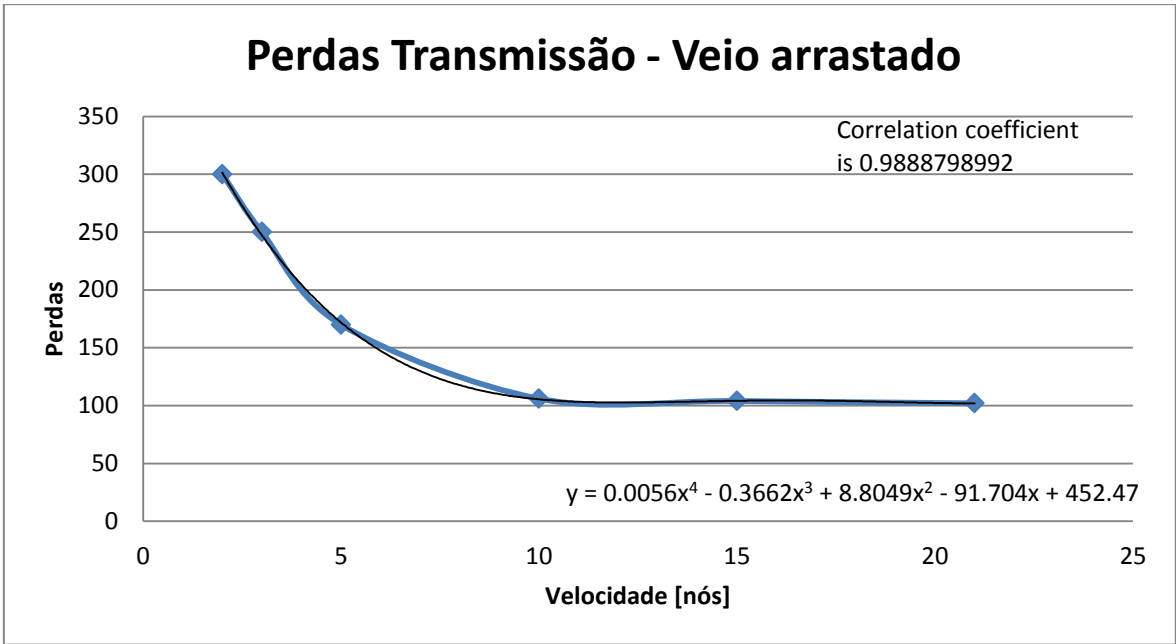


Figura 33 – Perdas na transmissão com veio arrastado em função da velocidade do navio

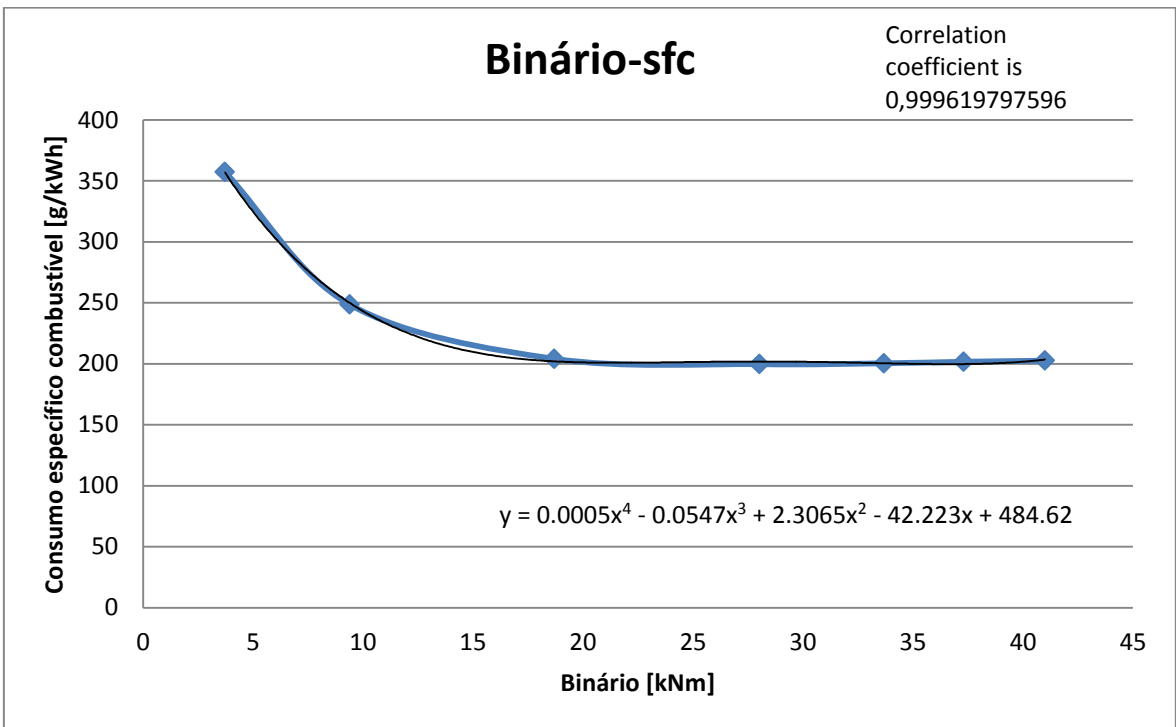


Figura 34 – Binário em função do consumo específico dos motores Diesel

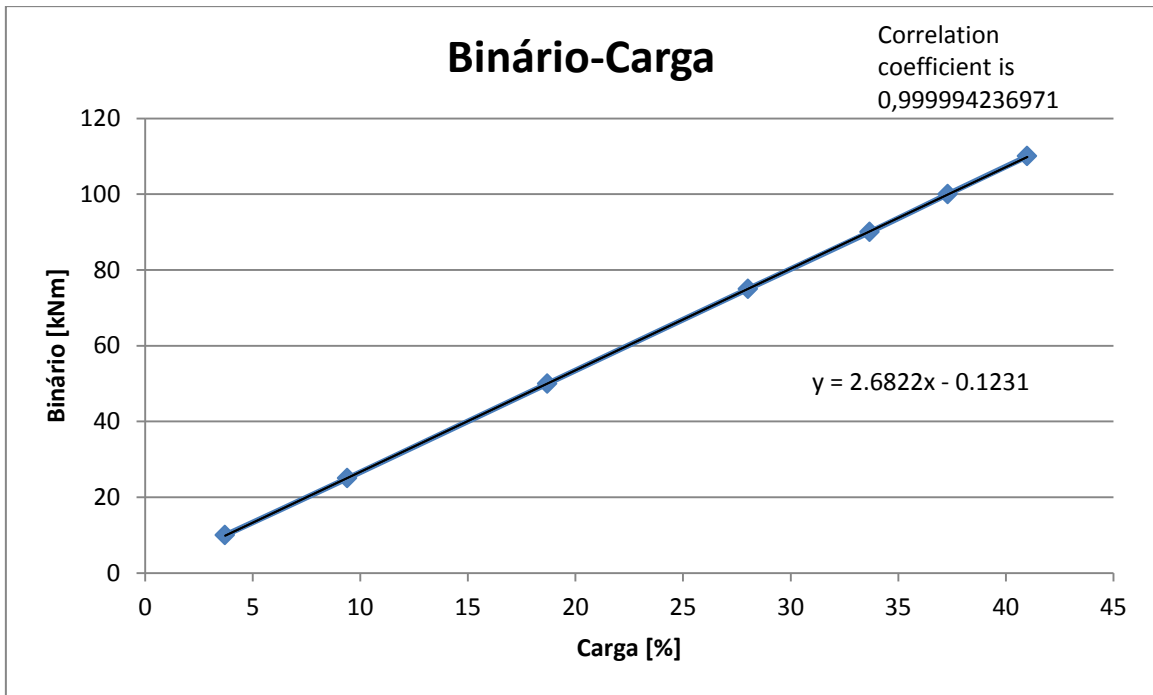


Figura 35 – Binário em função da carga dos motores Diesel

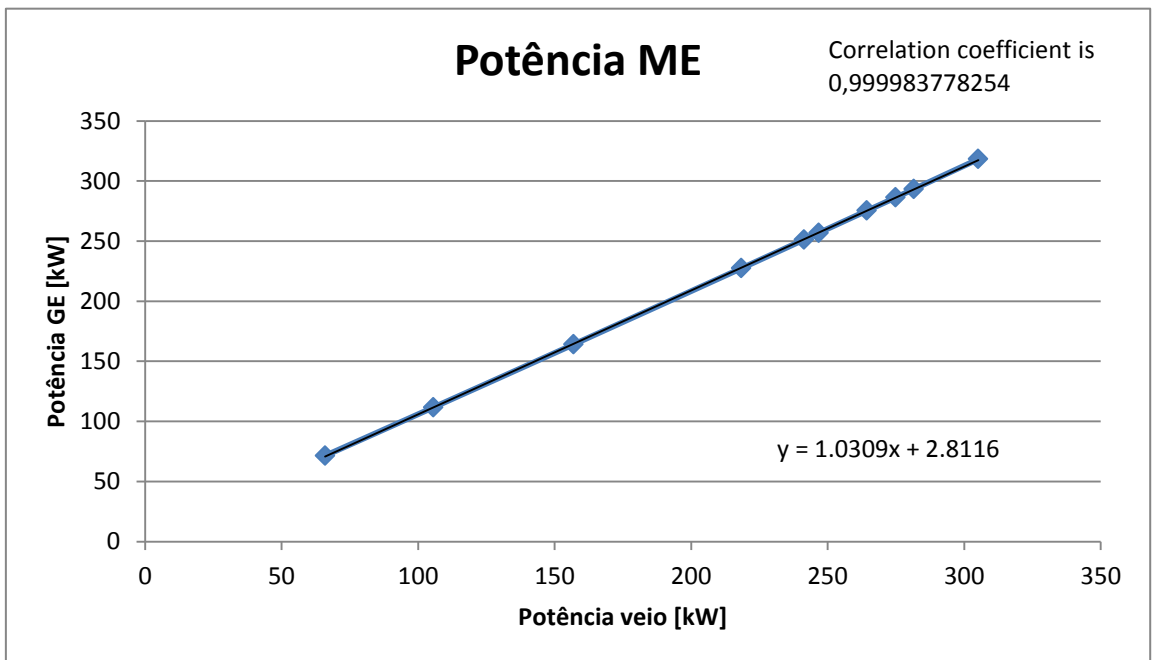


Figura 36 – Potência fornecida pelos geradores em função da transmitida ao veio pelos motores elétricos

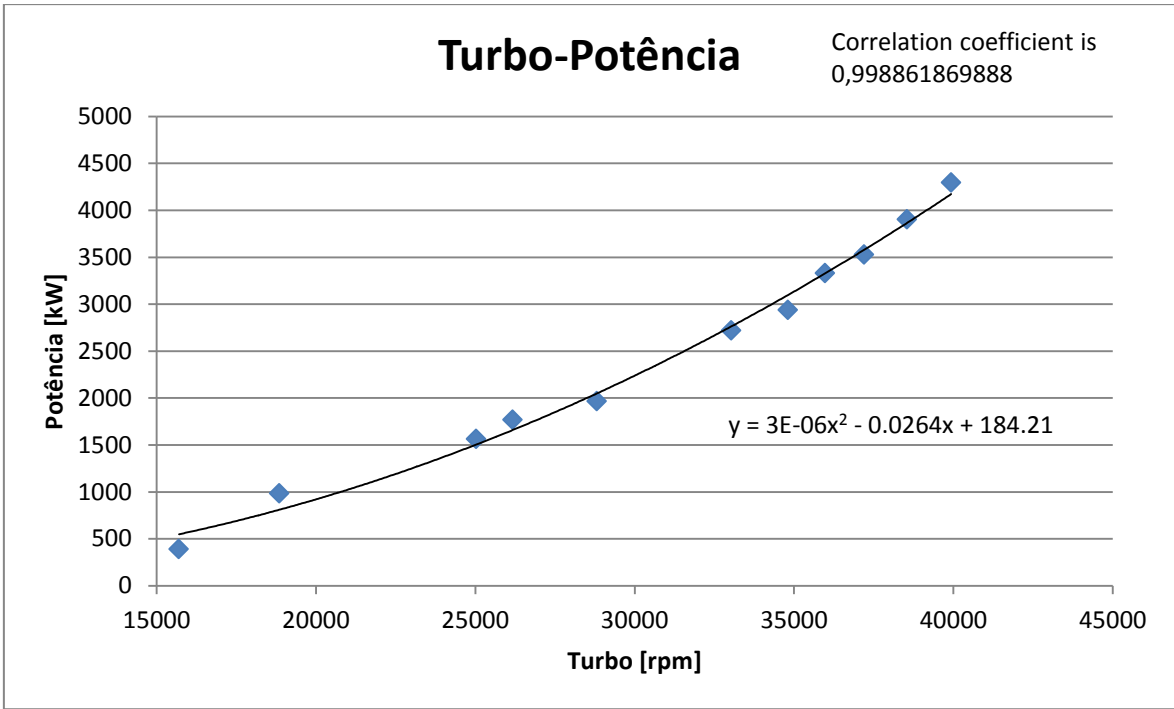


Figura 37 – Rotação dos turbocompressores em função da potência dos MD

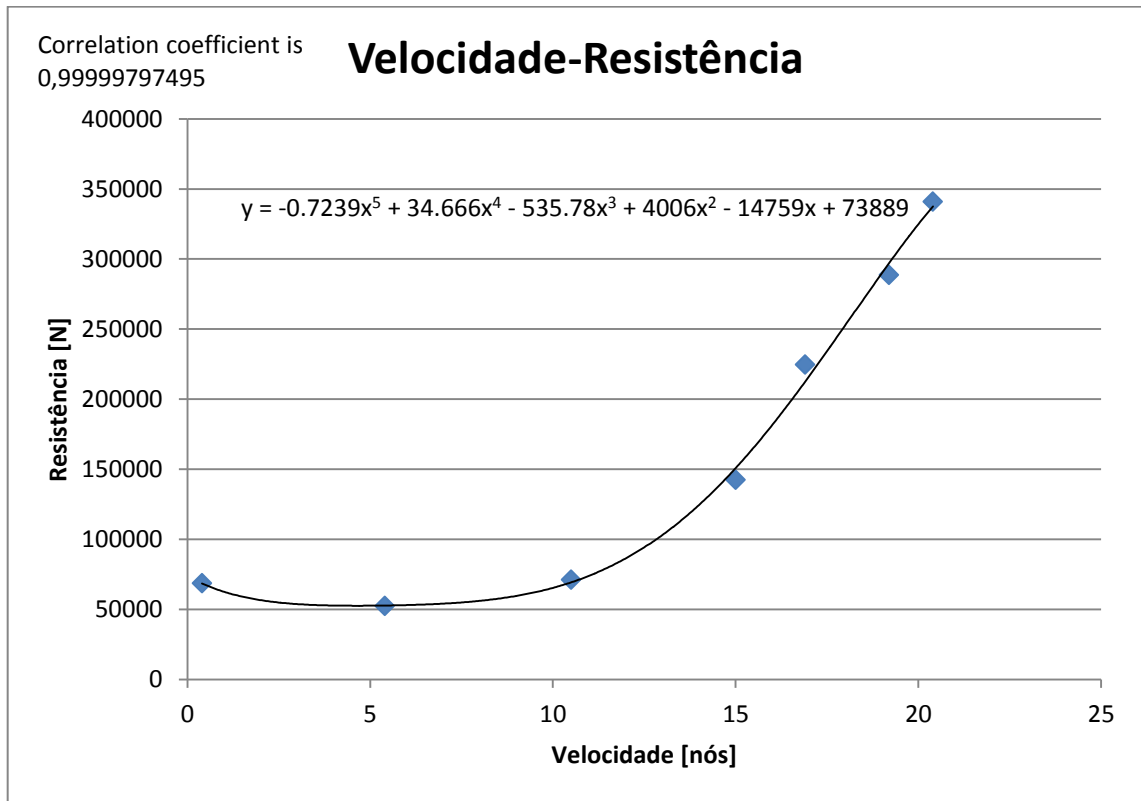


Figura 38 – Velocidade em função da resistência do navio a navegar com 2MD

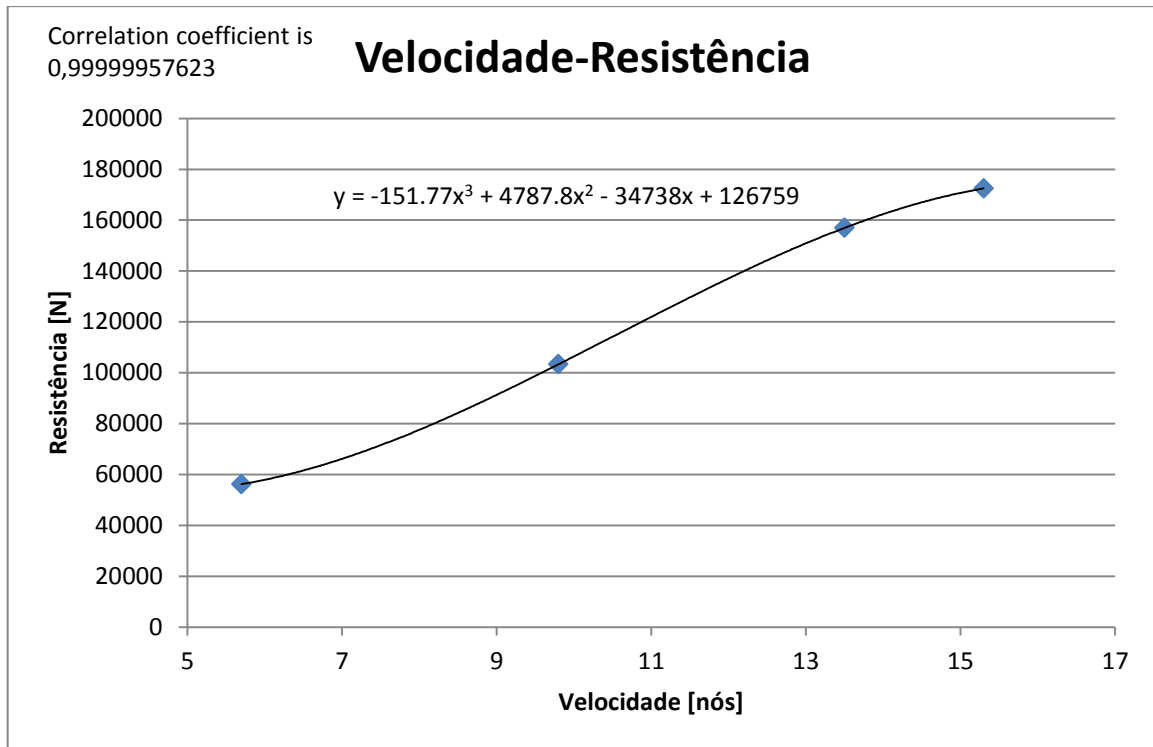


Figura 39 – Velocidade em função da resistência do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado

APÊNDICE B
DADOS PARA VALIDAÇÃO DO SISTEMA
FÍSICO NAVIO REAL

B.1. TABELAS

PROVAS DE MAR DO ESTALEIRO - 2MD							
TELÉMETRO	10%	25%	50%	65%	75%	90%	100%
VELOCIDADE [nós]	1.7	5.4	10.5	15	16.9	19.2	20.4
RPM MD	509	519	519	720	836	999	1001
CONSUMO [L/h]	156	168	246	588	948	1422	1756
POTÊNCIA MD [kW]	187	254	602	1953	3170	5279	6708

Tabela 5 – Dados das provas de mar do estaleiro para 2MD

SIMULADOR - TEÓRICO							
SIMULADOR - 2MD WAGENNINGEN							
VELOCIDADE [nós]	1,7	5,4	10,5	15	16,9	19,2	20,4
RPM MD	-	467	454	613	717	873	978
CONSUMO [L/h]	-	72	187	431	666	1331	1986
POTÊNCIA MD [kW]	-	70	243	817	1377	2760	4112
SIMULADOR - 2MD HÉLICE							
VELOCIDADE [nós]	1,7	5,4	10,5	15	16,9	19,2	20,4
RPM MD	-	744	488	704	819	985	-
CONSUMO [L/h]	-	78	190	444	654	1249	-
POTÊNCIA MD [kW]	-	73	239	783	1310	2541	-

Tabela 6 – Dados do simulador 1 para 2MD

SIMULADOR - RESISTÊNCIA DEDUZIDA							
SIMULADOR - 2MD WAGENNINGEN							
VELOCIDADE [nós]	1,7	5,4	10,5	15	16,9	19,2	20,4
RPM MD	469	458	454	689	785	901	947
CONSUMO [L/h]	211	172	247	615	967	1503	1792
POTÊNCIA MD [kW]	289	212	387	1263	2007	3132	3748
SIMULADOR - 2MD HÉLICE							
VELOCIDADE [nós]	1,7	5,4	10,5	15	16,9	19,2	20,4
RPM MD	500	458	515	848	877	-	-
CONSUMO [L/h]	210	172	251	610	905	-	-
POTÊNCIA MD [kW]	276	213	363	1171	1882	-	-

Tabela 7 – Dados do simulador 1 com a resistência deduzida para 2MD

DADOS RECOLHIDOS A NAVEGAR - 2MD						
TELÉMETRO	55%	70%	75%	77%	78%	80%
VELOCIDADE [nós]	10	15.5	16	16.5	17	17.5
RPM MD	519	774	834	855	870	892
CONSUMO [L/h]	333	693	915	945	992	1029
POTÊNCIA MD [kW]	350	940	1450	1600	1660	1700

Tabela 8 – Dados recolhidos a navegar para 2MD

DADOS					
Ondulação	0.5m				
Vs (nós)	17,5				
NB	4				
Mr_vento	40º				
Telémetro 2MD	80%				
Passo (m)	2,6				
Rotação veio (rpm)	260				
Potência veio (kw)	1700				
Binário veio (kNm)	65				
MD		EB	BB		
Rotação(rpm)		892	892		
Turbo (rpm)	A	28220	28510		
	B	28440	28300		
	Média	28330	28405		
Posição régua dentada		18mm	18mm		
Potência (kw)		1844	1855		
Consumo (L/h)			TOTAL	Período de medição	
1ª	504	538	1042	1h	
2ª	500	536	1036	1h	
3ª	499	525	1024	1h	
4ª	504	521	1025	1h	
5ª	504	514	1018	1h	
Média			1029		

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,6	3,6
Rotação veio (rpm)	195	209
Potência veio (kw)	1507	2006
Binário veio (kNm)	74	92
Rotação MD (rpm)	757	813
Potência MD (kw)	1634	2175
Consumo 2MD (L/h)	785	1049
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	3,3	2,8
Rotação veio (rpm)	221	255
Potência veio (kw)	1431	1862
Binário veio (kNm)	62	70
Rotação MD (rpm)	858	990
Potência MD (kw)	1551	2018
Consumo 2MD (L/h)	756	972

Tabela 9 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17.5 nós

DADOS						
Ondulação	1,5					
Vs (nós)	17					
NB	4					
Mr_vento	20º					
Telémetro 2MD	78%					
Passo (m)	2,7					
Rotação veio (rpm)	252					
Potência veio (kw)	1660					
Binário veio (kNm)	62					
MD		EB	BB			
Rotação(rpm)		871	869			
Turbo (rpm)	A	27380	27650			
	B	27550	27540			
	Média	27465	27595			
Posição régua dentada		17mm	17mm			
Potência (kw)		1722	1740			
Consumo (L/h)				TOTAL	Período de medição	
1ª			476	516	992	1h

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,3	3,6
Rotação veio (rpm)	199	203
Potência veio (kw)	1376	1873
Binário veio (kNm)	66	88
Rotação MD (rpm)	773	789
Potência MD (kw)	1494	2033
Consumo 2MD (L/h)	723	979
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	2,7	2,7
Rotação veio (rpm)	235	257
Potência veio (kw)	1294	1711,5
Binário veio (kNm)	53	64
Rotação MD (rpm)	915	1000
Potência MD (kw)	1404	1857
Consumo 2MD (L/h)	709	902

Tabela 10 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17 nós

DADOS					
Ondulação	1.5m				
Vs (nós)	16,5				
NB	4				
Mr_vento	0				
Telémetro 2MD	77%				
Passo (m)	2,6				
Rotação veio (rpm)	249				
Potência veio (kw)	1600				
Binário veio (kNm)	60				
MD		EB	BB		
Rotação(rpm)		854	856		
Turbo (rpm)	A	26980	26810		
	B	26830	26830		
	Média	26905	26820		
Posição régua dentada		17mm	17mm		
Potência (kw)		1646	1634		
Consumo (L/h)		TOTAL	Período de medição		
1ª		462	486	948	1h
2ª		460	477	937	1h
3ª		458	493	951	1h
Média		460	485	945,3	

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,6	3,6
Rotação veio (rpm)	180	197
Potência veio (kw)	1201	1668
Binário veio (kNm)	64	81
Rotação MD (rpm)	700	766
Potência MD (kw)	1308	1816
Consumo 2MD (L/h)	635	873
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	3,1	2,7
Rotação veio (rpm)	211	247
Potência veio (kw)	1145,5	1527
Binário veio (kNm)	52	59
Rotação MD (rpm)	818	958
Potência MD (kw)	1247	1662
Consumo 2MD (L/h)	630	816

Tabela 11 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16.5 nós

DADOS						
Ondulação	1.5m					
Vs (nós)	16					
NB	5					
Mr_vento	0					
Telémetro 2MD	75%					
Passo (m)	2,6					
Rotação veio (rpm)	243					
Potência veio (kw)	1450					
Binário veio (kNm)	57					
MD		EB	BB			
Rotação(rpm)		836	832			
Turbo (rpm)	A	25710	25280			
	B	25500	25360			
	Média	25605	25320			
Posição régua dentada		16mm	16mm			
Potência (kw)		1475	1439			
Consumo (L/h)				TOTAL	Período de medição	
1ª			437	478	915	1h

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,6	3,5
Rotação veio (rpm)	184	204
Potência veio (kw)	1464	1824
Binário veio (kNm)	76	85
Rotação MD (rpm)	713	793
Potência MD (kw)	1589	1979
Consumo 2MD (L/h)	763	952
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	3,2	2,7
Rotação veio (rpm)	209	246
Potência veio (kw)	1370,5	1673
Binário veio (kNm)	63	65
Rotação MD (rpm)	811	954
Potência MD (kw)	1487	1815
Consumo 2MD (L/h)	724	879

Tabela 12 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16 nós

DADOS					
Ondulação	0.5m				
Vs (nós)	15,5				
NB	4				
Mr_vento	45º				
Telémetro 2MD	70%				
Passo (m)	2,6				
Rotação veio (rpm)	223				
Potência veio (kw)	940				
Binário veio (kNm)	40				
MD		EB	BB		
Rotação(rpm)		773	775		
Turbo (rpm)	A				
	B				
	Média				
Posição régua dentada		14mm	14mm		
Potência (kw)					
Consumo (L/h)			TOTAL	Período de medição	
1ª		318	360	678	1h
2ª		342	366	708	1h
Média		330	363	693	

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,5	3,6
Rotação veio (rpm)	168	182
Potência veio (kw)	845	1248
Binário veio (kNm)	48	65
Rotação MD (rpm)	651	705
Potência MD (kw)	929	1372
Consumo 2MD (L/h)	479	663
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	3,2	2,7
Rotação veio (rpm)	189	226
Potência veio (kw)	816	1159
Binário veio (kNm)	41	49
Rotação MD (rpm)	735	877
Potência MD (kw)	898	1274
Consumo 2MD (L/h)	490	653

Tabela 13 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 15.5 nós

DADOS						SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Ondulação	0.5m					Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Vs (nós)	12					Passo (m)	3,5	3,6
NB	4					Rotação veio (rpm)	125	135
Mr_vento	0º					Potência veio (kw)	339,5	487
Telémetro 2MD	55%					Binário veio (kNm)	26	34
Passo (m)	2,5					Rotação MD (rpm)	486	524
Rotação veio (rpm)	171					Potência MD (kw)	384	549
Potência veio (kw)	350					Consumo 2MD (L/h)	253	319
Binário veio (kNm)	24					SIMULADOR - HÉLICE		
MD		EB	BB			Passo (m)	3,3	3,3
Rotação(rpm)		522	516			Rotação veio (rpm)	142	153
Turbo (rpm)	A	6800	6690			Potência veio (kw)	326,5	459
	B	6580	6490			Binário veio (kNm)	22	29
	Média	6690	6590			Rotação MD (rpm)	551	595
Posição régua dentada		8mm	8mm			Potência MD (kw)	369	518
Potência (kw)		142	141			Consumo 2MD (L/h)	261	327
Consumo (L/h)				TOTAL	Período de medição			
1ª			156	177	333	1h		

Tabela 14 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 12 nós

DADOS						SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Ondulação	0.5m			Tipo de resistência	Teórica	Deduzida		
Vs (nós)	10,5			Passo (m)	3,1	3,5		
NB	1			Rotação veio (rpm)	117	117		
Mr_vento	180			Potência veio (kw)	179,5	293		
Telémetro 2MD	50%			Binário veio (kNm)	15	24		
Passo (m)	2,4			Rotação MD (rpm)	454	454		
Rotação veio (rpm)	150			Potência MD (kw)	208	339		
Potência veio (kw)	225			Consumo 2MD (L/h)	169	229		
Binário veio (kNm)	14			SIMULADOR - HÉLICE				
MD		EB	BB	Passo (m)	3,3	3,3		
Rotação(rpm)		525	519	Rotação veio (rpm)	120	131		
Turbo (rpm)	A	7840	8080	Potência veio (kw)	175	277		
	B	7690	7930	Binário veio (kNm)	14	20		
	Média	7765	8005	Rotação MD (rpm)	468	509		
Posição régua dentada		9mm	9mm	Potência MD (kw)	203	322		
Potência (kw)		160,1	165,1	Consumo 2MD (L/h)	168	233		
Consumo (L/h)				TOTAL	Período de medição			
1ª		111	140	251	1h			

Tabela 15 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 10.5 nós

PROVAS DE MAR DO ESTALEIRO - 1MD EB				
VELOCIDADE [nós]	5.7	9.8	13.5	15.3
RPM MD	519	688	912	969
CONSUMO [L/h]	120	309	582	660
POTÊNCIA MD	234	889	2007	2664

Tabela 16 – Dados das provas de mar do estaleiro para 1MD (EB) e um veio arrastado

PROVAS DE MAR DO ESTALEIRO - 1MD BB			
VELOCIDADE [nós]	5.5	10.1	13.8
RPM MD	523	690	912
CONSUMO [L/h]	96	315	642
POTÊNCIA MD	229	962	2136

Tabela 17 – Dados das provas de mar do estaleiro para 1MD (BB) e um veio arrastado

SIMULADOR - RESISTÊNCIA TEÓRICA				
SIMULADOR - 1MD WAGENNINGEN				
VELOCIDADE [nós]	5,7	9,8	13,5	15,3
RPM MD	466	465	669	776
CONSUMO [L/h]	57	127	281	465
POTÊNCIA MD	122	402	1142	1930
SIMULADOR - 1MD HÉLICE				
VELOCIDADE [nós]	5,7	9,8	13,5	15,3
RPM MD	457	515	726	937
CONSUMO [L/h]	65	128	274	426
POTÊNCIA MD	145	374	1077	1755

Tabela 18 – Dados do simulador 1 para 1MD e um veio arrastado

SIMULADOR - RESISTÊNCIA DEDUZIDA				
SIMULADOR - 1MD WAGENNINGEN				
VELOCIDADE [nós]	5,7	9,8	13,5	15,3
RPM MD	503	636	784	844
CONSUMO [L/h]	166	319	609	701
POTÊNCIA MD	602	1328	2529	2920
SIMULADOR - 1MD HÉLICE				
VELOCIDADE [nós]	5,7	9,8	13,5	15,3
RPM MD	513	609	709	865
CONSUMO [L/h]	155	245	472	554
POTÊNCIA MD	527	982	1957	2298

Tabela 19 – Dados do simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD e um veio arrastado

DADOS RECOLHIDOS A NAVEGAR - 1MD EB				
TELÉMETRO	55%	60%	65%	70%
VELOCIDADE [nós]	11.6	13	15	15.2
RPM MD	760	840	915	993
CONSUMO [L/h]	388	428	523	694
POTÊNCIA MD	1090	1500	2050	2620

Tabela 20 – Dados recolhidos a navegar para 1MD (EB) e um veio arrastado

DADOS RECOLHIDOS A NAVEGAR - 1MD BB			
TELÉMETRO	55%	62%	65%
VELOCIDADE [nós]	11.2	14	14.1
RPM MD	759	866	904
CONSUMO [L/h]	397	531	593
POTÊNCIA MD	1100	1630	1820

Tabela 21 – Dados recolhidos a navegar para 1MD (BB) e um veio arrastado

DADOS						SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Ondulação	1m					Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Vs (nós)	15,2					Passo (m)	3,2	3,5
NB	4					Rotação veio (rpm)	208	219
Mr_vento	0º					Potência veio (kw)	1840	2750
Telémetro 1MD EB	70%					Binário veio (kNm)	84	120
Passo (m)	2,4					Rotação MD (rpm)	808	849
Rotação veio (rpm)	291					Potência MD (kw)	1958	2926
Potência veio (kw)	2620					Consumo 2MD (L/h)	471	703
Binário veio (kNm)	85					SIMULADOR - HÉLICE		
MD		EB	BB			Passo (m)	2,7	3,3
Rotação(rpm)		993	-			Rotação veio (rpm)	240	198
Turbo (rpm)	A	34240	-			Potência veio (kw)	1700	2219
	B	34430	-			Binário veio (kNm)	68	107
	Média	34335	-			Rotação MD (rpm)	931	771
Posição régua dentada		23mm	-			Potência MD (kw)	1809	2361
Potência (kw)		2814	-			Consumo 2MD (L/h)	437	570
Consumo (L/h)				TOTAL	Período de medição			
1ª		708		708	25min			

Tabela 22 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (1)

DADOS				
Ondulação	0.5m			
Vs (nós)	15,2			
NB	4			
Mr_vento	25º			
Telémetro 1MD EB	70%			
Passo (m)	2,4			
Rotação veio (rpm)	291			
Potência veio (kw)	2620			
Binário veio (kNm)	85			
MD		EB	BB	
Rotação(rpm)		993	-	
Turbo (rpm)	A	34240	-	
	B	34430	-	
	Média	34335	-	
Posição régua dentada		23mm	-	
Potência (kw)		2814	-	
Consumo (L/h)			TOTAL	Período de medição
1ª			697	1h
2ª			691	1h
Média			694	

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,2	3,5
Rotação veio (rpm)	208	219
Potência veio (kw)	1840	2750
Binário veio (kNm)	84	120
Rotação MD (rpm)	808	849
Potência MD (kw)	1958	2926
Consumo 2MD (L/h)	471	703
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	2,7	3,3
Rotação veio (rpm)	240	198
Potência veio (kw)	1700	2219
Binário veio (kNm)	68	107
Rotação MD (rpm)	931	771
Potência MD (kw)	1809	2361
Consumo 2MD (L/h)	437	570

Tabela 23 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (2)

DADOS			
Ondulação	0.5m		
Vs (nós)	14		
NB	4		
Mr_vento	0º		
Telémetro 1MD BB	62%		
Passo (m)	2,4		
Rotação veio (rpm)	250		
Potência veio (kw)	1630		
Binário veio (kNm)	61		
MD	EB	BB	
Rotação(rpm)	-	866	
Turbo (rpm)	A	27870	
	B	27640	
	Média	27755	
Posição régua dentada	-	17mm	
Potência (kw)	-	1762	
Consumo (L/h)		TOTAL	Período de medição
1ª	531	531	1h

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,6	3,6
Rotação veio (rpm)	175	207
Potência veio (kw)	1344	2592
Binário veio (kNm)	73	120
Rotação MD (rpm)	679	802
Potência MD (kw)	1418	2735
Consumo 2MD (L/h)	341	657
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	2,7	2,7
Rotação veio (rpm)	215	207
Potência veio (kw)	1200	1999
Binário veio (kNm)	53	92
Rotação MD (rpm)	834	802
Potência MD (kw)	1266	2109
Consumo 2MD (L/h)	321	508

Tabela 24 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (1)

DADOS				
Ondulação	0,5m			
Vs (nós)	14,1			
NB	5			
Mr_vento	0º			
Telémetro 1MD BB	65%			
Passo (m)	2,4			
Rotação veio (rpm)	282			
Potência veio (kw)	1820			
Binário veio (kNm)	68			
MD		EB	BB	
Rotação(rpm)		-	904	
Turbo (rpm)	A	-	30150	
	B	-	30140	
	Média	-	30145	
Posição régua dentada		-	19mm	
Potência (kw)		-	2115	
Consumo (L/h)			TOTAL	Período de medição
1ª		597	597	1h
2ª		593	593	1h
3ª		591	591	1h
4ª		589	589	1h
Média		593	593	

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,5	3,5
Rotação veio (rpm)	188	211
Potência veio (kw)	1865	2859
Binário veio (kNm)	95	129
Rotação MD (rpm)	732	819
Potência MD (kw)	1983	3040
Consumo 2MD (L/h)	478	727
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	2,6	2,7
Rotação veio (rpm)	246	211
Potência veio (kw)	1671	2209
Binário veio (kNm)	65	100
Rotação MD (rpm)	957	819
Potência MD (kw)	1776	2349
Consumo 2MD (L/h)	432	567

Tabela 25 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14.1 nós

DADOS					
Ondulação	1m				
Vs (nós)	14				
NB	3				
Mr_vento	25º				
Telémetro 1MD EB	65%				
Passo (m)	2,4				
Rotação veio (rpm)	267				
Potência veio (kw)	2050				
Binário veio (kNm)	70				
MD		EB	BB		
Rotação(rpm)		915	-		
Turbo (rpm)	A	29730	-		
	B	29840	-		
	Média	29785	-		
Posição régua dentada		19mm	-		
Potência (kw)		2059	-		
Consumo (L/h)				TOTAL	Período de medição
1ª		528		528	1h
2ª		518		518	32min
Média		523		523	

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,6	3,5
Rotação veio (rpm)	167	207
Potência veio (kw)	1027	2269
Binário veio (kNm)	59	105
Rotação MD (rpm)	650	802
Potência MD (kw)	1075	2374
Consumo 2MD (L/h)	266	573
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	2,7	2,7
Rotação veio (rpm)	209	207
Potência veio (kw)	940	1766
Binário veio (kNm)	43	81
Rotação MD (rpm)	813	802
Potência MD (kw)	984	1849
Consumo 2MD (L/h)	269	444

Tabela 26 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (2)

DADOS					
Ondulação	2m				
Vs (nós)	13				
NB	4				
Mr_vento	25º				
Telémetro 1MD EB	60%				
Passo (m)	2,4				
Rotação veio (rpm)	245				
Potência veio (kw)	1500				
Binário veio (kNm)	60				
MD		EB	BB		
Rotação(rpm)		840	-		
Turbo (rpm)	A	25430	-		
	B	25330	-		
	Média	25380	-		
Posição régua dentada		17mm	-		
Potência (kw)		1447	-		
Consumo (L/h)			TOTAL	Período de medição	
1ª			428	428	48min

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,6	3,5
Rotação veio (rpm)	161	200
Potência veio (kw)	1016	2328
Binário veio (kNm)	60	111
Rotação MD (rpm)	624	775
Potência MD (kw)	1062	2433
Consumo 2MD (L/h)	262	587
SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	2,7	2,7
Rotação veio (rpm)	200	197
Potência veio (kw)	921	1766
Binário veio (kNm)	44	86
Rotação MD (rpm)	775	765
Potência MD (kw)	962	1846
Consumo 2MD (L/h)	261	444

Tabela 27 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 13 nós

DADOS						
Ondulação	1m					
Vs (nós)	11,2					
NB	4					
Mr_vento	50º					
Telémetro 1MD BB	55%					
Passo (m)	2,4					
Rotação veio (rpm)	219					
Potência veio (kw)	1100					
Binário veio (kNm)	47					
MD		EB	BB			
Rotação(rpm)		-	759			
Turbo (rpm)	A	-	21570			
	B	-	21640			
	Média	-	21605			
Posição régua dentada		-	14mm			
Potência (kw)		-	1014			
Consumo (L/h)				TOTAL	Período de medição	
1ª			396	396	1h	
2ª			397	397	1h	
Média			397	397		

SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Tipo de resistência	Teórica	Deduzida
Passo (m)	3,5	3,4
Rotação veio (rpm)	137	182
Potência veio (kw)	581	1694
Binário veio (kNm)	40	89
Rotação MD (rpm)	531	706
Potência MD (kw)	600	1749
Consumo 2MD (L/h)	169	421

SIMULADOR - HÉLICE		
Passo (m)	2,7	2,7
Rotação veio (rpm)	167	174
Potência veio (kw)	536	1277
Binário veio (kNm)	31	70
Rotação MD (rpm)	650	677
Potência MD (kw)	554	1318
Consumo 2MD (L/h)	176	319

Tabela 28 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.2 nós

DADOS						SIMULADOR - WAGENNINGEN		
Ondulação	0.5m			Tipo de resistência	Teórica	Deduzida		
Vs (nós)	11,6			Passo (m)	3,4	3,4		
NB	5			Rotação veio (rpm)	150	191		
Mr_vento	50º			Potência veio (kw)	797	2101		
Telémetro 1MD EB	55%			Binário veio (kNm)	51	105		
Passo (m)	2,4			Rotação MD (rpm)	582	742		
Rotação veio (rpm)	220			Potência MD (kw)	827	2178		
Potência veio (kw)	1090			Consumo 2MD (L/h)	213	526		
Binário veio (kNm)	47			SIMULADOR - HÉLICE				
MD		EB	BB	Passo (m)	2,8	2,7		
Rotação(rpm)		760	-	Rotação veio (rpm)	178	186		
Turbo (rpm)	A	21840	-	Potência veio (kw)	733	1565		
	B	21670	-	Binário veio (kNm)	39	80		
	Média	21755	-	Rotação MD (rpm)	692	721		
Posição régua dentada		14mm	-	Potência MD (kw)	760	1622		
Potência (kw)		1030	-	Consumo 2MD (L/h)	217	390		
Consumo (L/h)				TOTAL	Período de medição			
1ª		388		388	1h			

Tabela 29 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.6 nós

PROVAS DE MAR DO ESTALEIRO - 2ME				
TELÉMETRO	25%	50%	60%	100%
VELOCIDADE [nós]	2.5	5	6	10
CONSUMO [L/h]	31	42	47	105

Tabela 30 – Dados das provas de mar do estaleiro para 2ME

SIMULADOR - RESISTÊNCIA TEÓRICA				
SIMULADOR - 2ME WAGENNINGEN				
VELOCIDADE [nós]	2,5	5	6	10
CONSUMO [L/h]	74	47	50	109
SIMULADOR - 2ME HÉLICE				
VELOCIDADE [nós]	2,5	5	6	10
CONSUMO [L/h]	17	44	56	106

Tabela 31 – Dados do simulador 1 para 2ME

SIMULADOR - RESISTÊNCIA DEDUZIDA				
SIMULADOR - 2ME WAGENNINGEN				
VELOCIDADE [nós]	2,5	5	6	10
CONSUMO [L/h]	127	110	111	-
SIMULADOR - 2ME HÉLICE				
VELOCIDADE [nós]	2,5	5	6	10
CONSUMO [L/h]	213	111	106	-

Tabela 32 – Dados do simulador 1 com a resistência deduzida para 2ME

B.2. GRÁFICOS

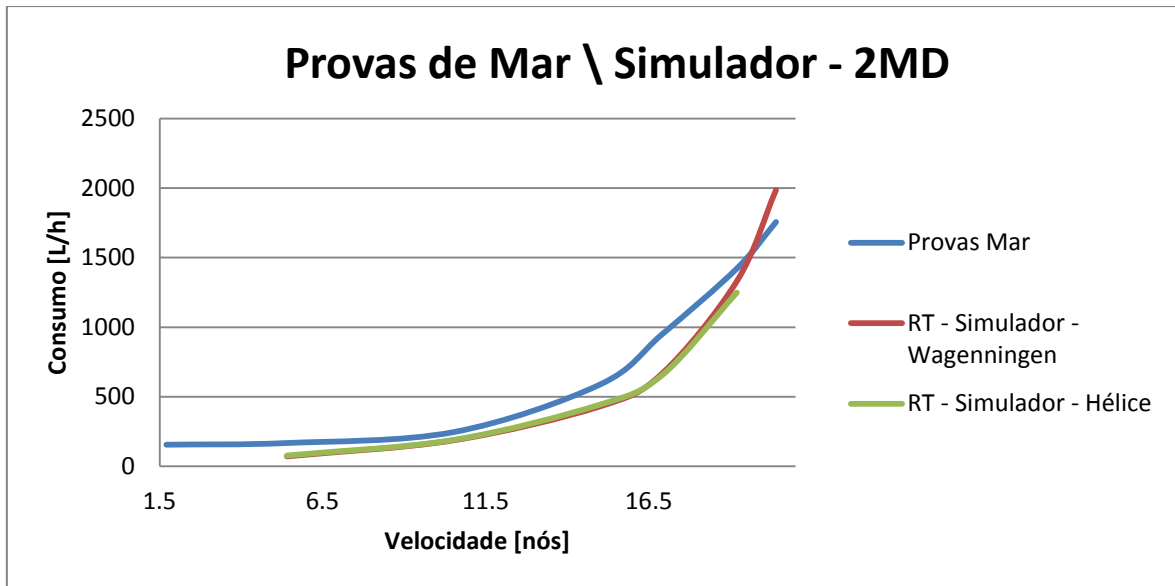


Figura 40 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 para 2MD

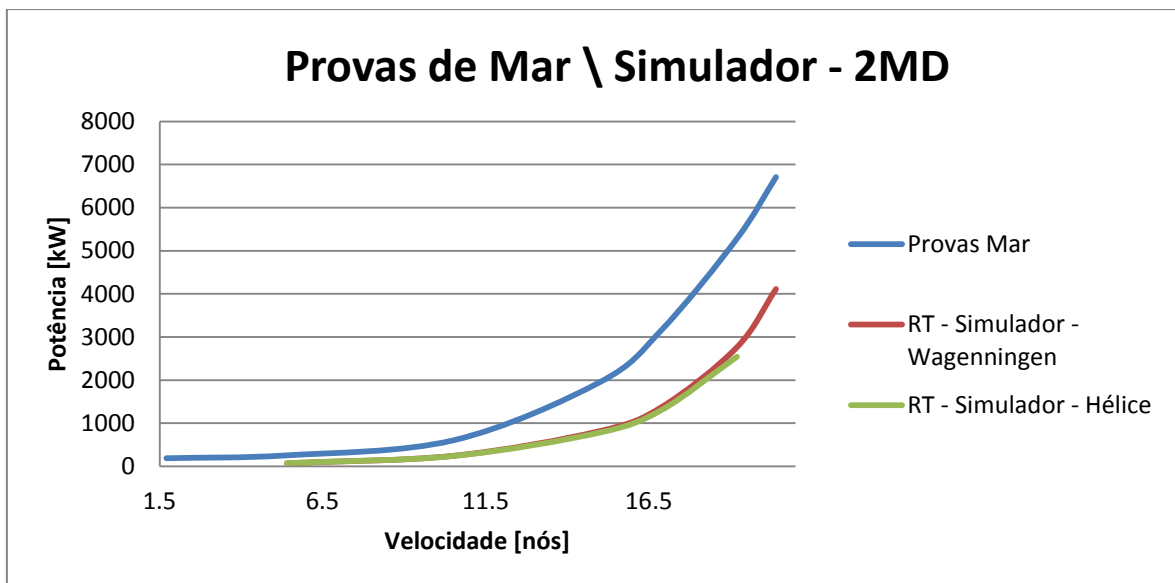


Figura 41 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 2MD

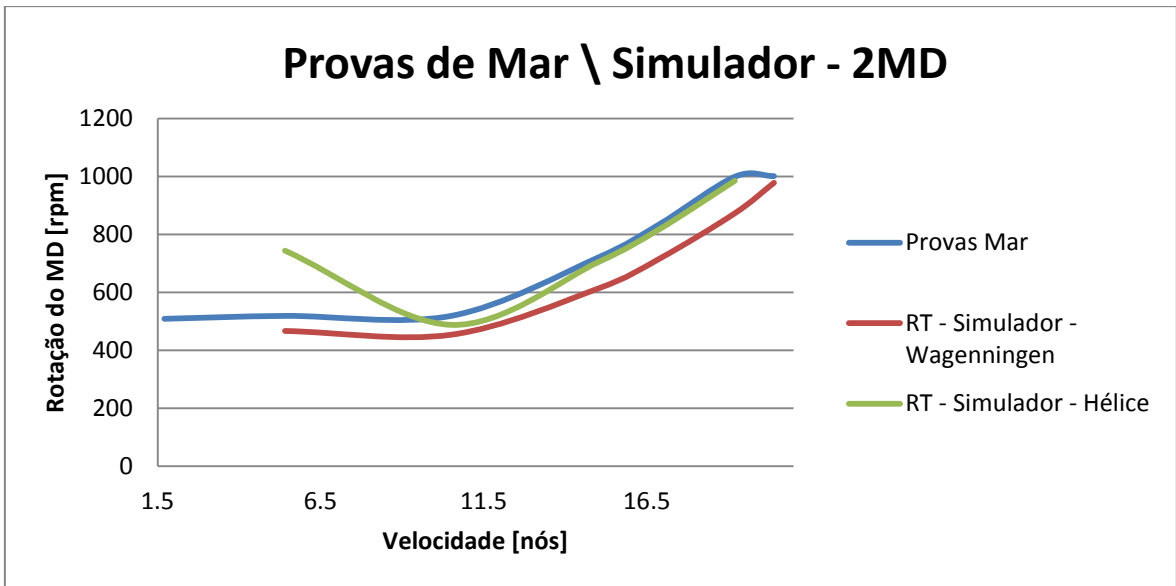


Figura 42 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 2MD

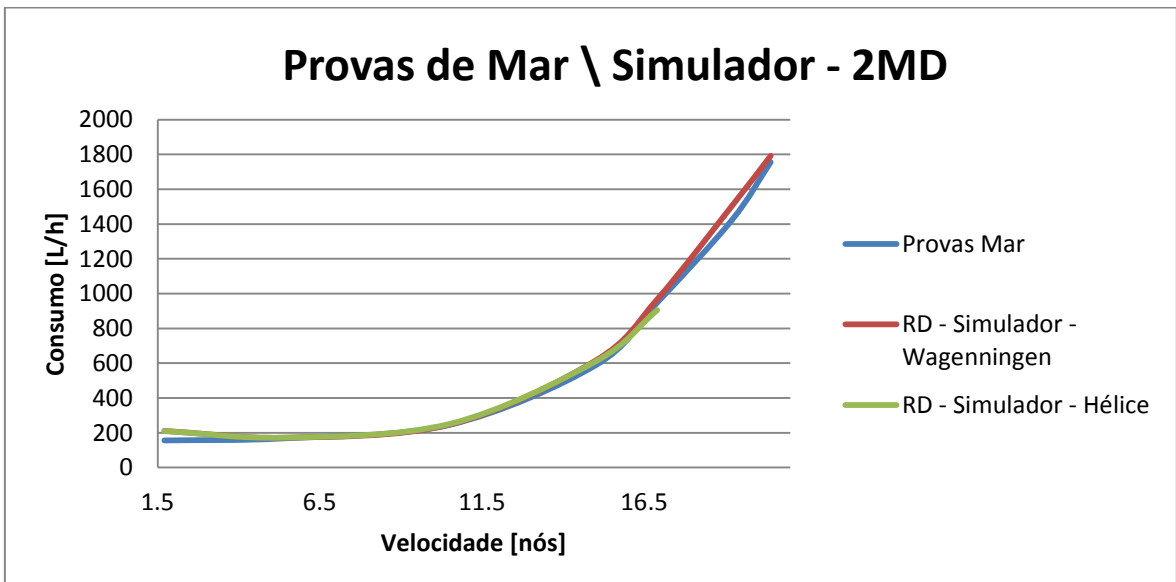


Figura 43 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 com a resistência deduzida para 2MD

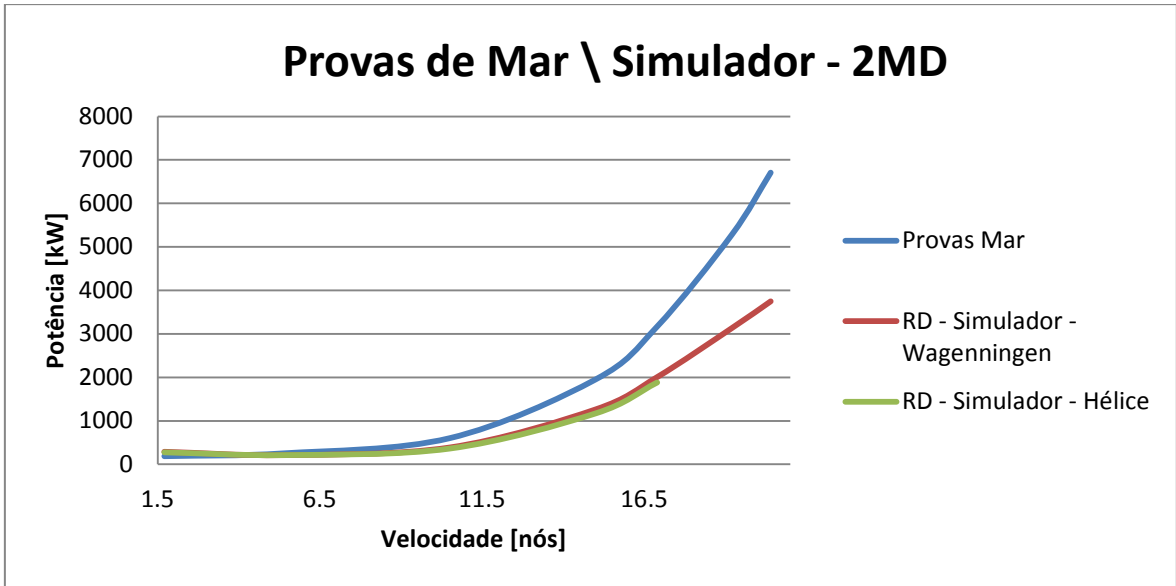


Figura 44 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 2MD

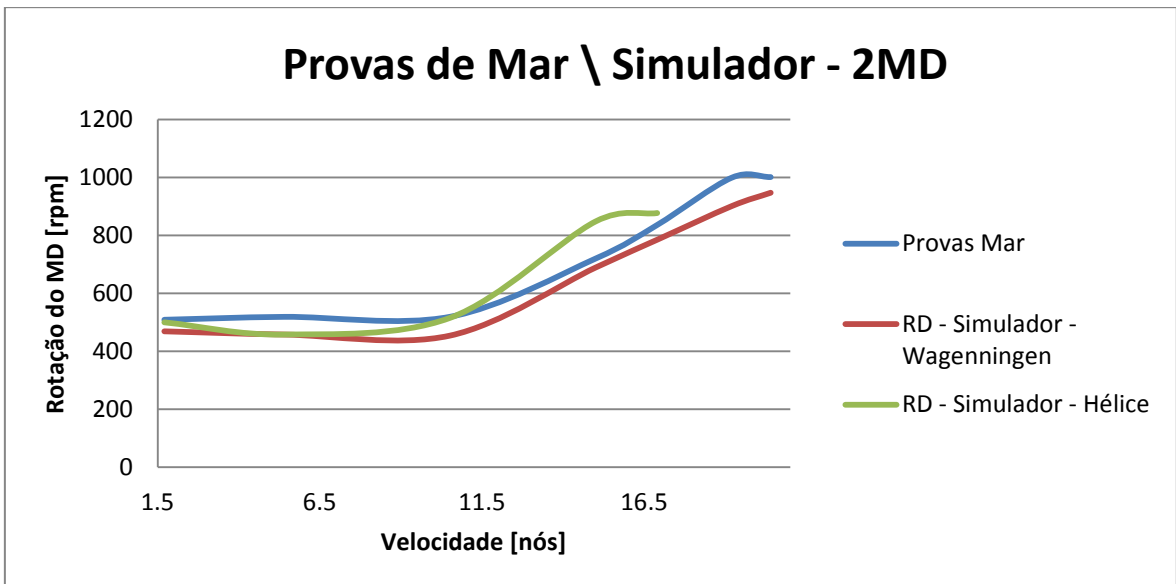


Figura 45 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 2MD

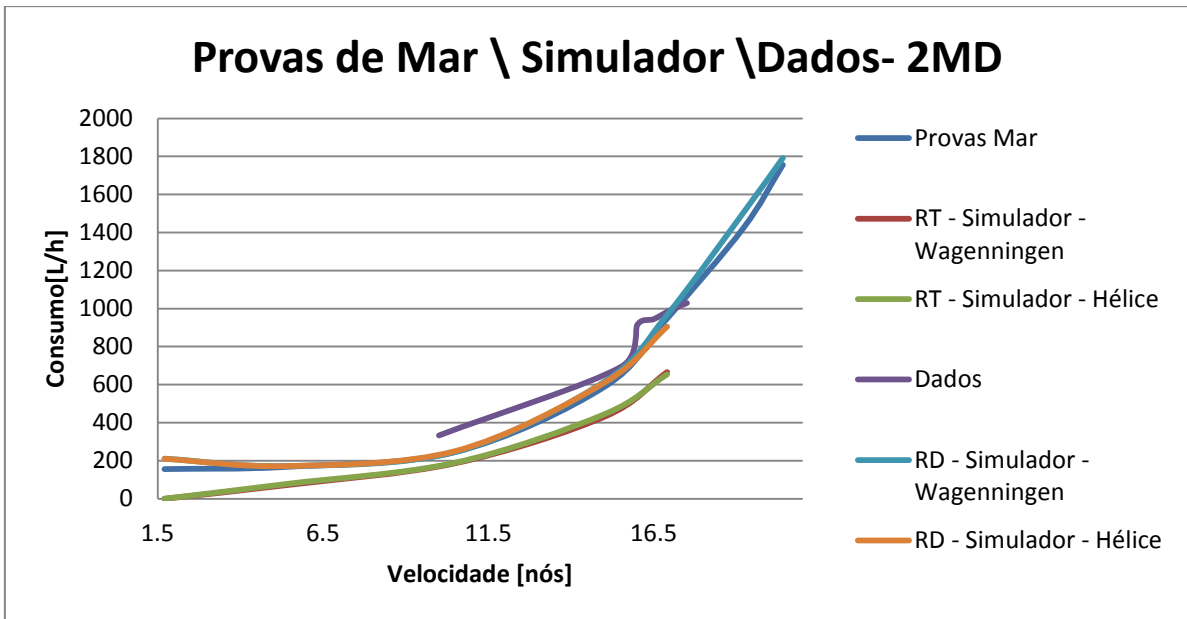


Figura 46 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar, dos simuladores e dos dados retirados a navegar para 2MD

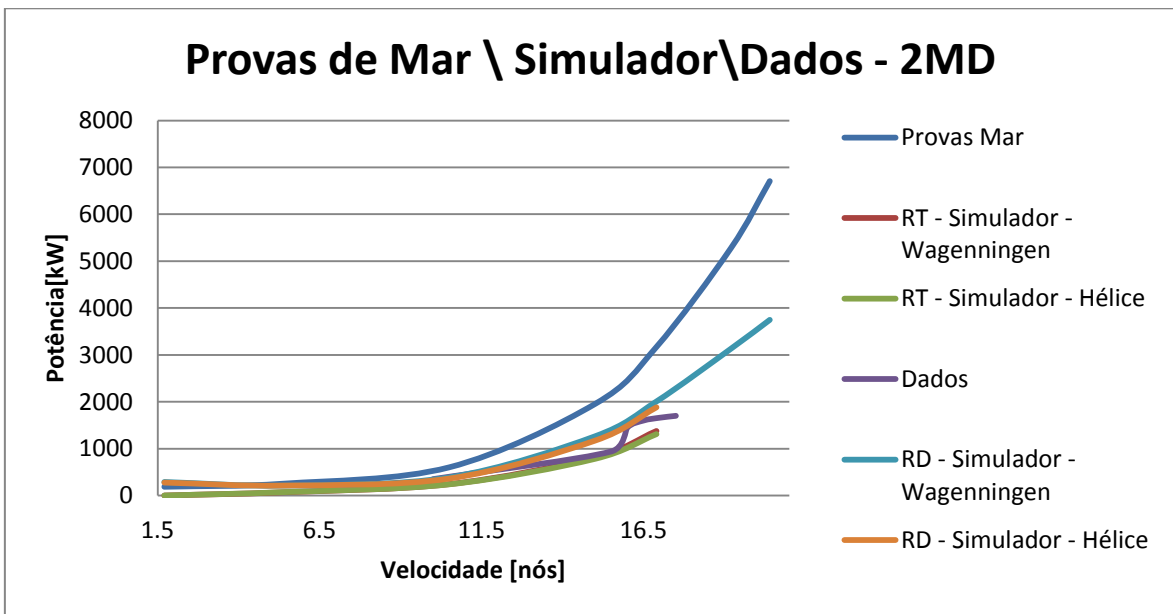


Figura 47 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 2MD

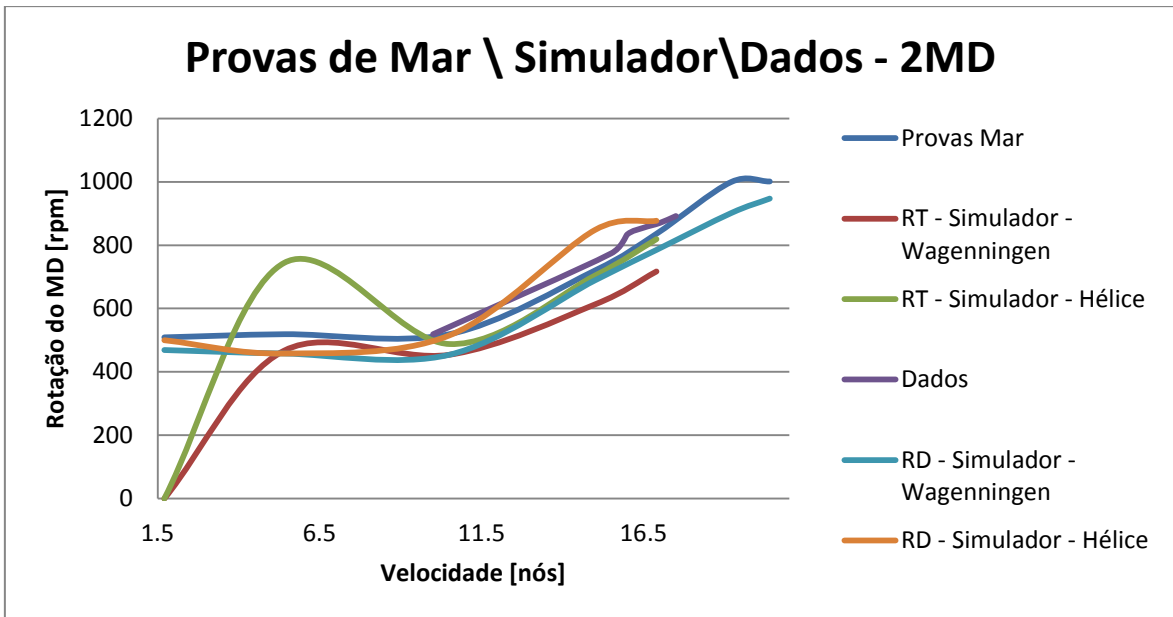


Figura 48 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 2MD

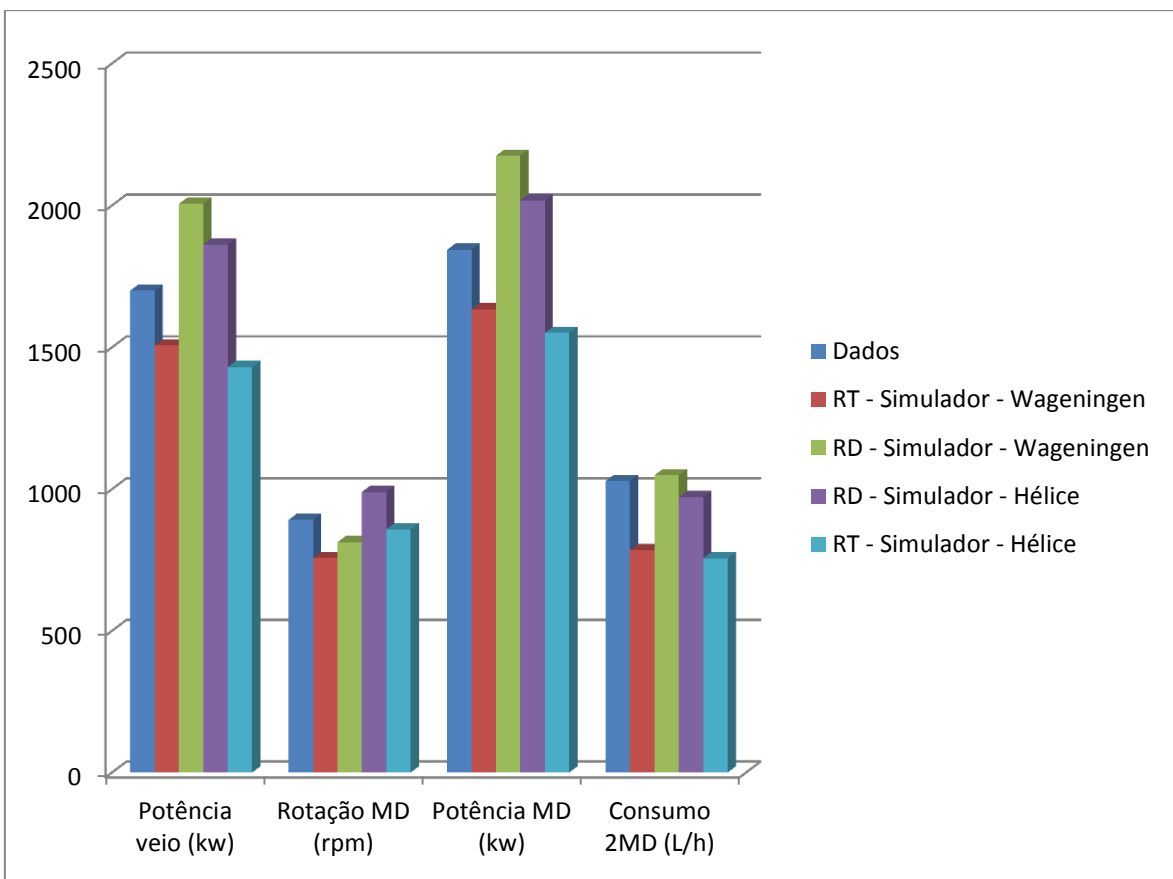


Figura 49 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17.5 nós (1)

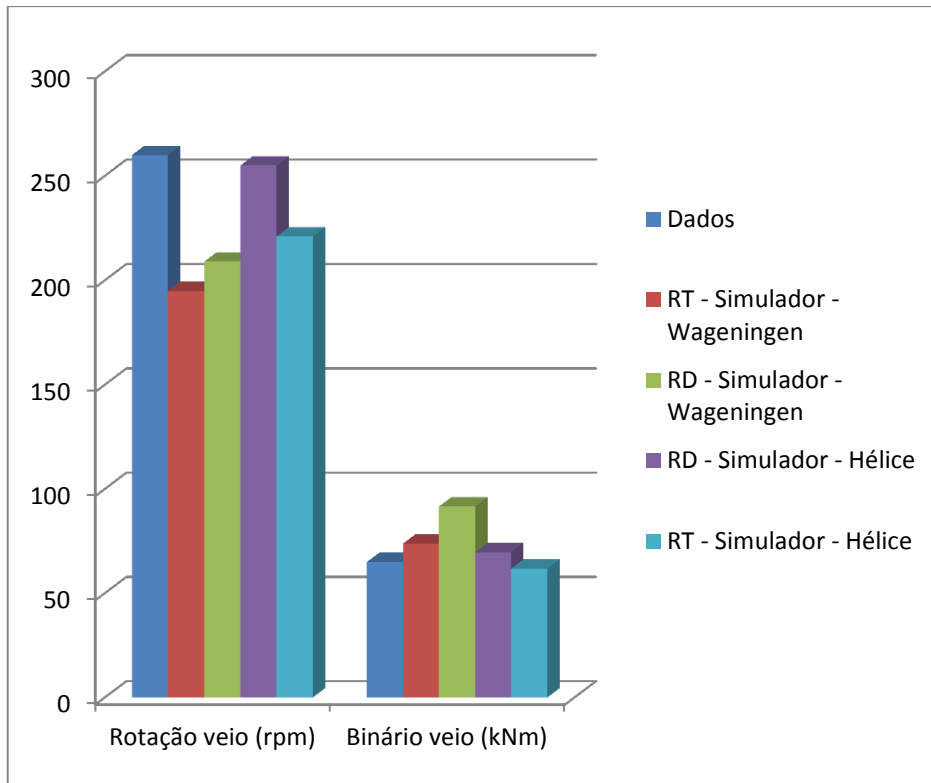


Figura 50 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17.5 nós (2)

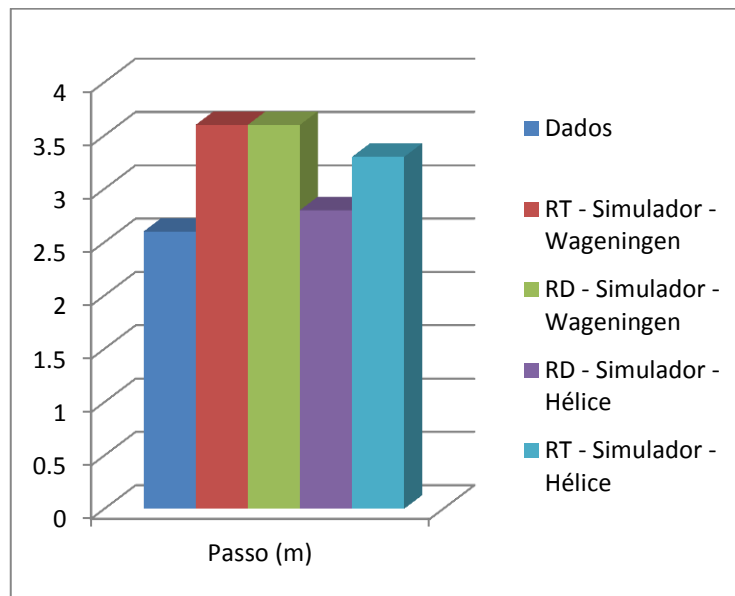


Figura 51 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17.5 nós (3)

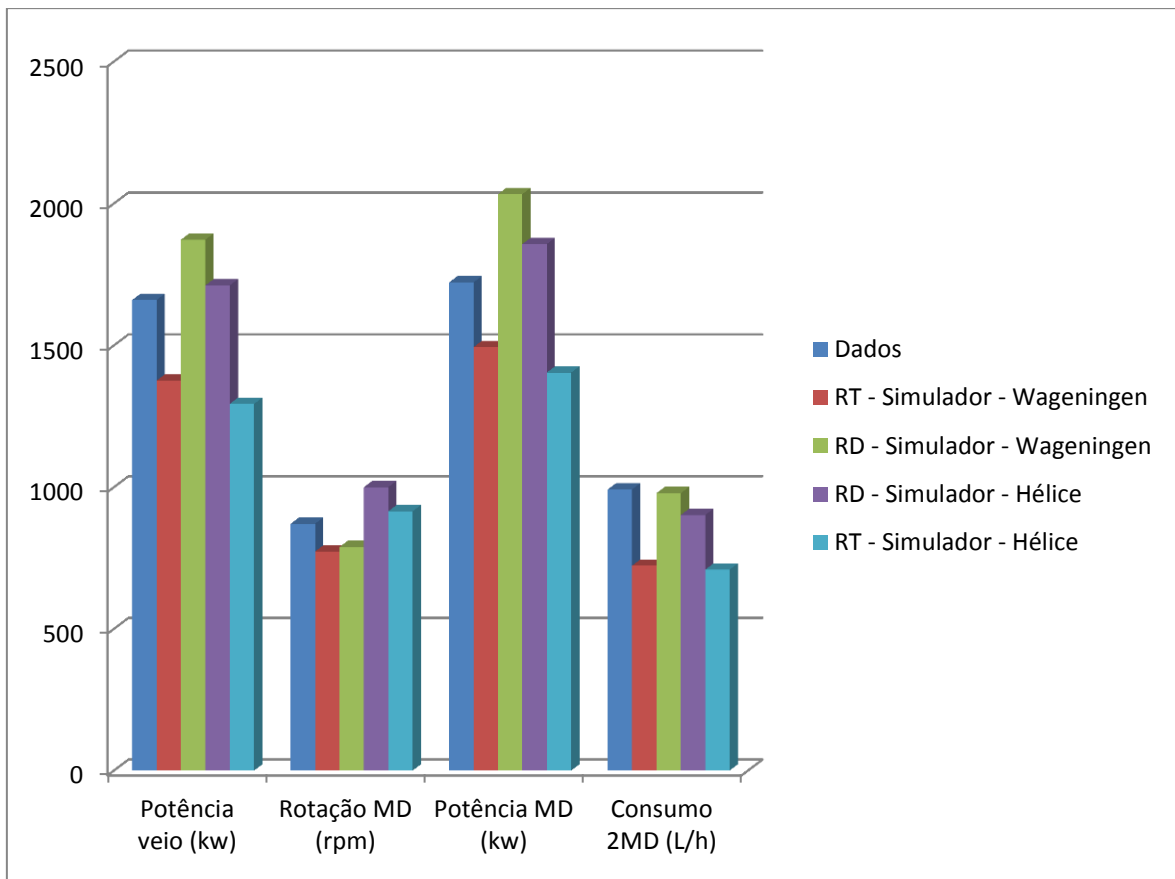


Figura 52 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17 nós (1)

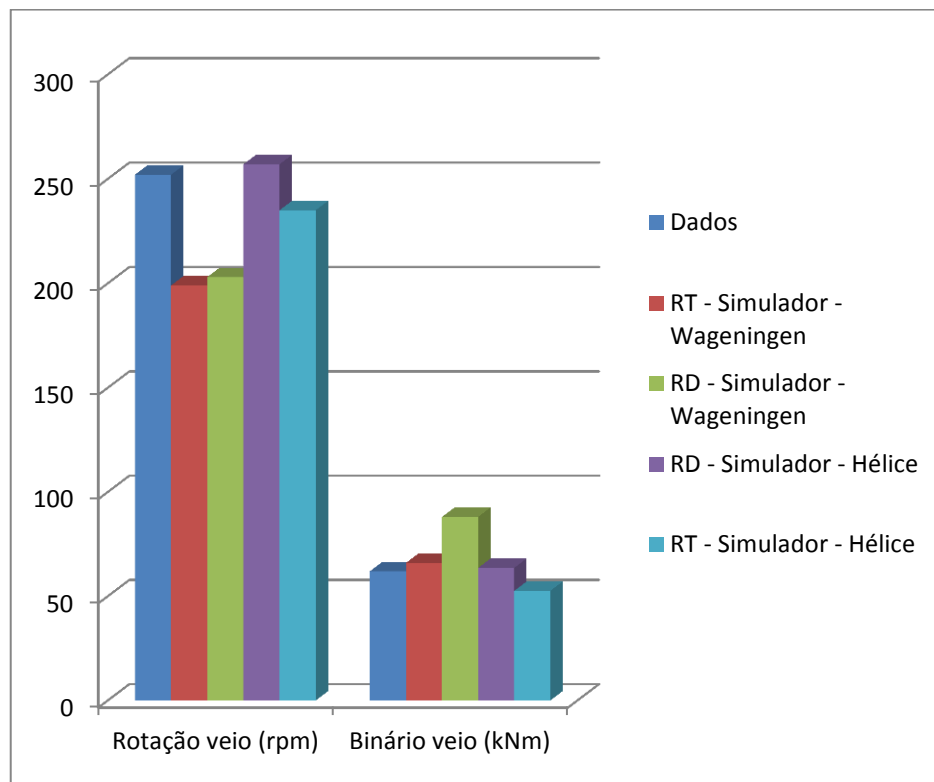


Figura 53 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17 nós (2)

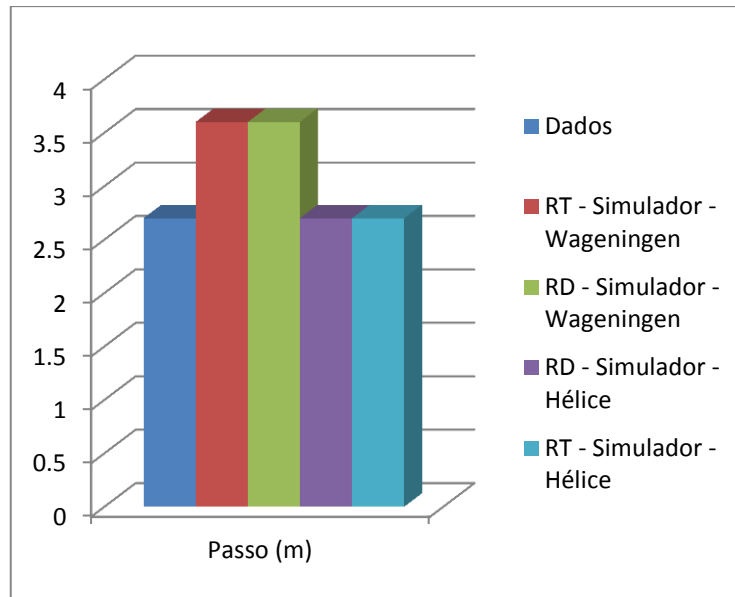


Figura 54 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 17 nós (3)

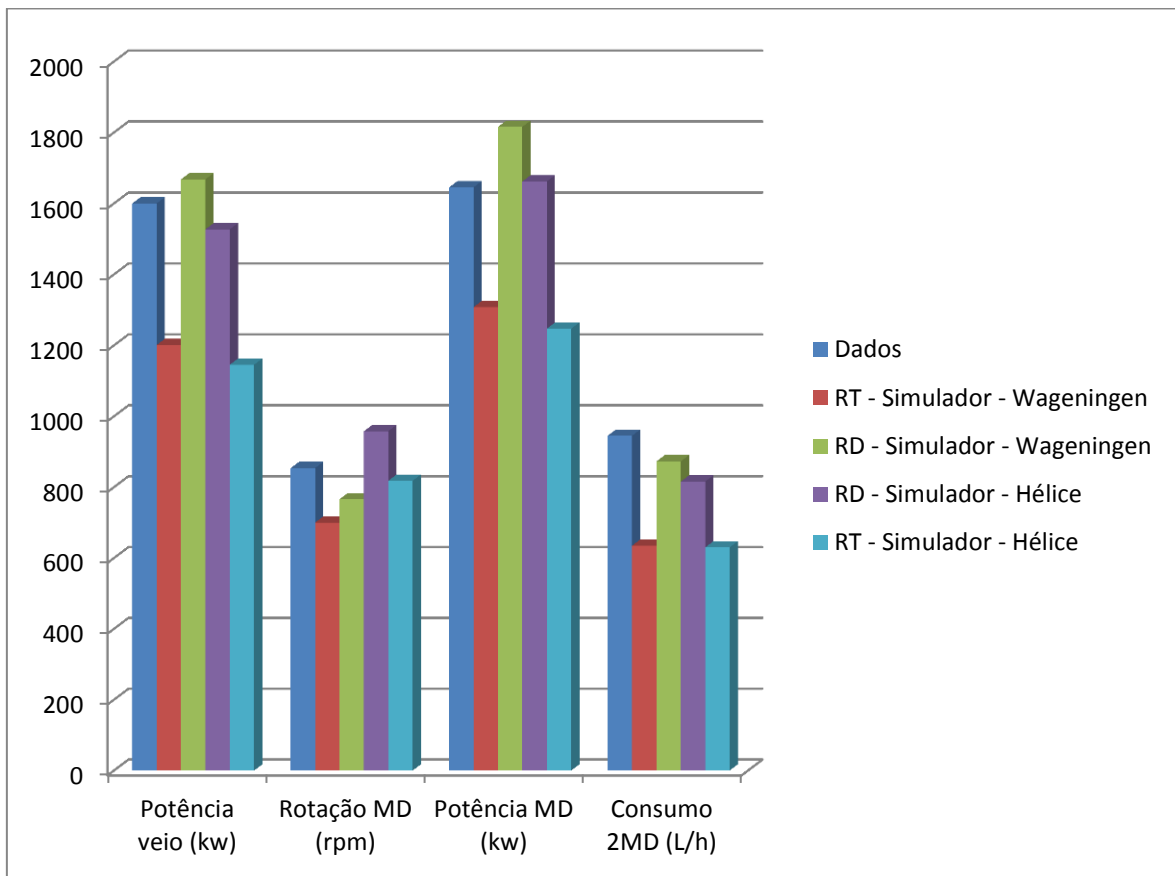


Figura 55 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16.5 nós (1)

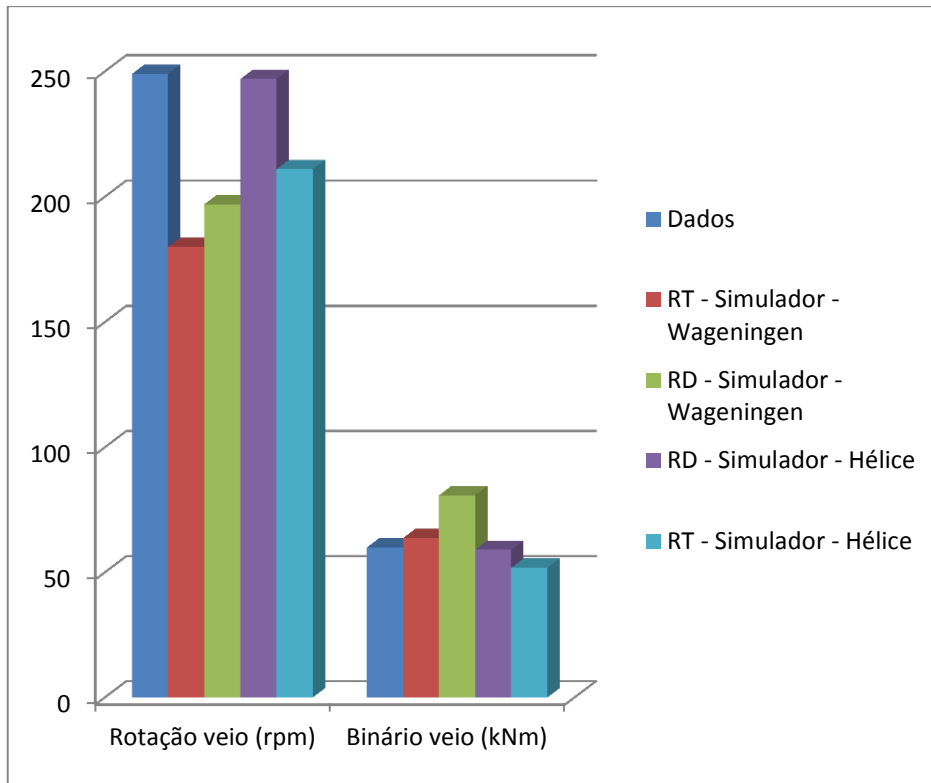


Figura 56 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16.5 nós (2)

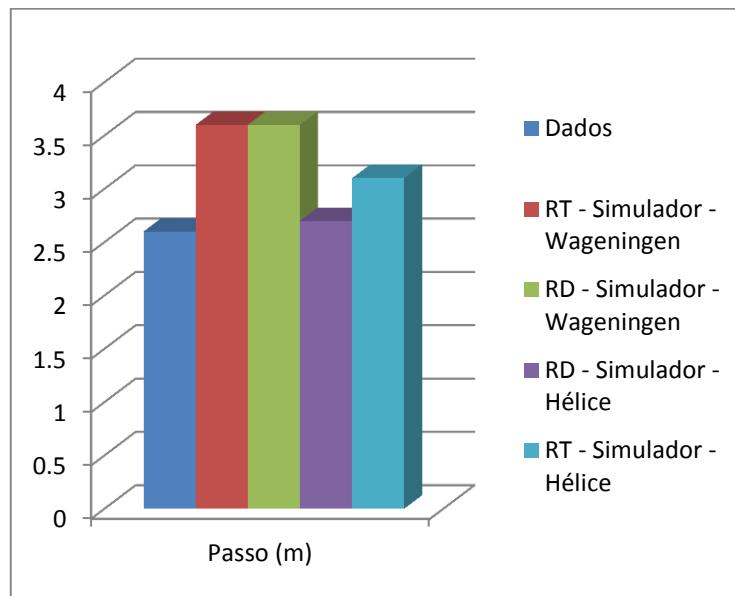


Figura 57 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16.5 nós (3)

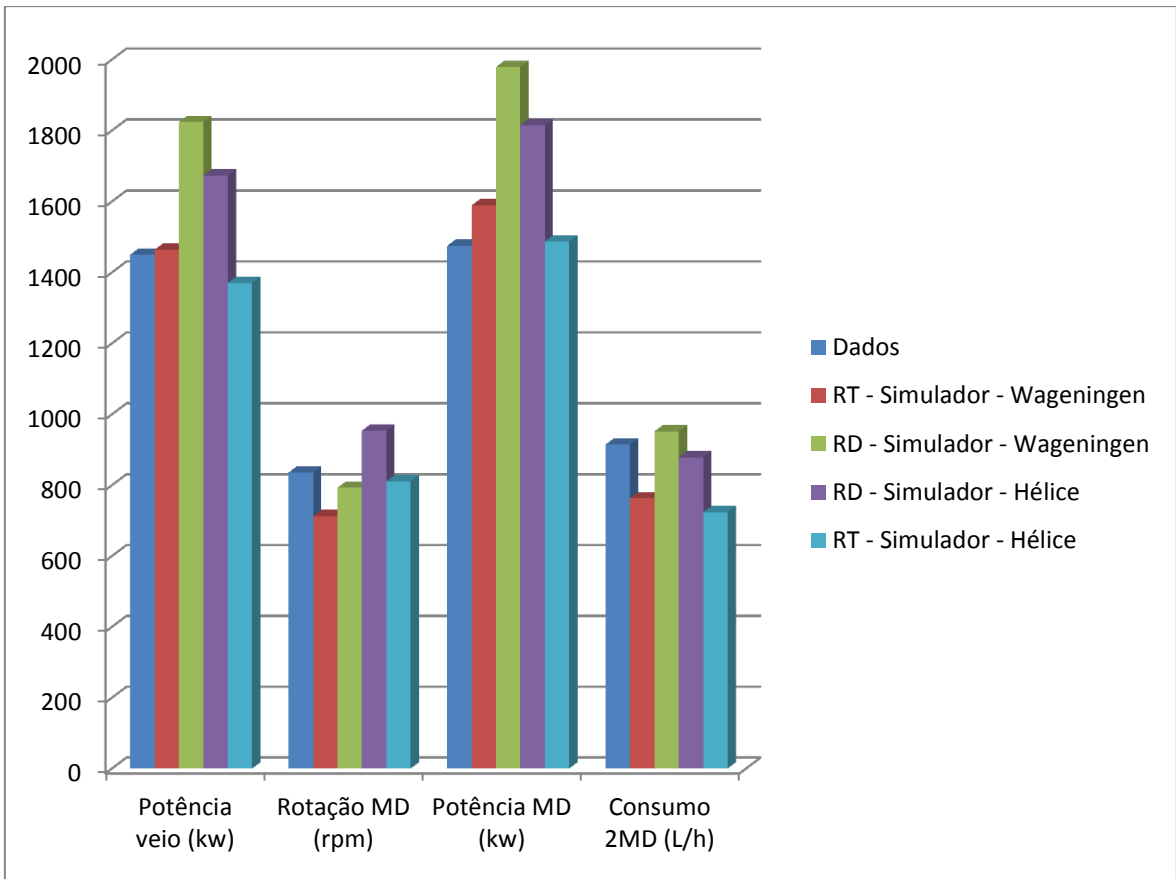


Figura 58 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16 nós (1)

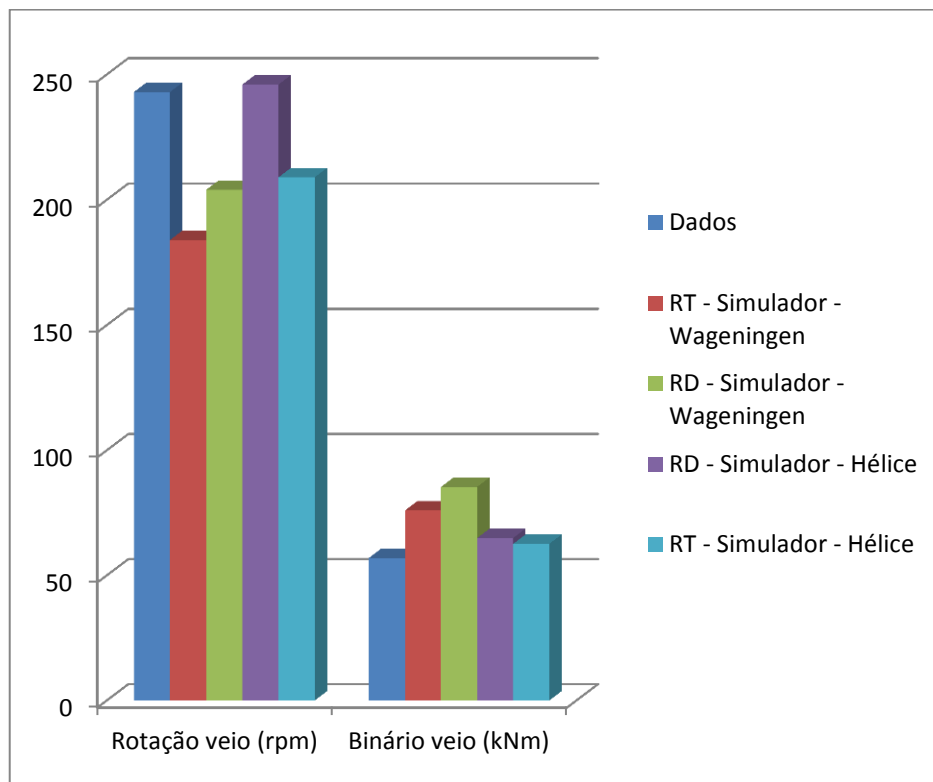


Figura 59 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16 nós (2)

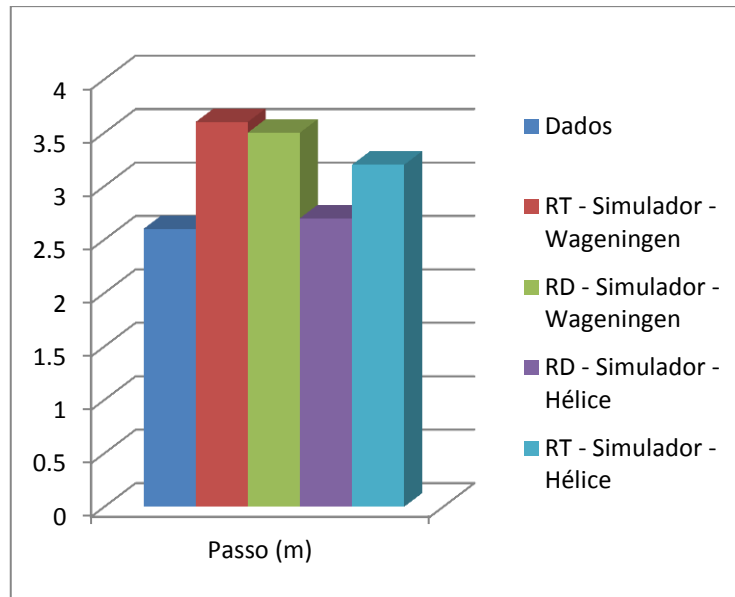


Figura 60 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 16 nós (3)

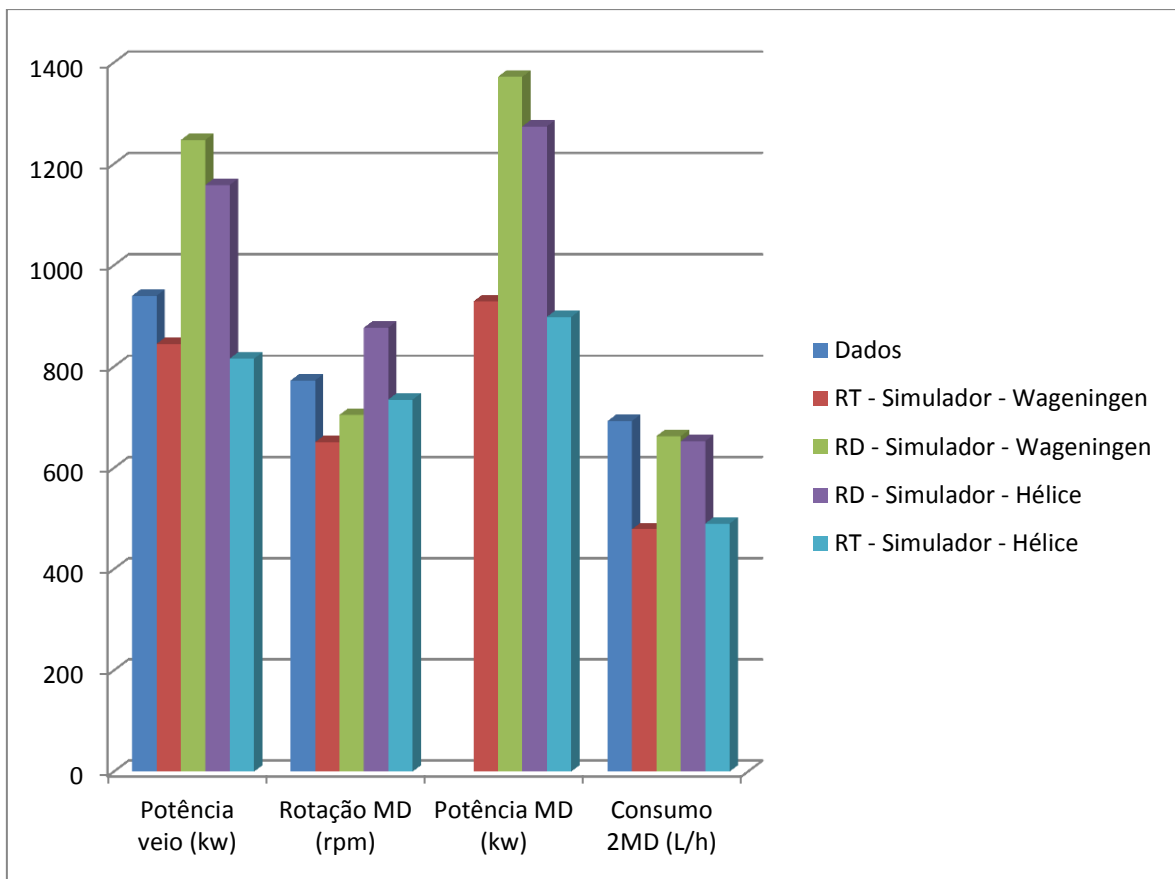


Figura 61 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 15.5 nós (1)

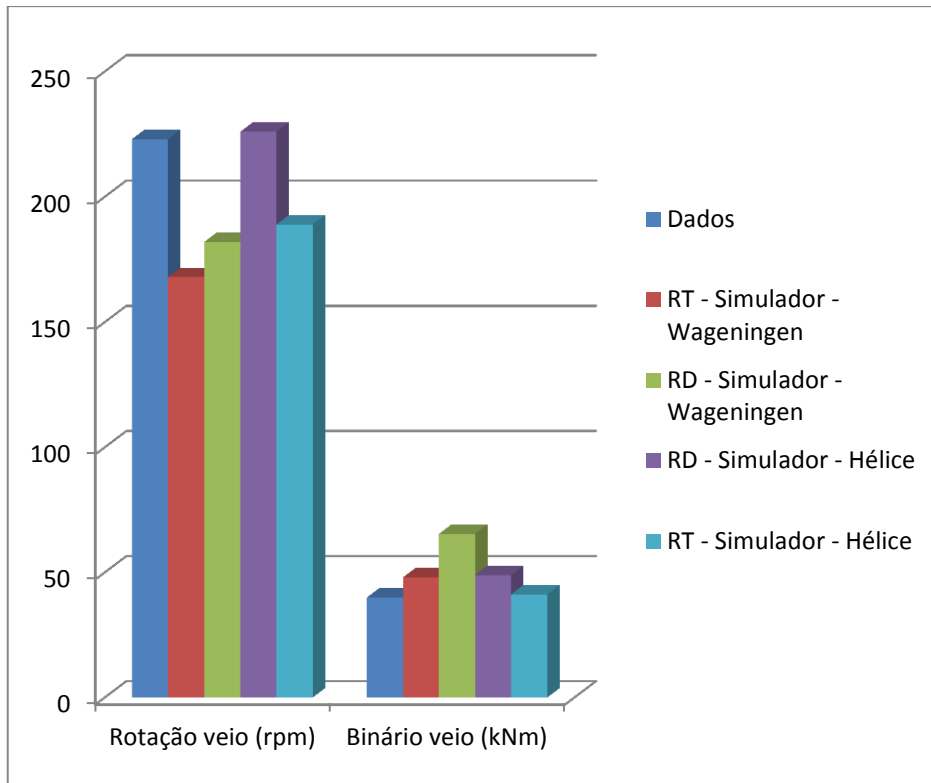


Figura 62 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 15.5 nós (2)

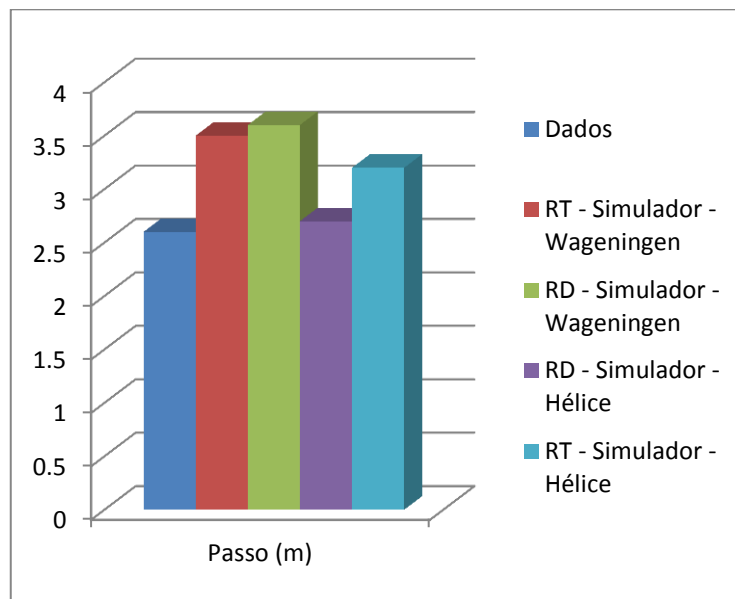


Figura 63 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 15.5 nós (3)

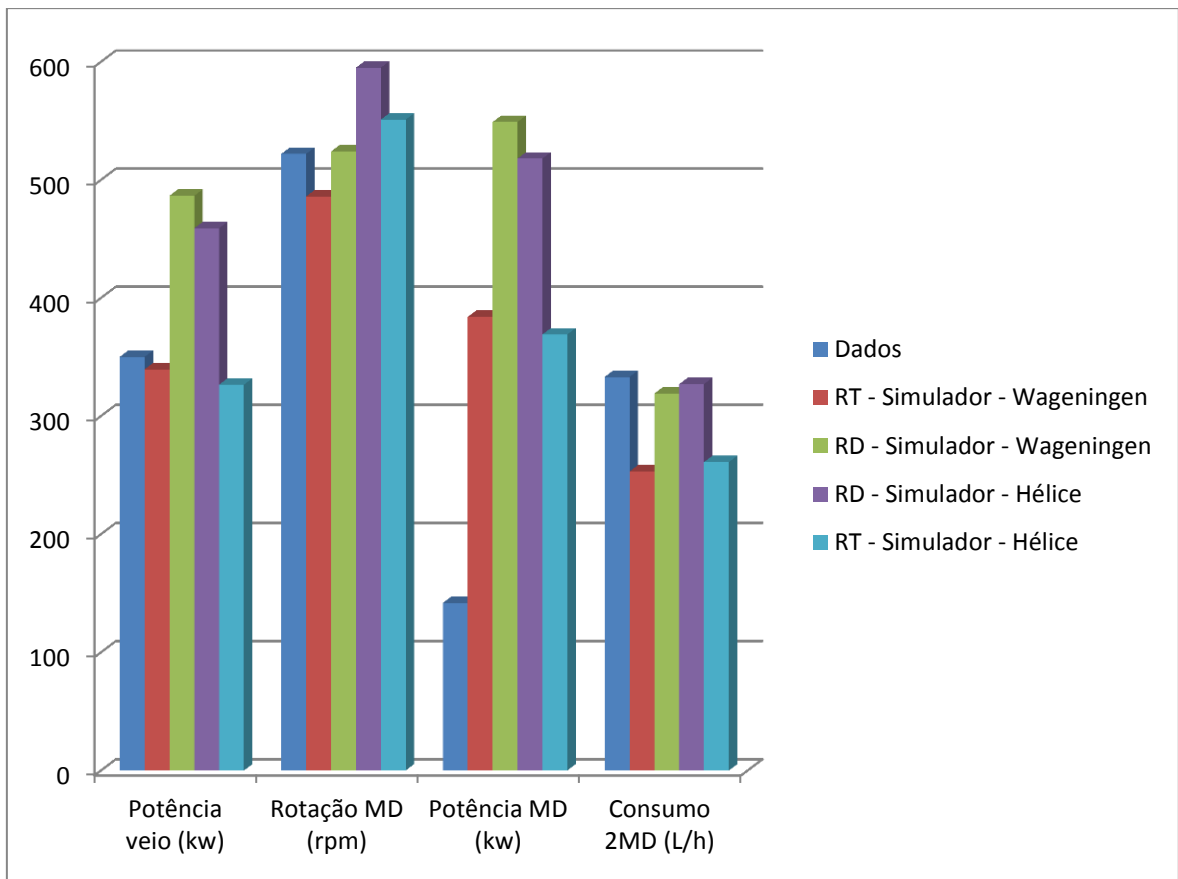


Figura 64 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 12 nós (1)

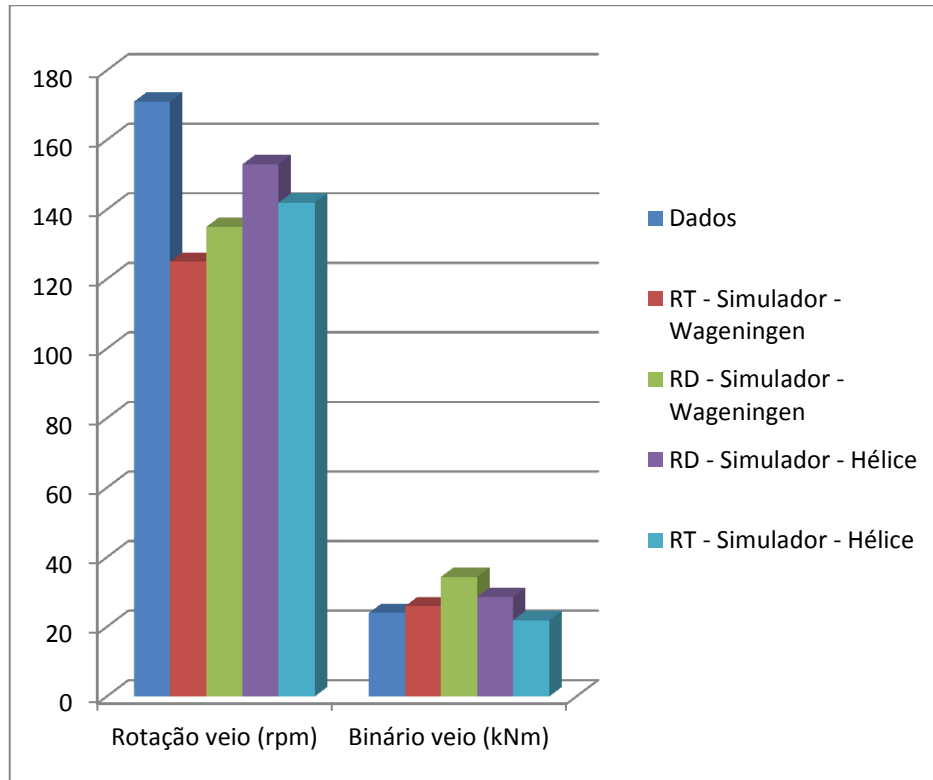


Figura 65 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 12 nós (2)

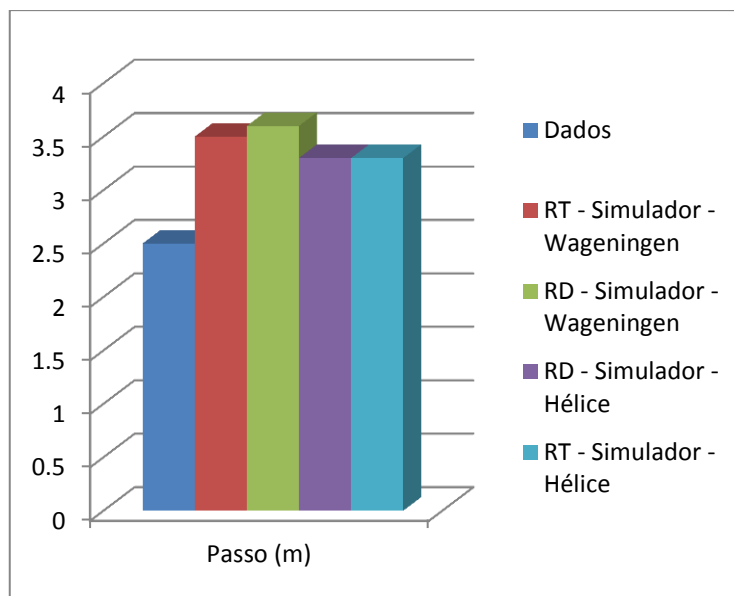


Figura 66 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 12 nós (3)

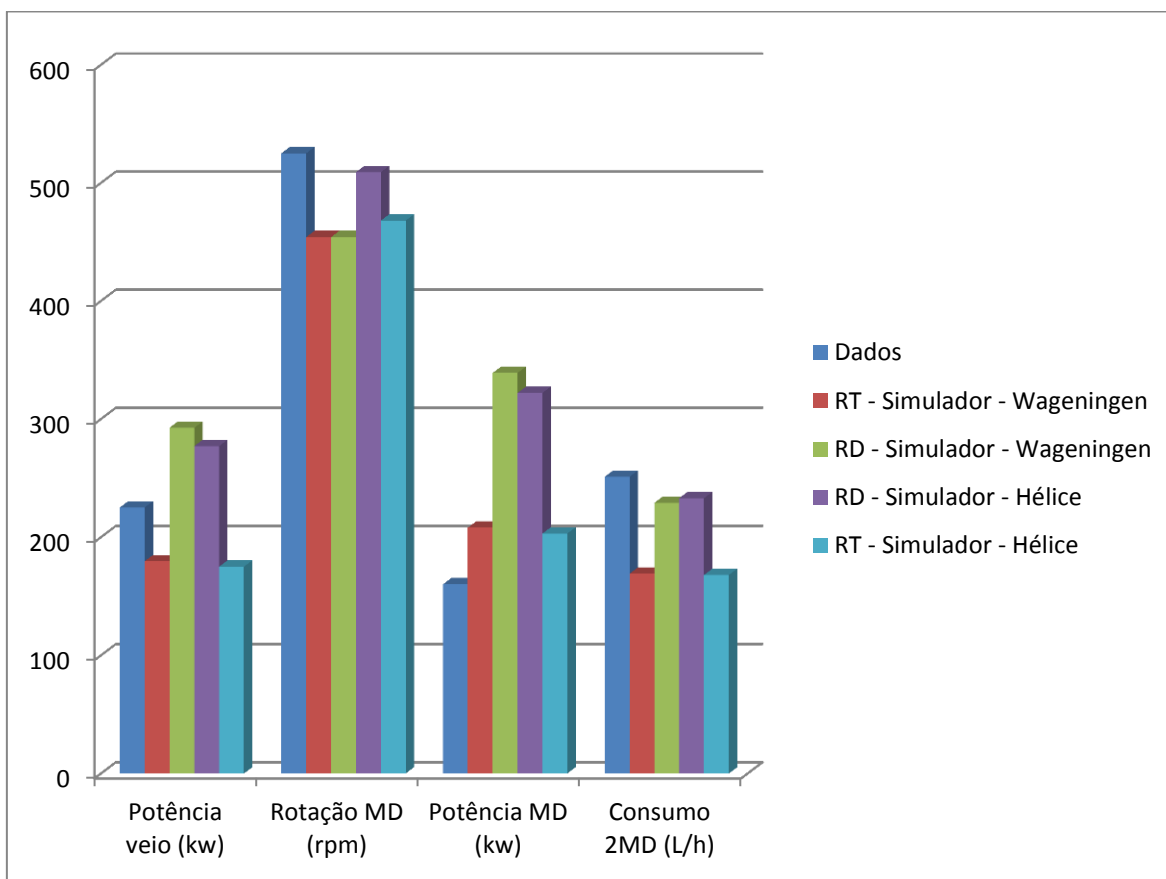


Figura 67 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 10.5 nós (1)

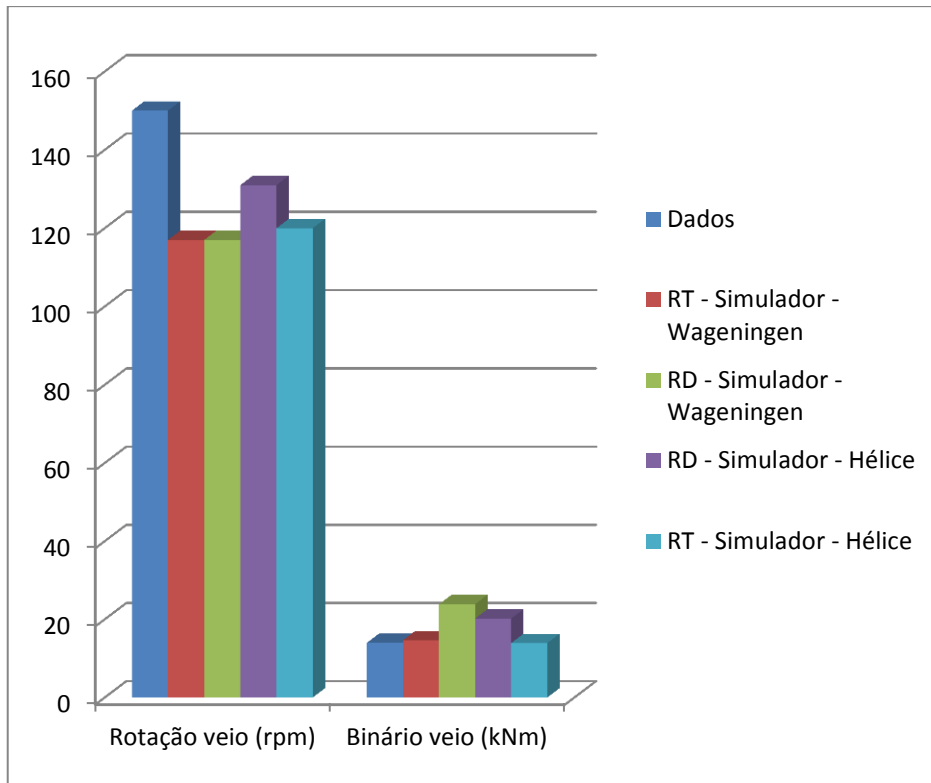


Figura 68 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 10.5 nós (2)

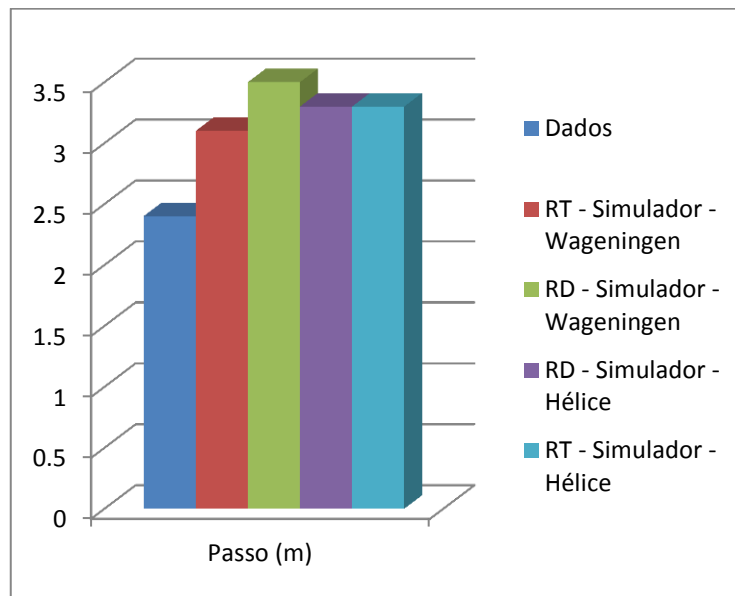


Figura 69 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 2MD a 10.5 nós (3)

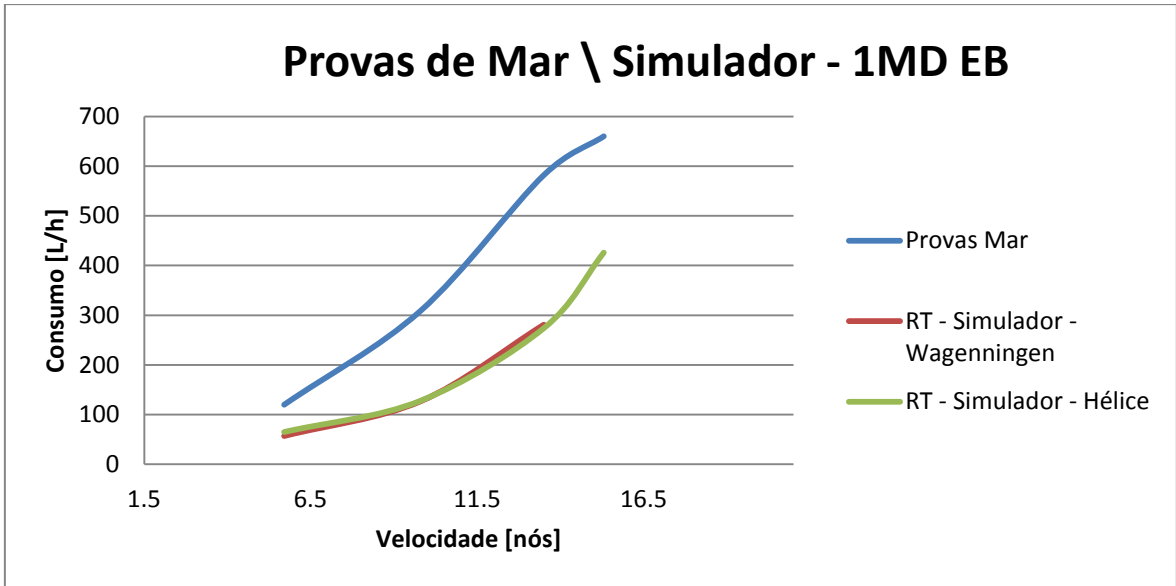


Figura 70 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 para 1MD (EB) e um veio arrastado

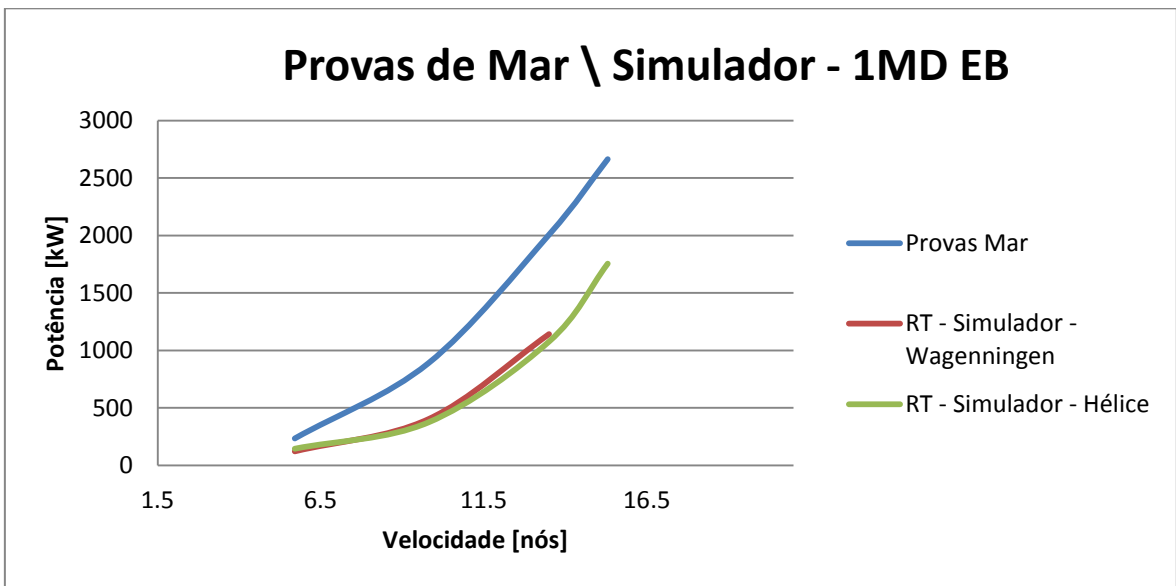


Figura 71 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 1MD (EB) e um veio arrastado

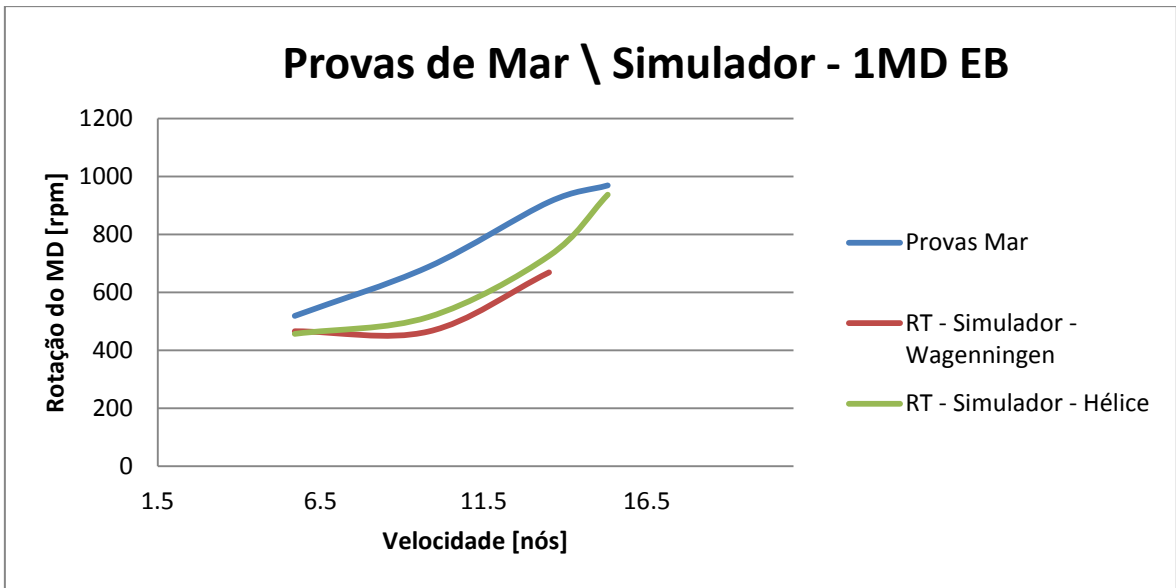


Figura 72 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 1MD (EB) e um veio arrastado

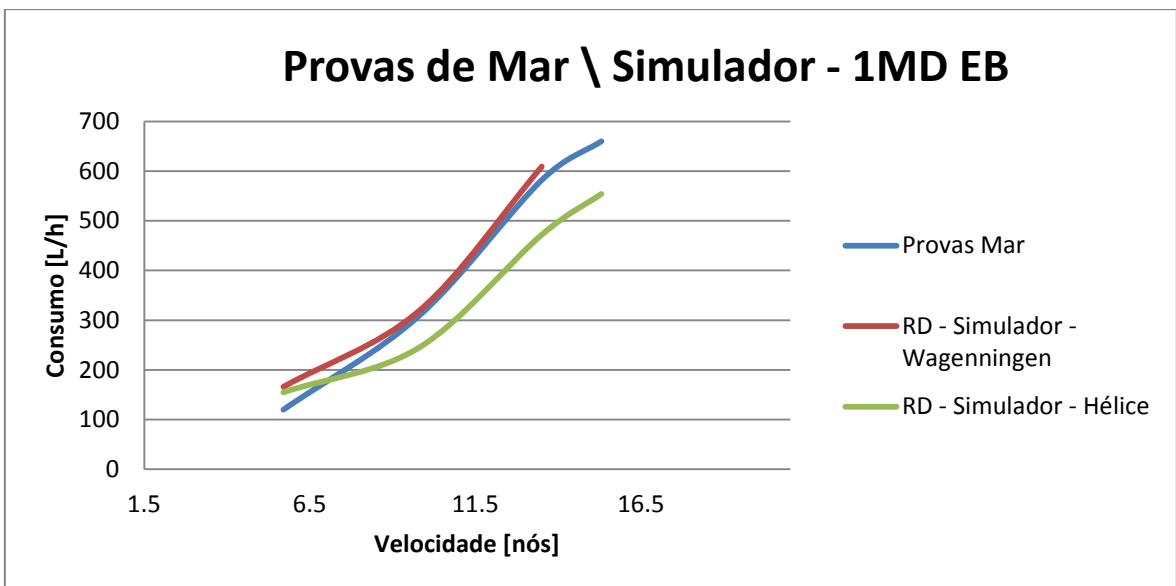


Figura 73 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (EB) e um veio arrastado

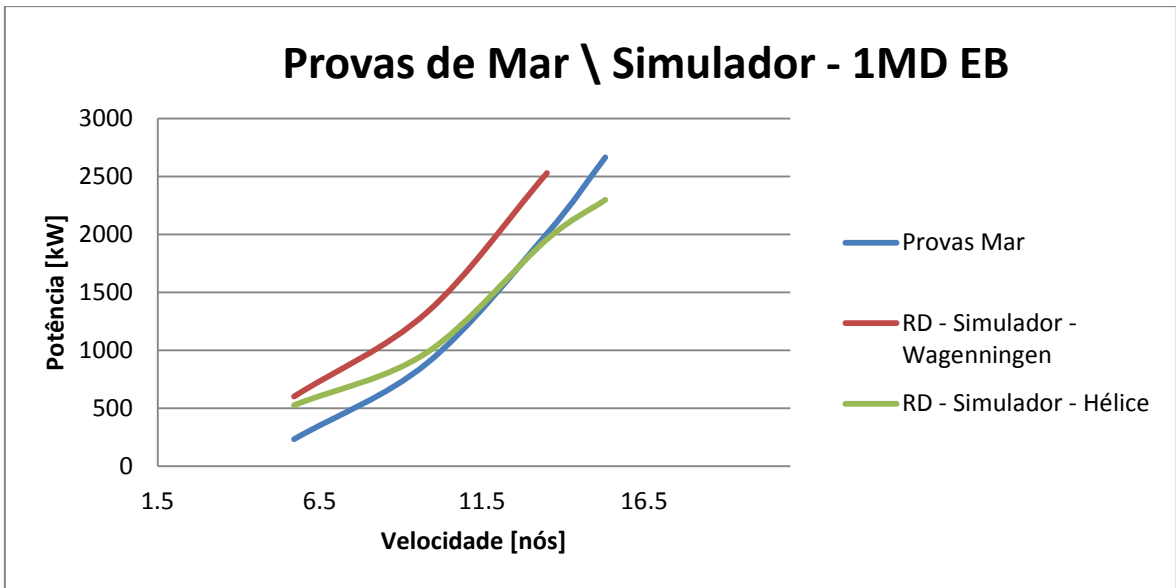


Figura 74 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (EB) e um veio arrastado

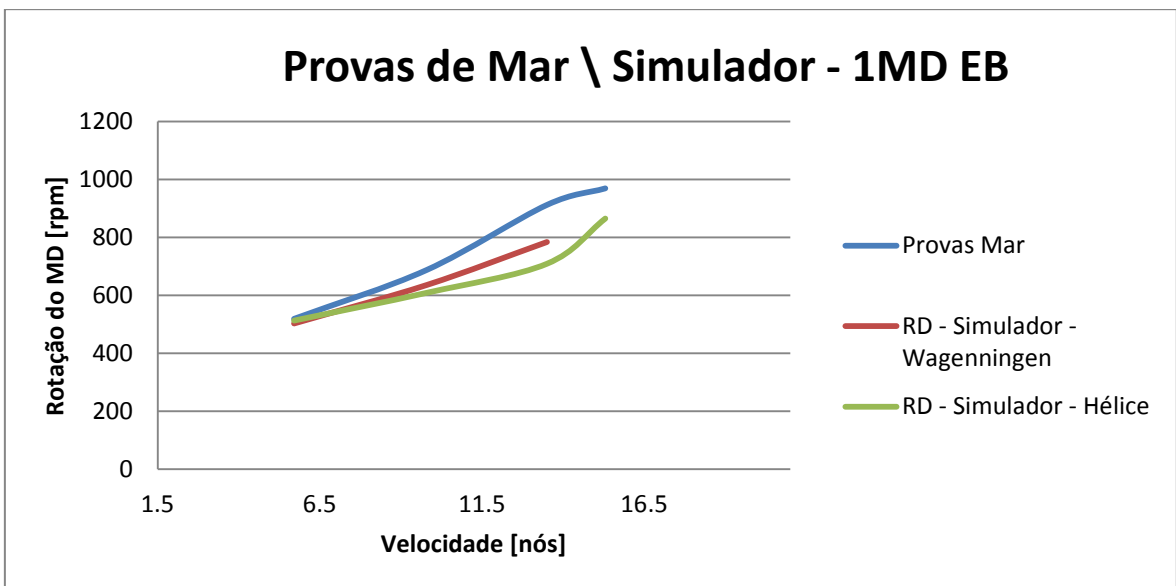


Figura 75 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (EB) e um veio arrastado

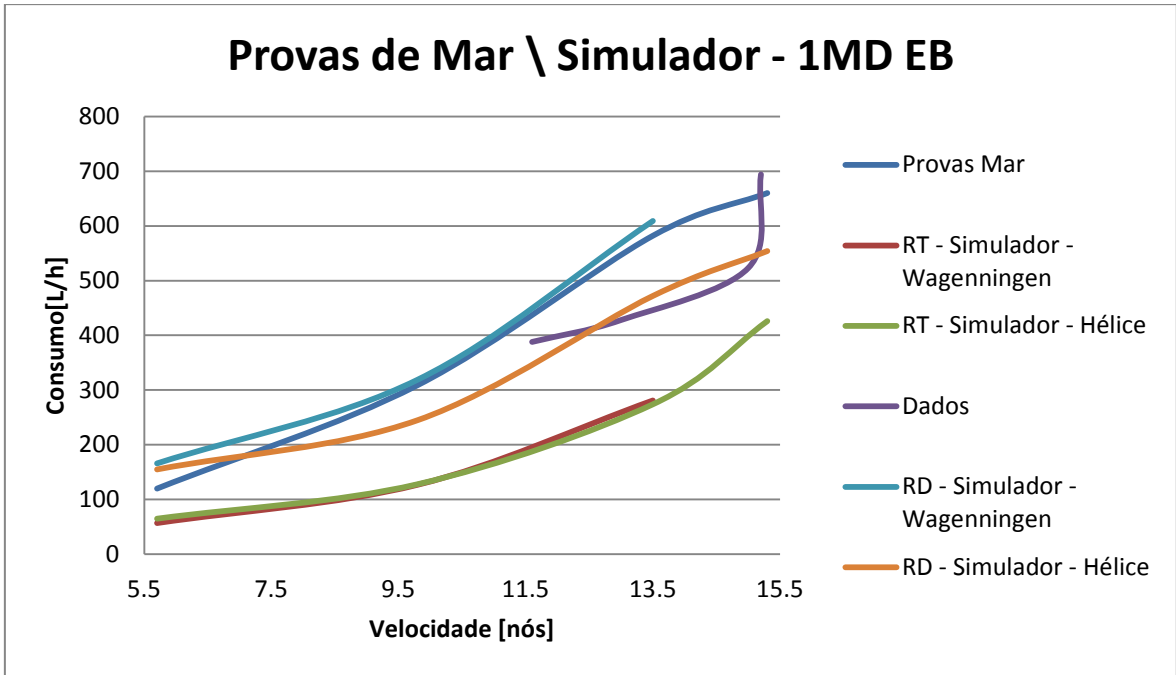


Figura 76 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar, dos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (EB) e um veio arrastado

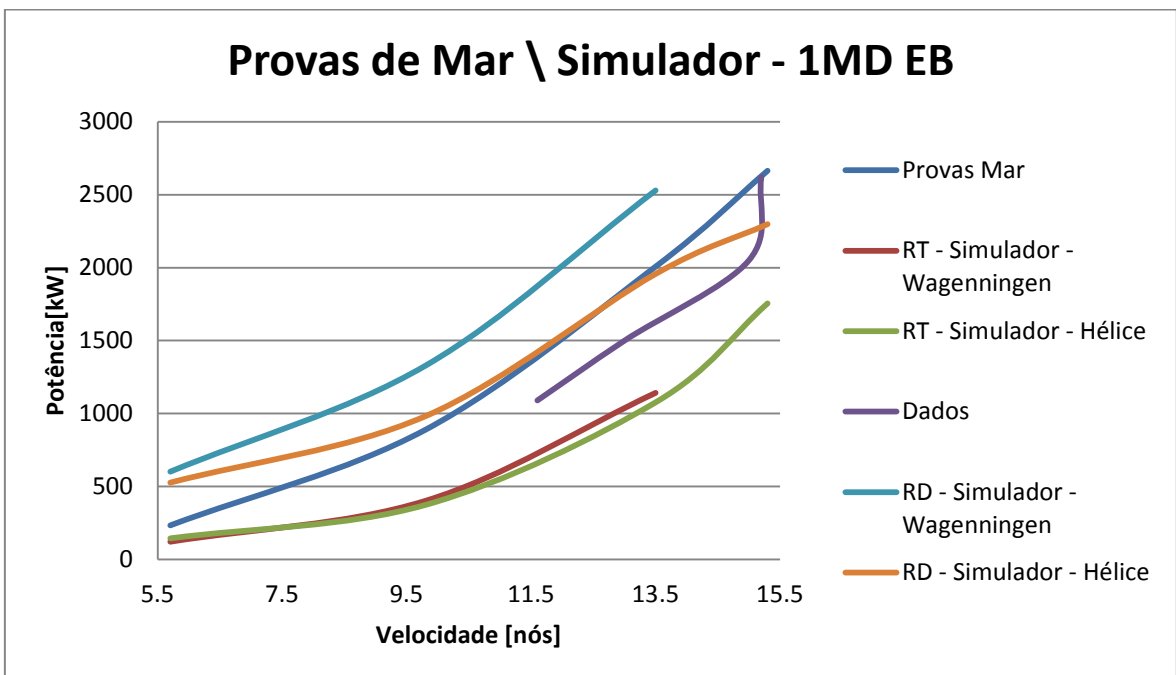


Figura 77 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (EB) e um veio arrastado

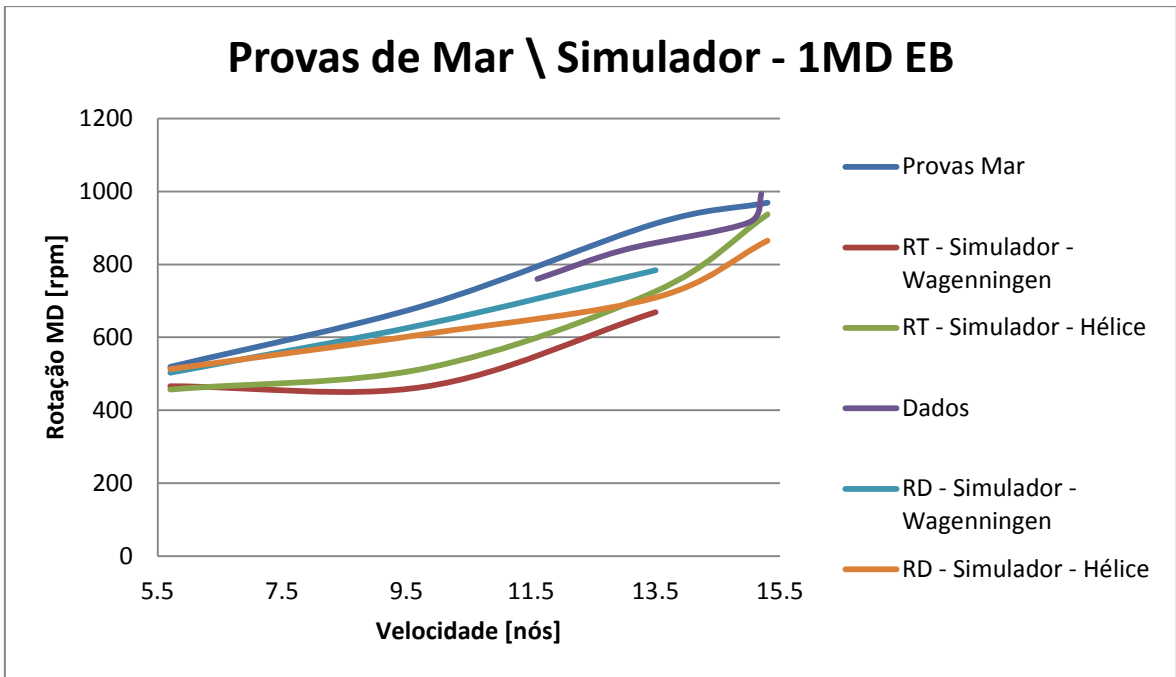


Figura 78 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (EB) e um veio arrastado

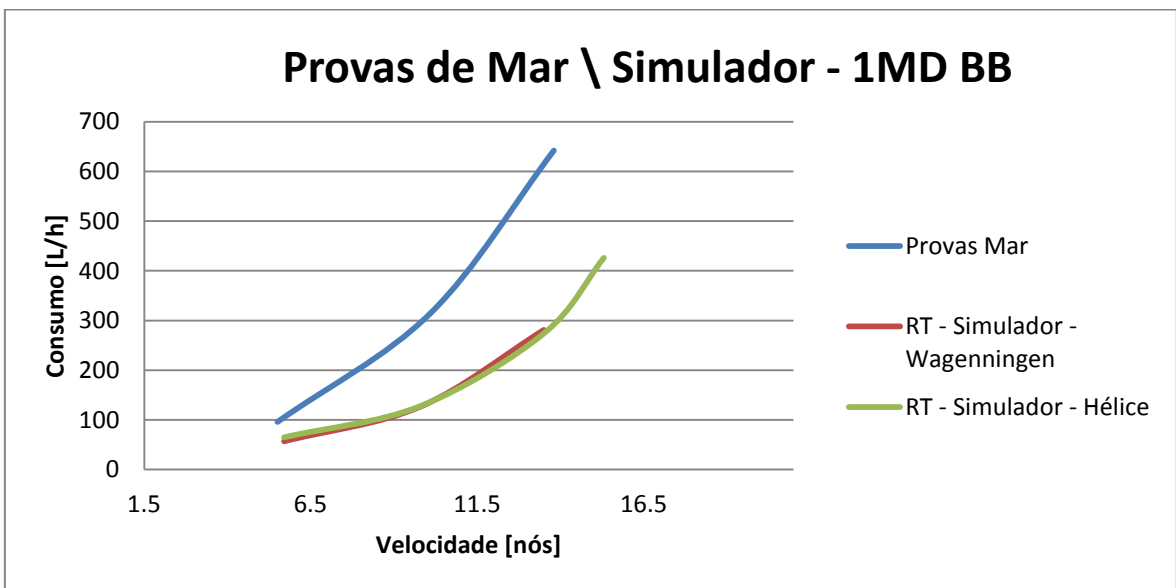


Figura 79 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 para 1MD (BB) e um veio arrastado

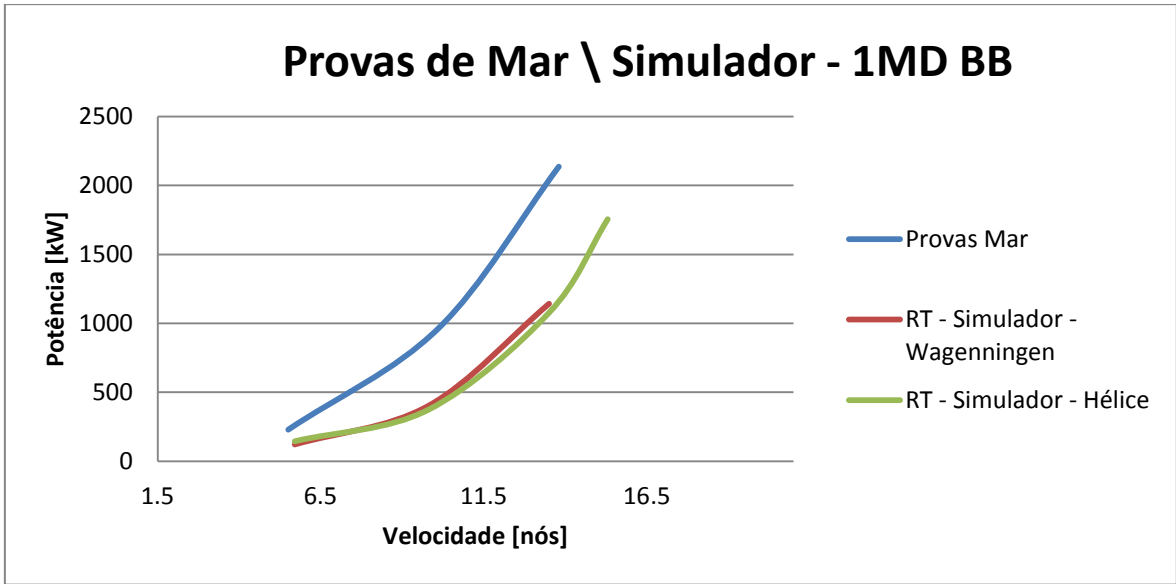


Figura 80 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 1MD (BB) e um veio arrastado

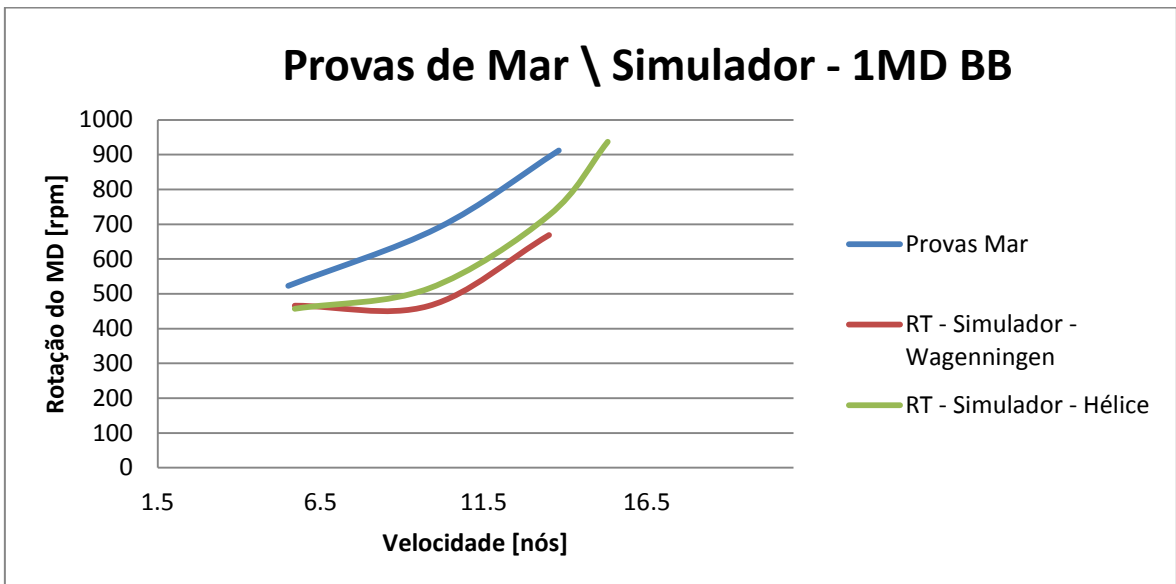


Figura 81 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 para 1MD (BB) e um veio arrastado

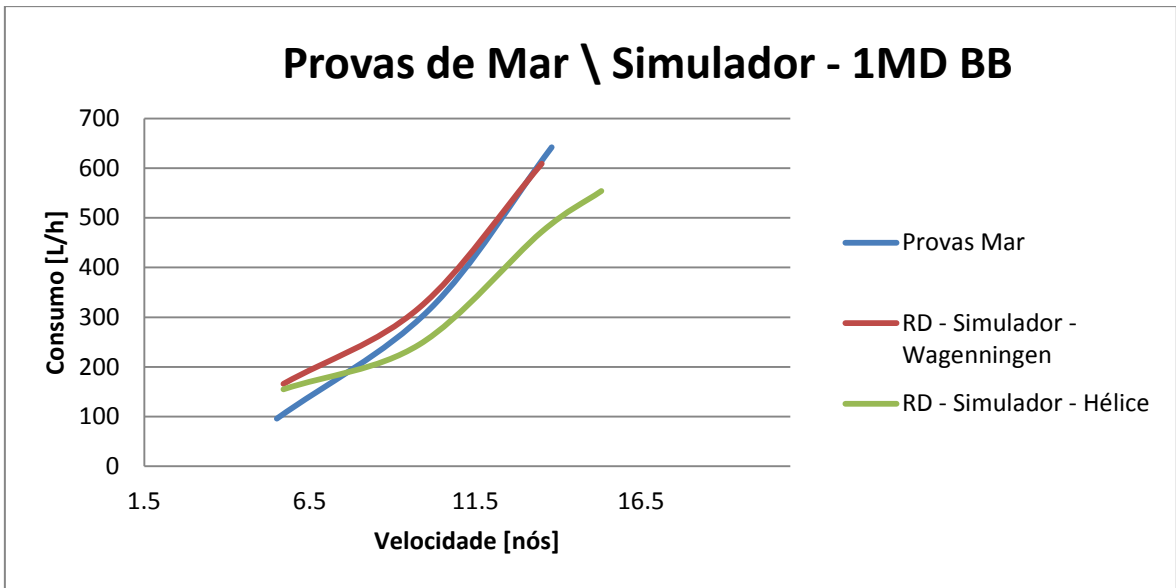


Figura 82 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar e do simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (BB) e um veio arrastado

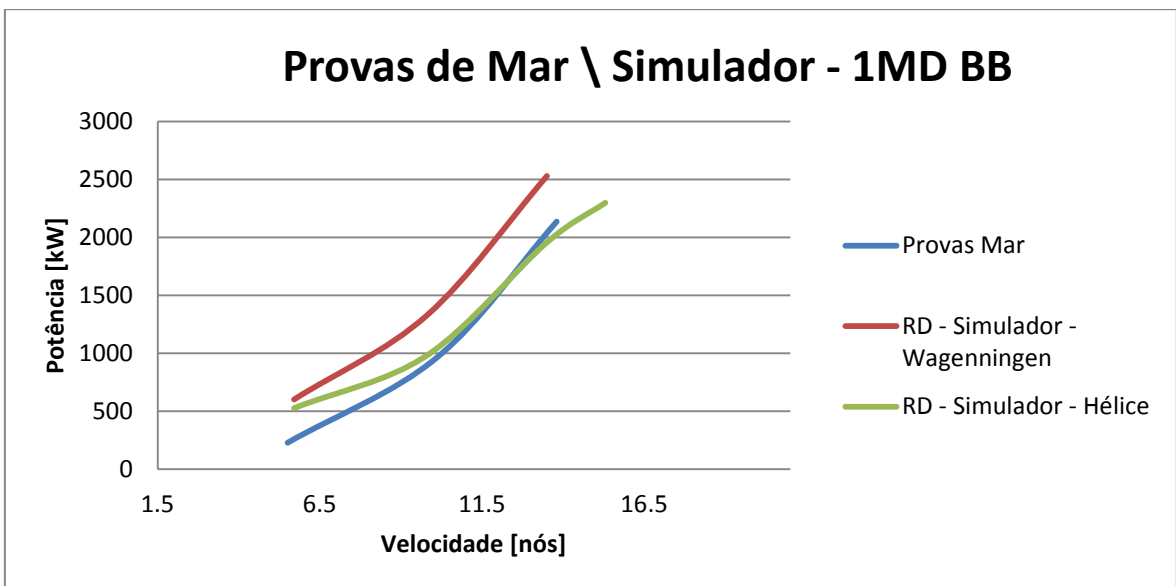


Figura 83 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (BB) e um veio arrastado

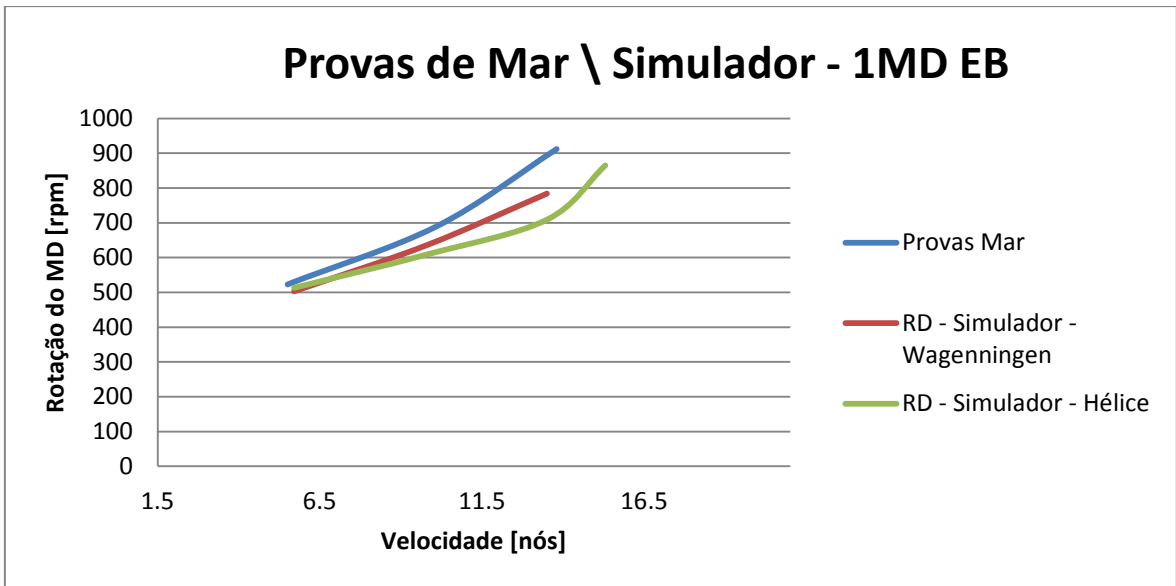


Figura 84 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar e no simulador 1 com a resistência deduzida para 1MD (BB) e um veio arrastado

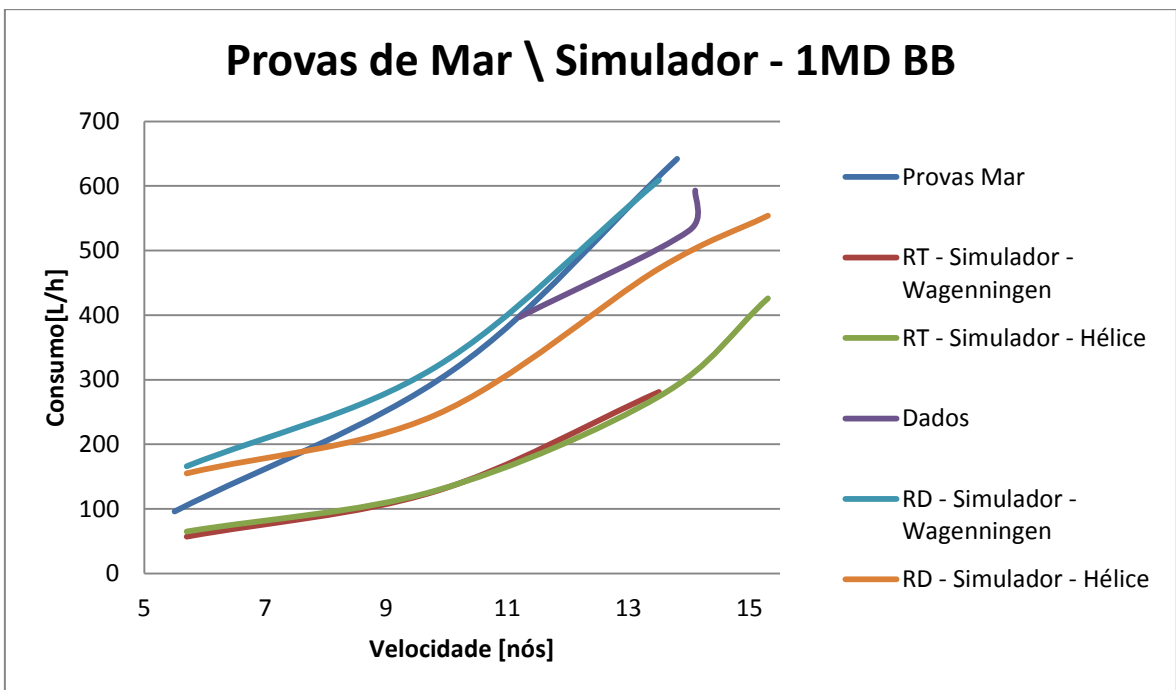


Figura 85 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar, dos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (BB) e um veio arrastado

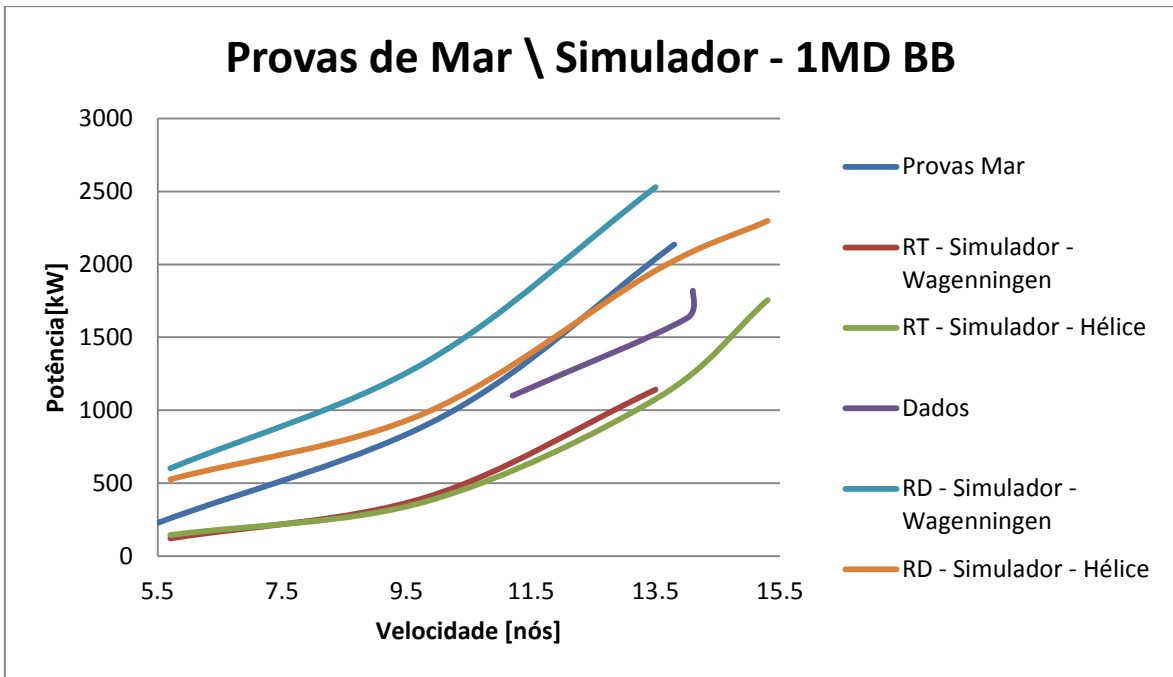


Figura 86 – Comparação entre as potências desenvolvidas pelos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (BB) e um veio arrastado

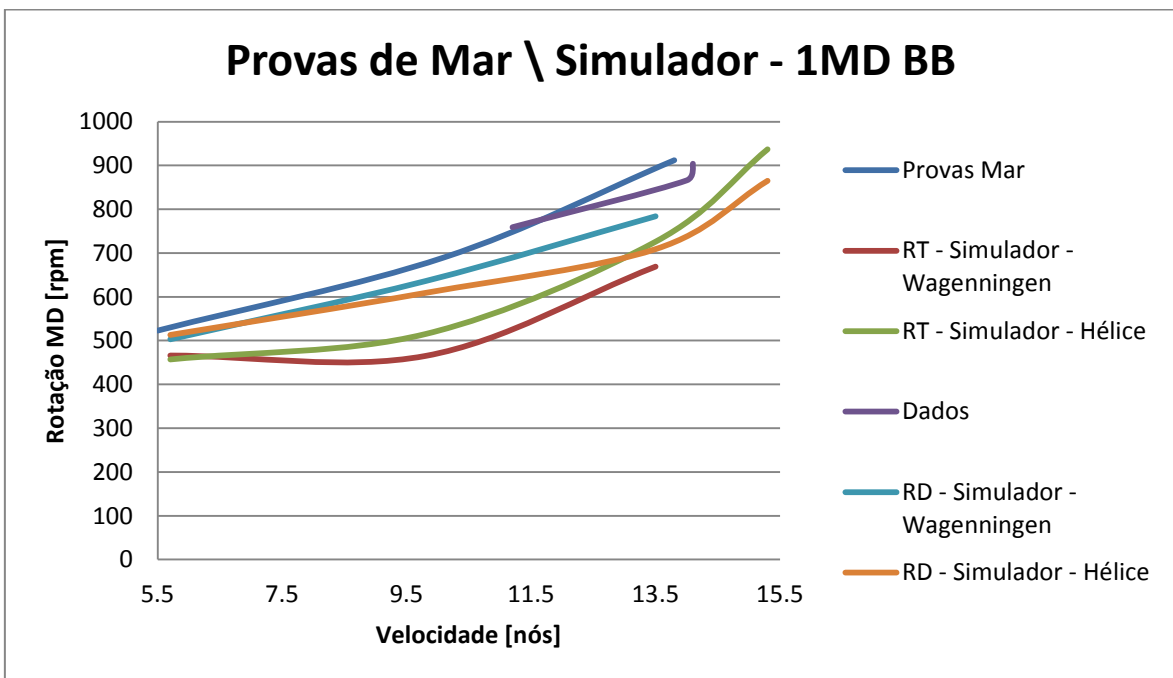


Figura 87 – Comparação entre as rotações dos MD nas provas de mar, nos simuladores e dos dados retirados a navegar para 1MD (BB) e um veio arrastado

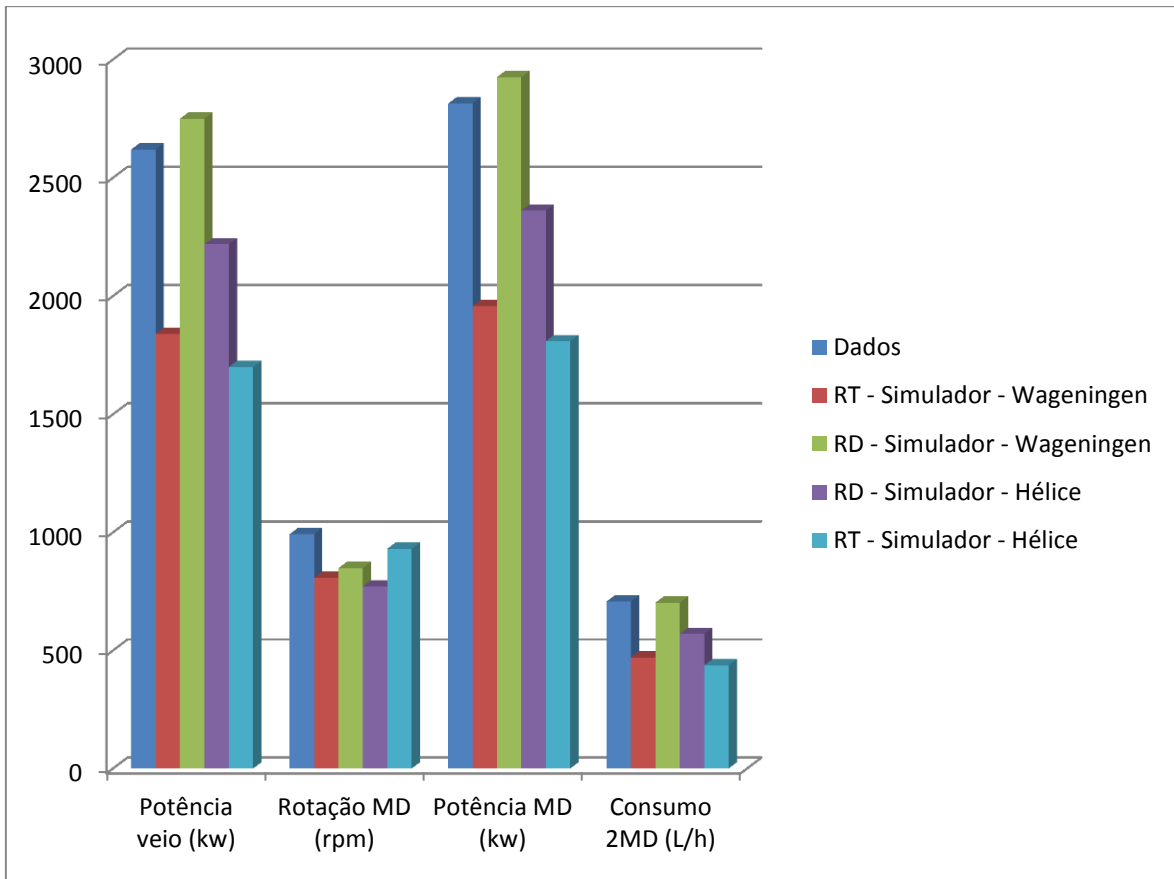


Figura 88 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (1) (1)

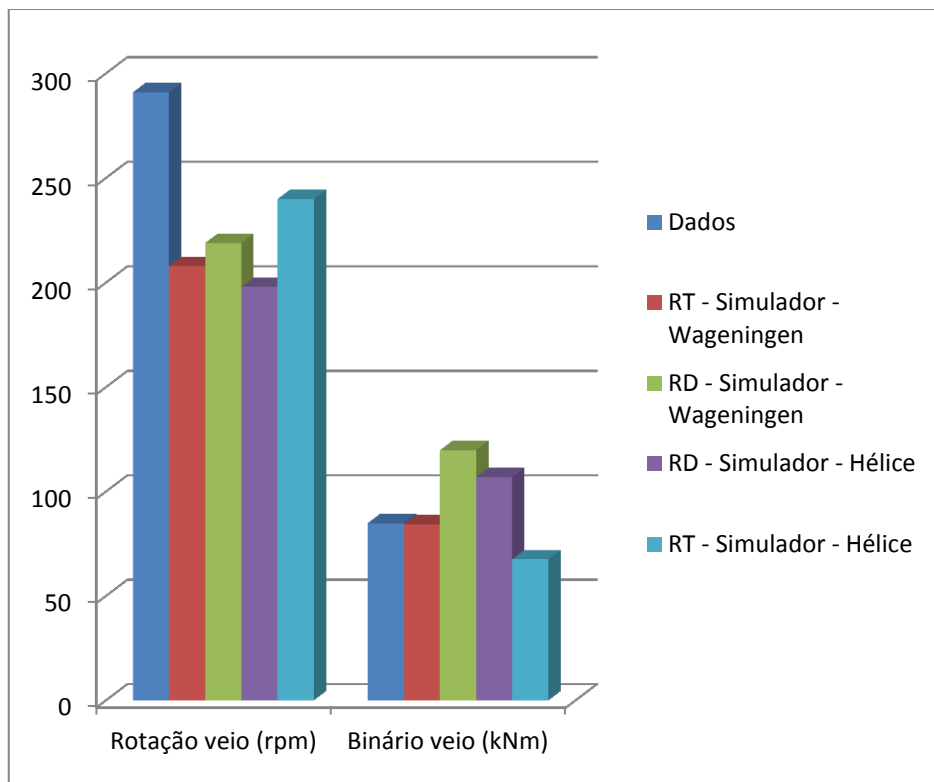


Figura 89 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (1) (2)

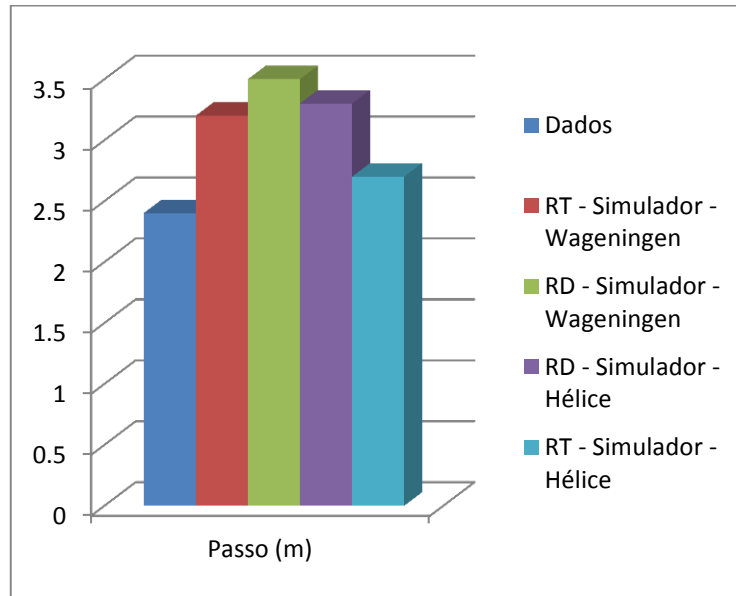


Figura 90 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (1) (3)

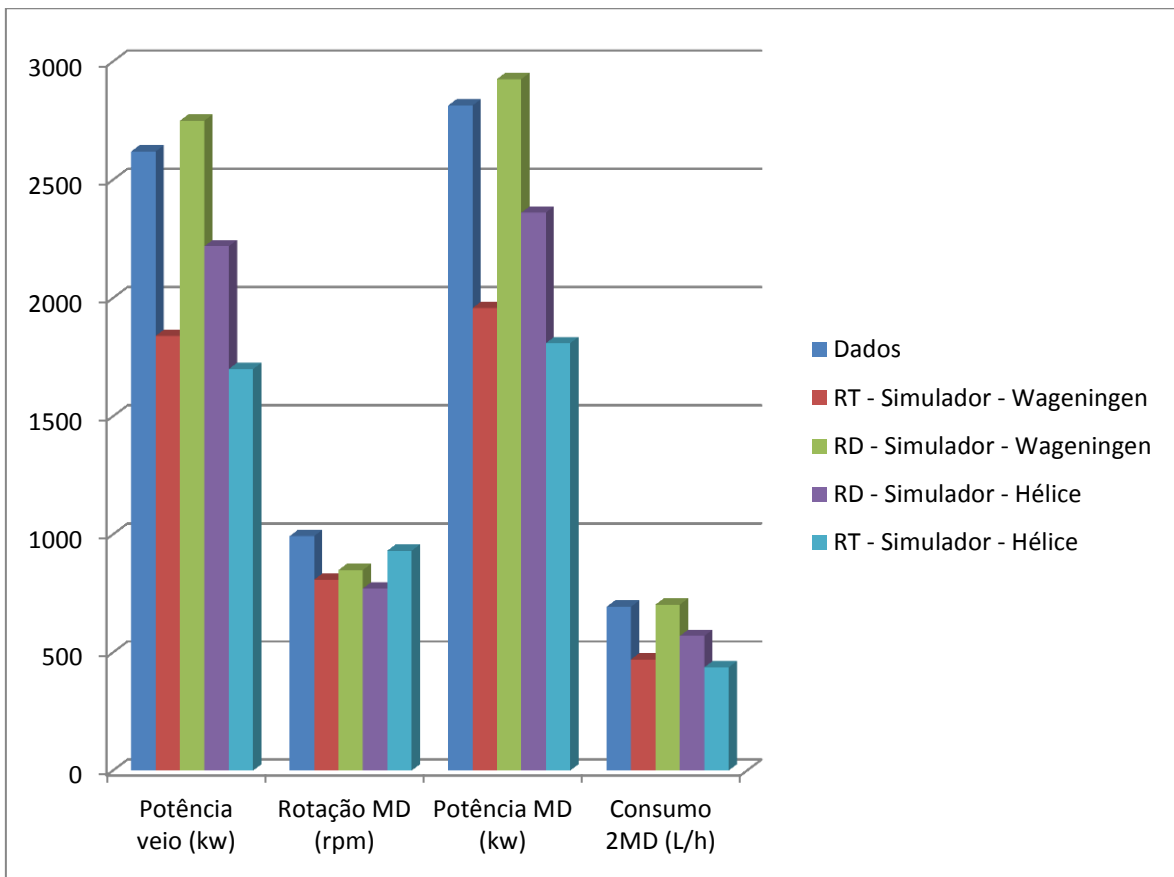


Figura 91 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (2) (1)

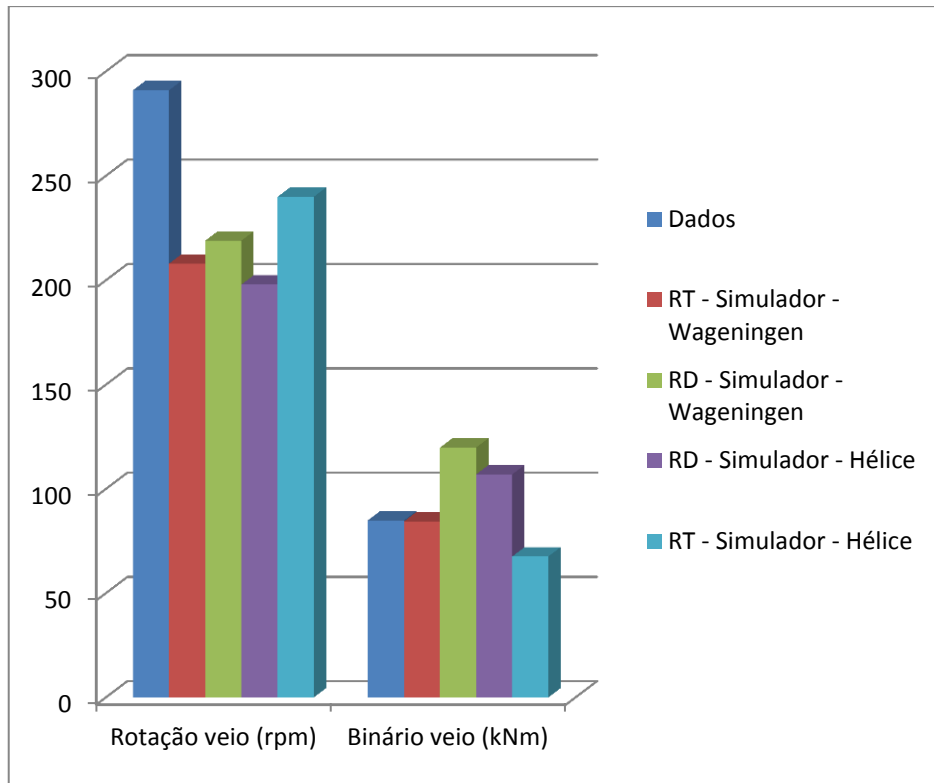


Figura 92 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (2) (2)

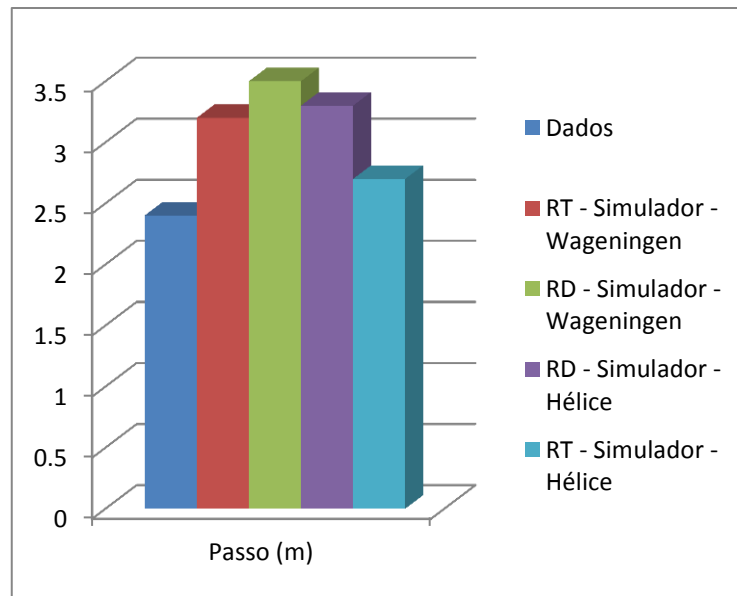


Figura 93 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 15.2 nós (2) (3)

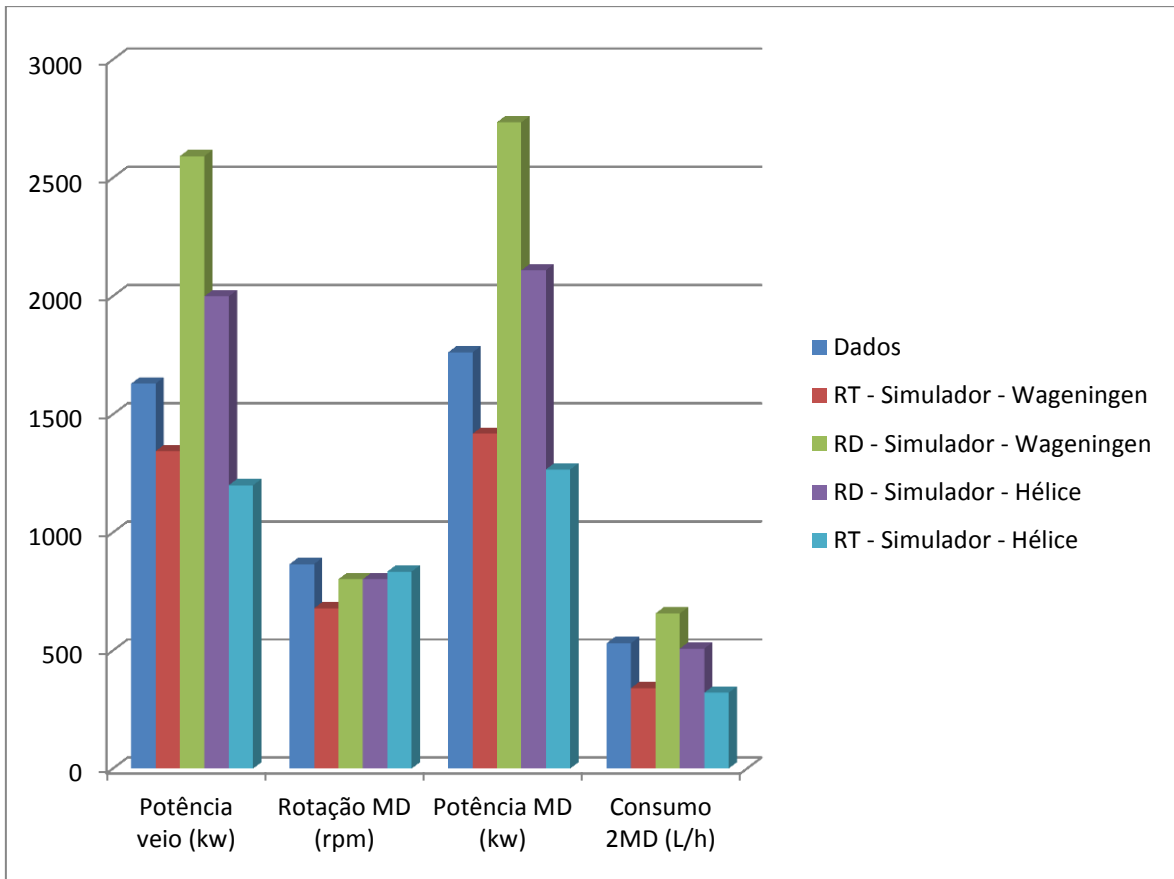


Figura 94 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (1) (1)

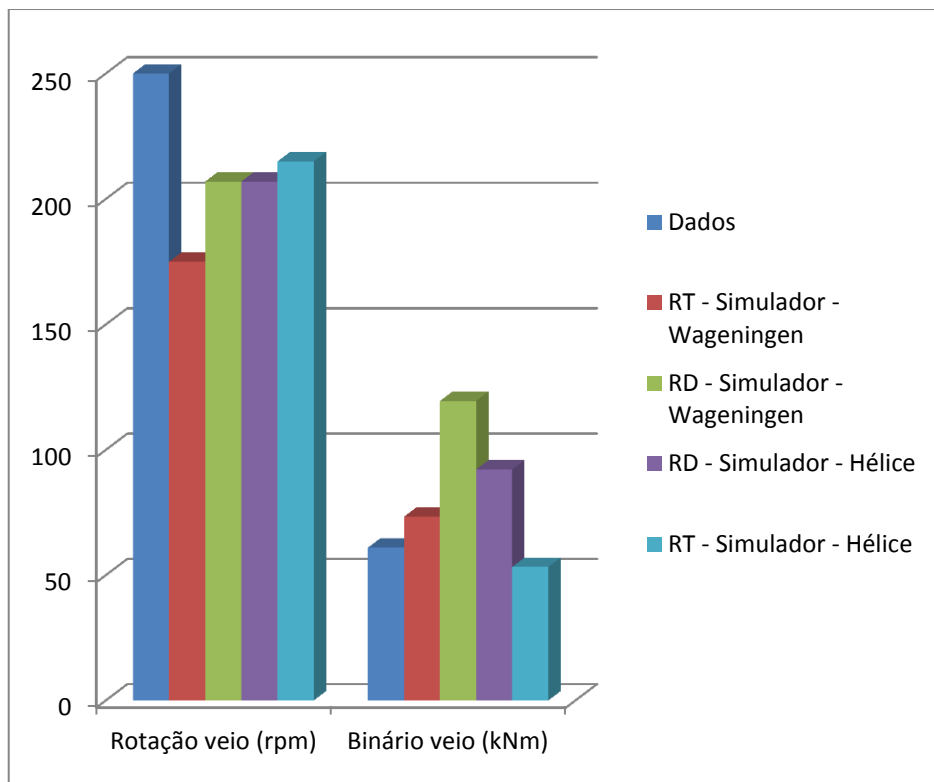


Figura 95 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (1) (2)

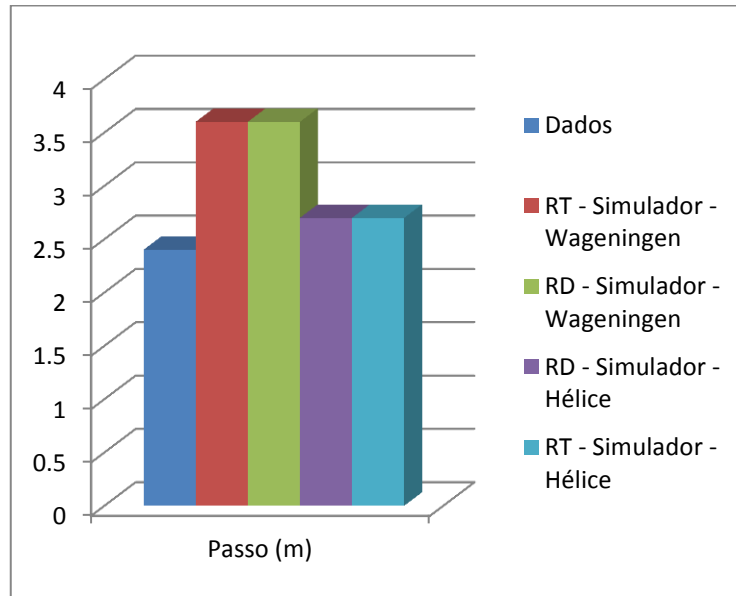


Figura 96 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (1) (3)

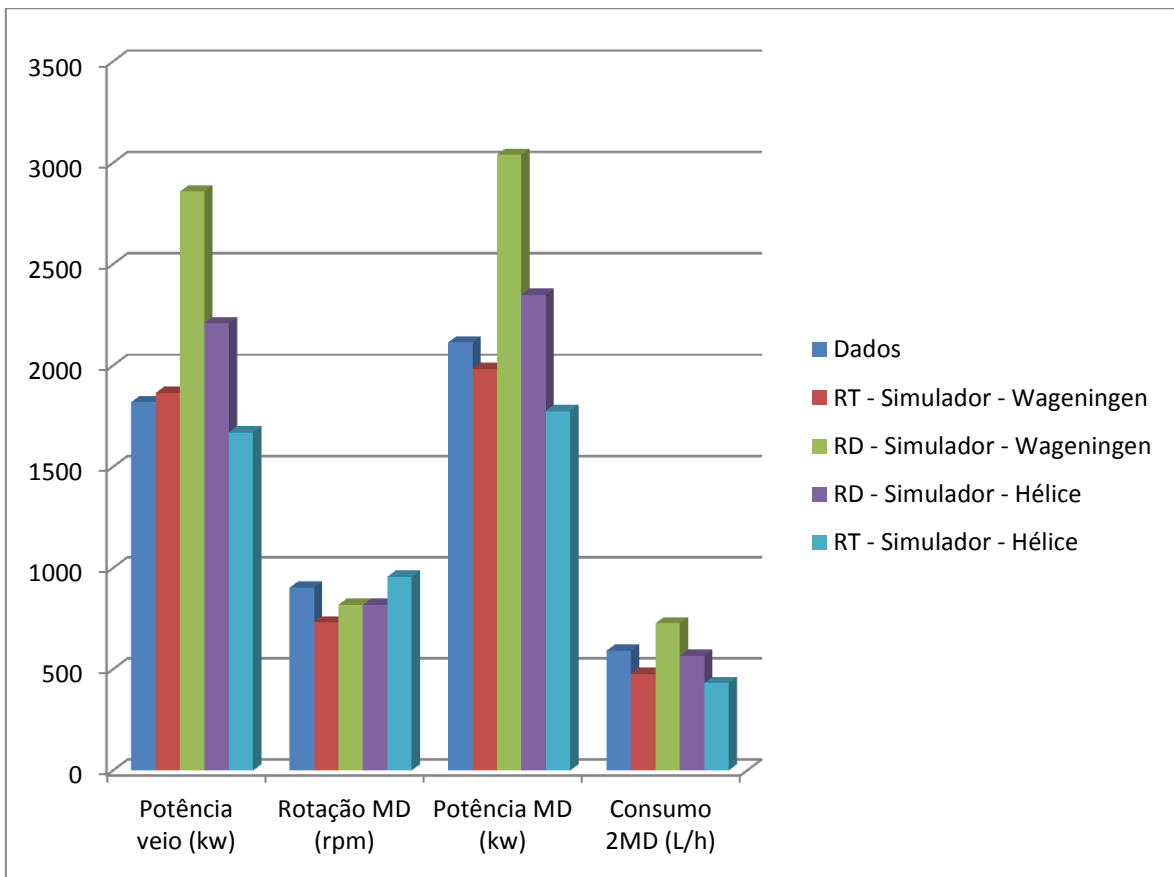


Figura 97 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14.1 nós (1)

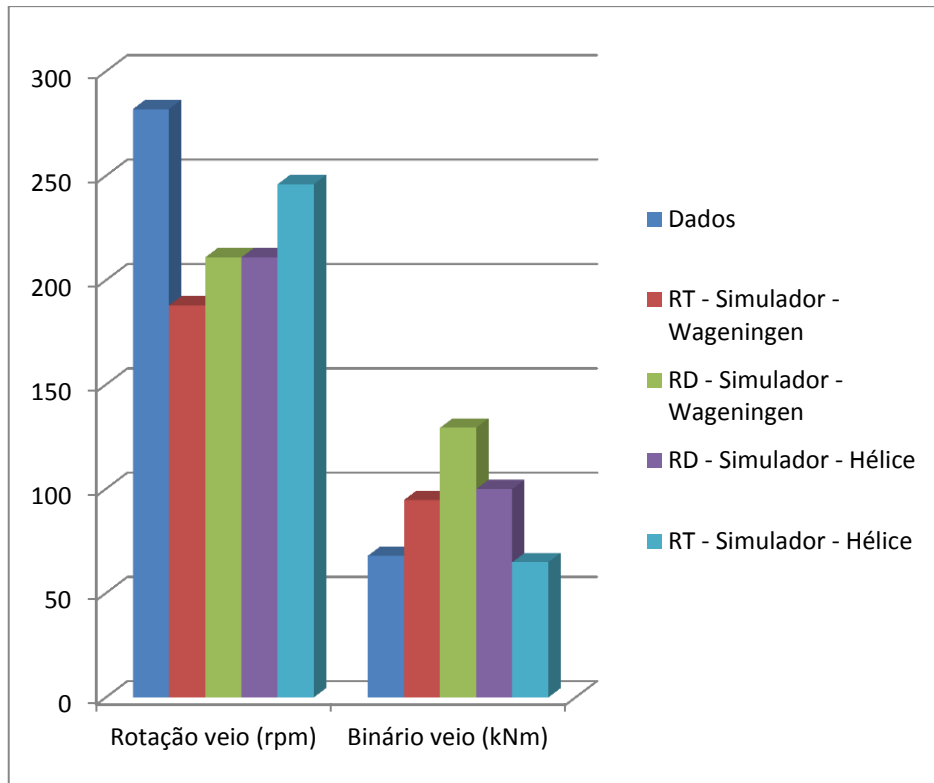


Figura 98 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14.1 nós (2)

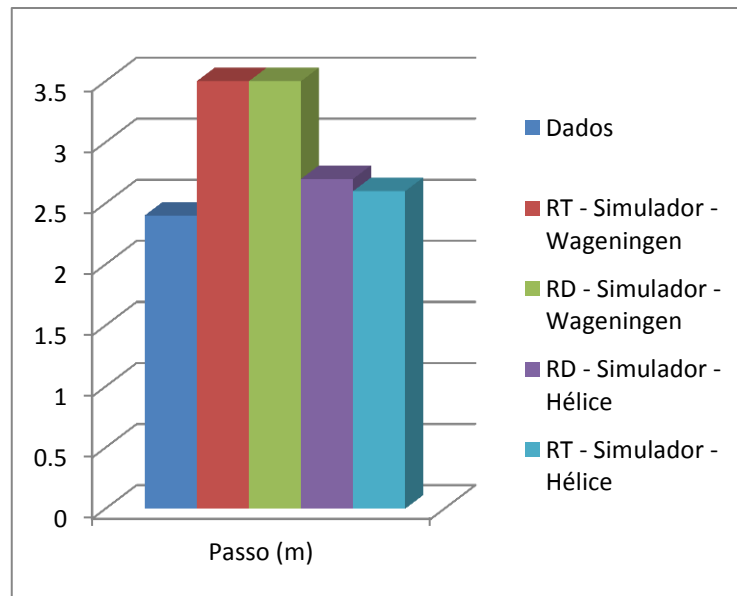


Figura 99 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14.1 nós (3)

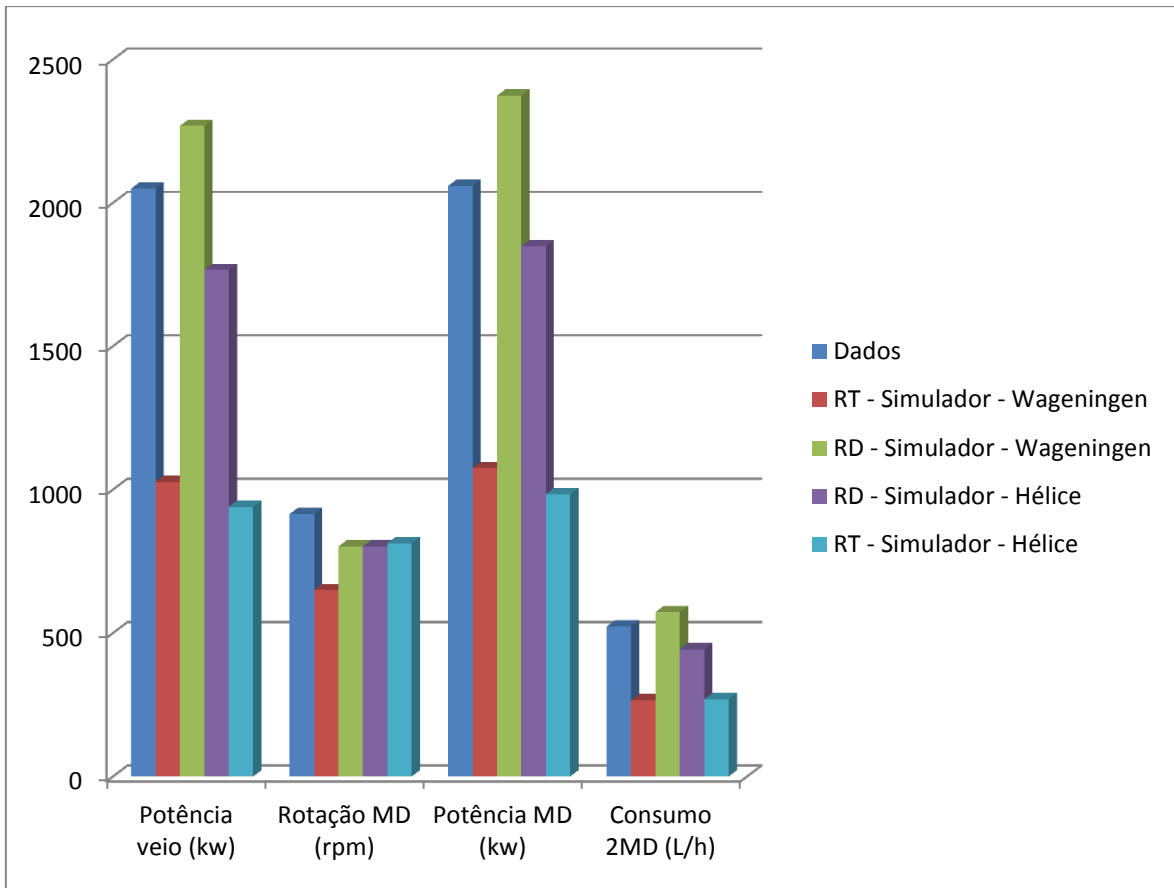


Figura 100 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (2) (1)

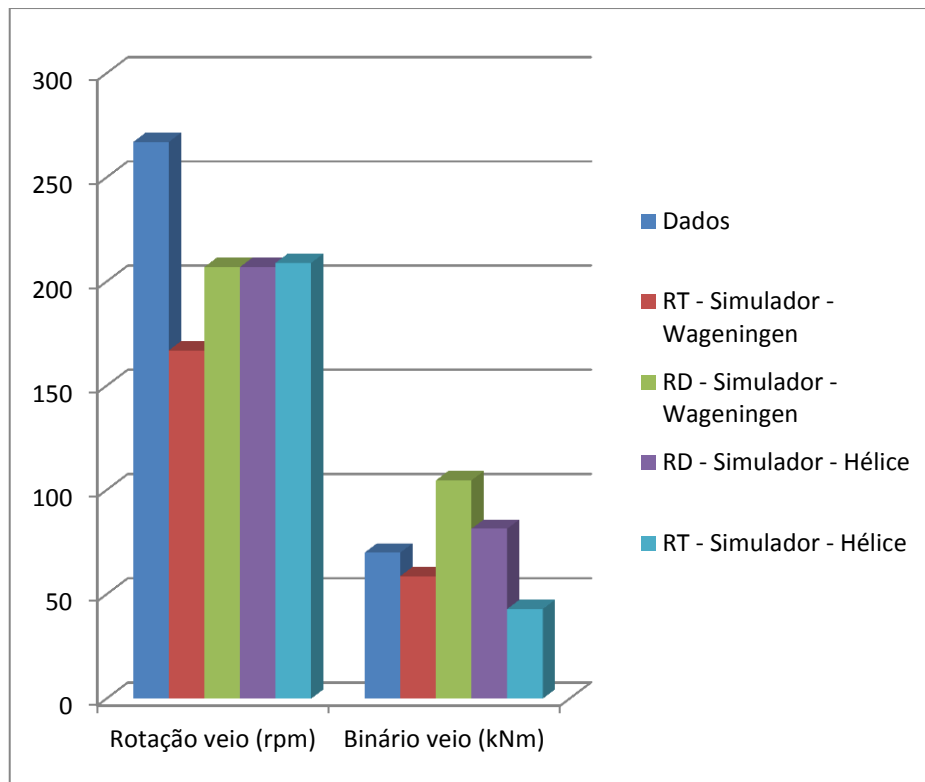


Figura 101 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (2) (2)

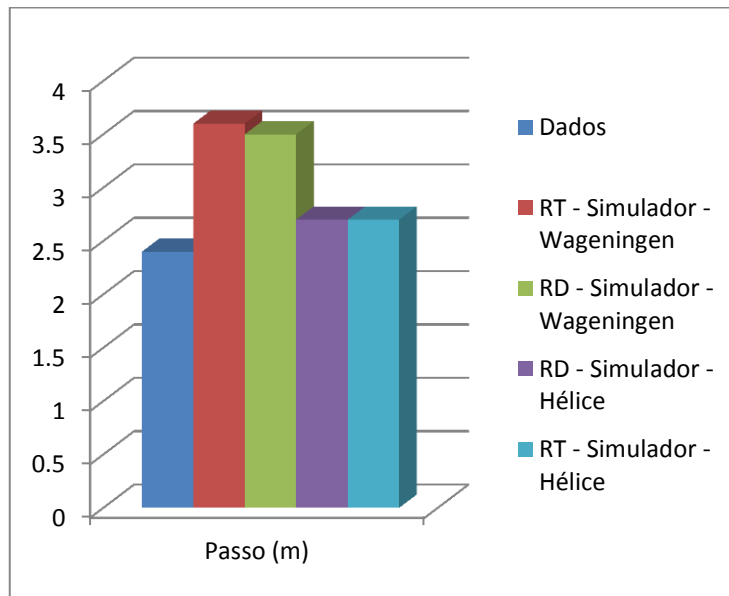


Figura 102 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 14 nós (2) (3)

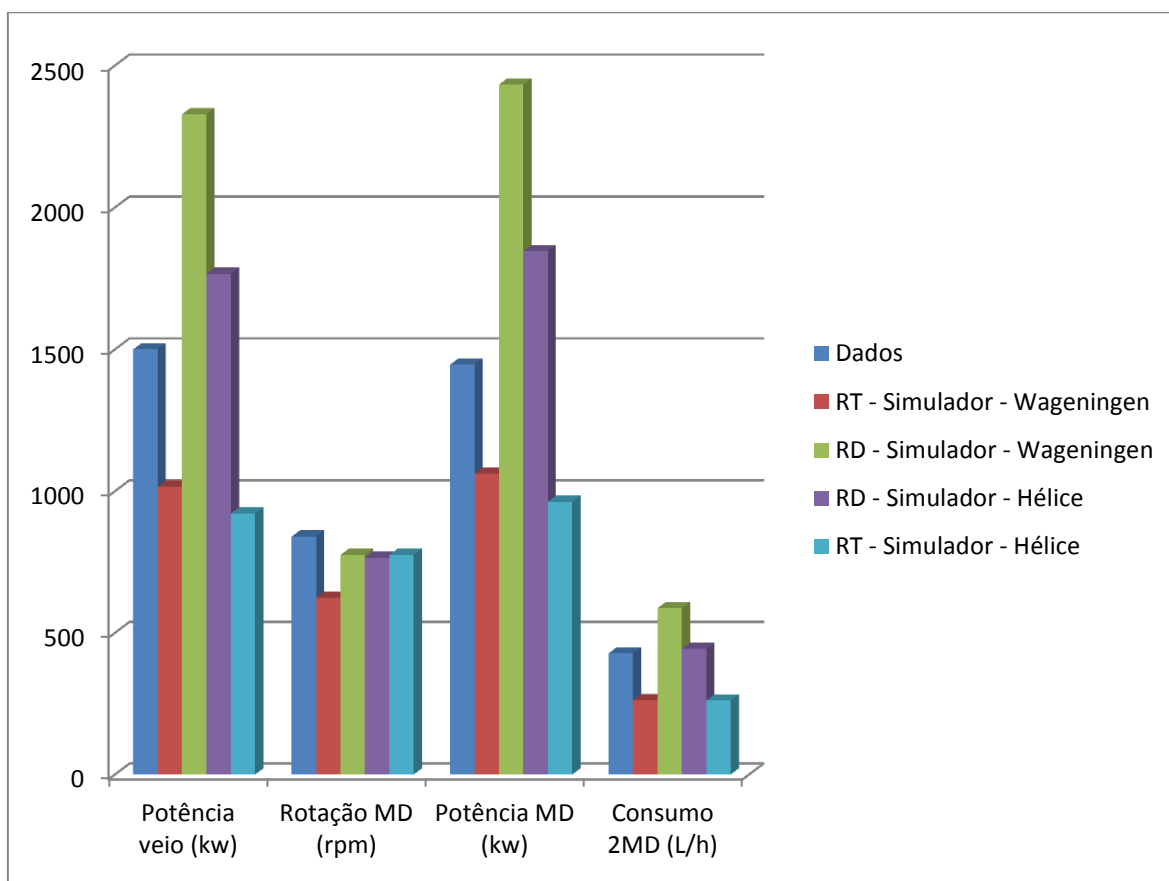


Figura 103 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 13 nós (1)

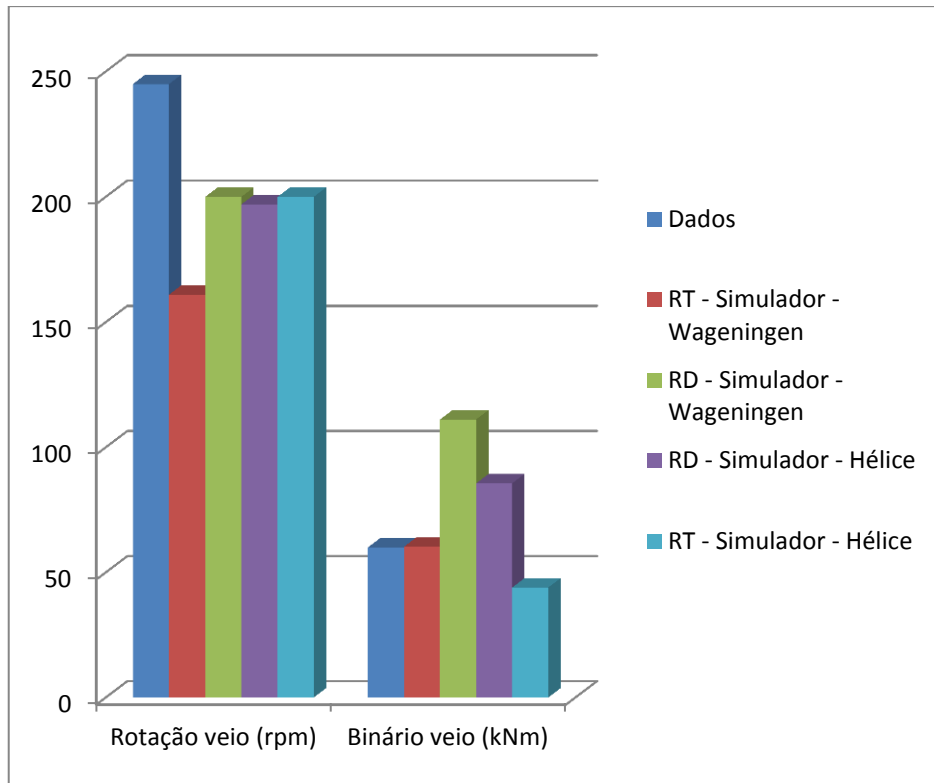


Figura 104 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 13 nós (2)

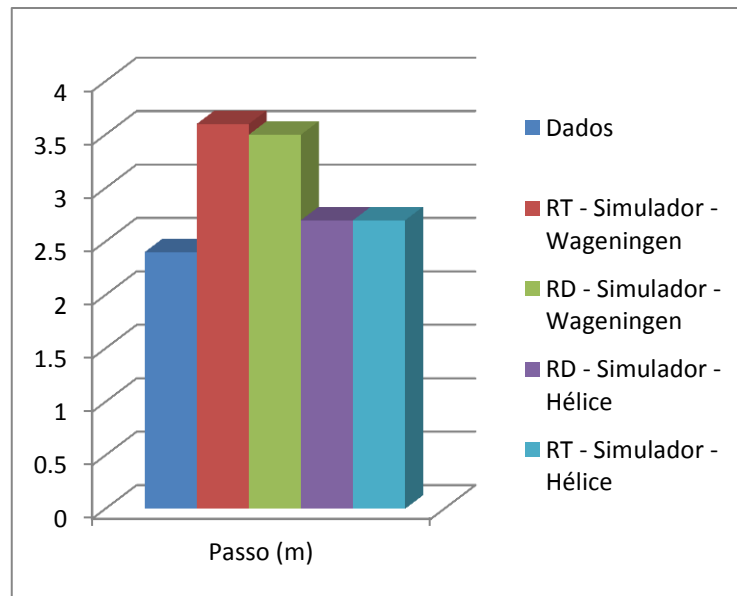


Figura 105 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 13 nós (3)

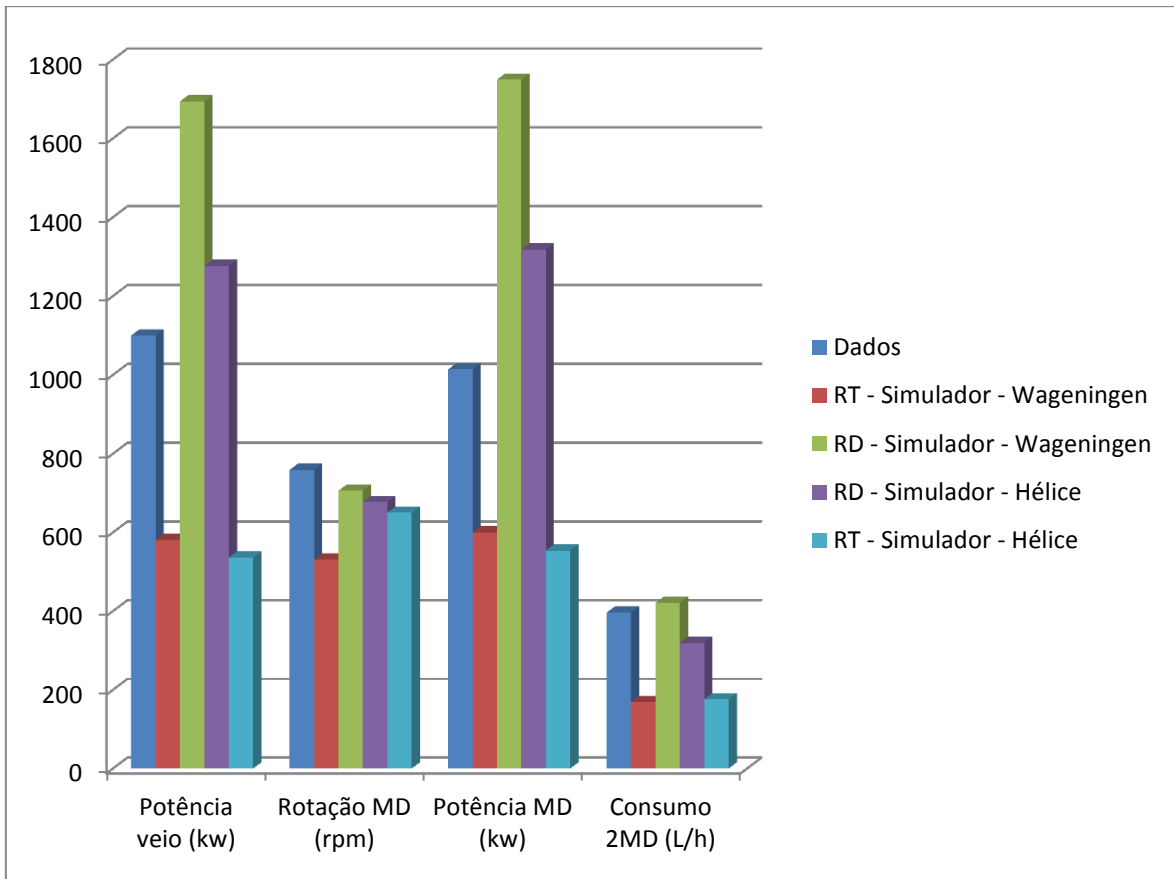


Figura 106 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.2 nós (1)

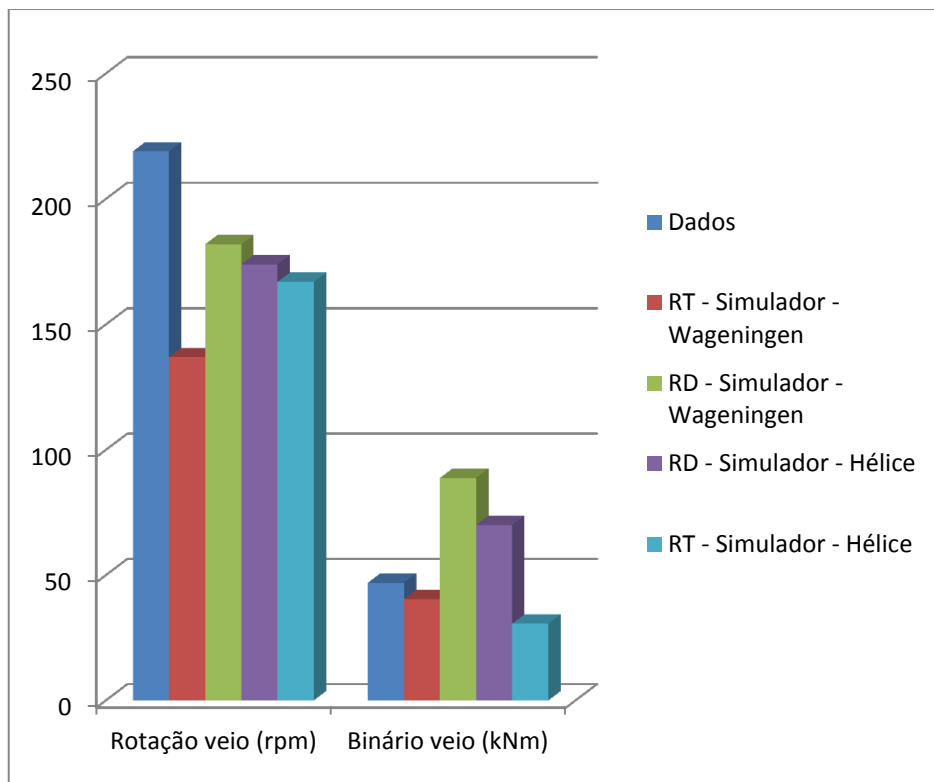


Figura 107 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.2 nós (2)

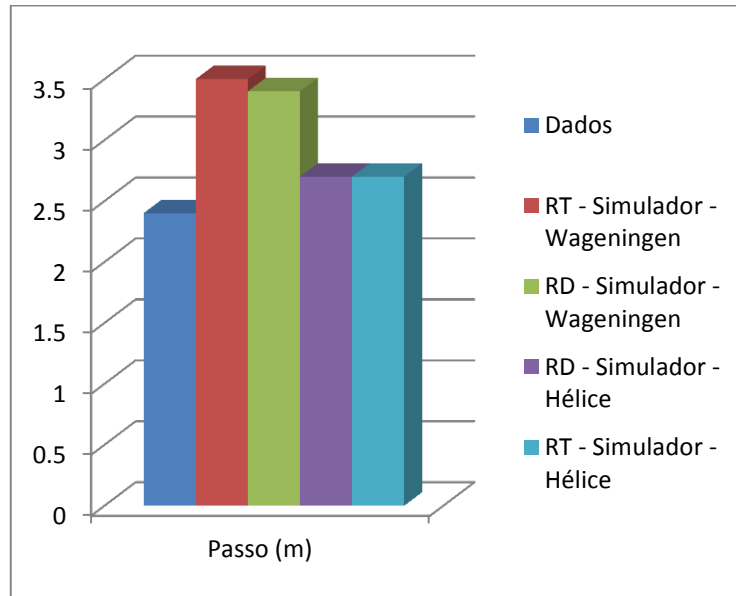


Figura 108 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.2 nós (3)

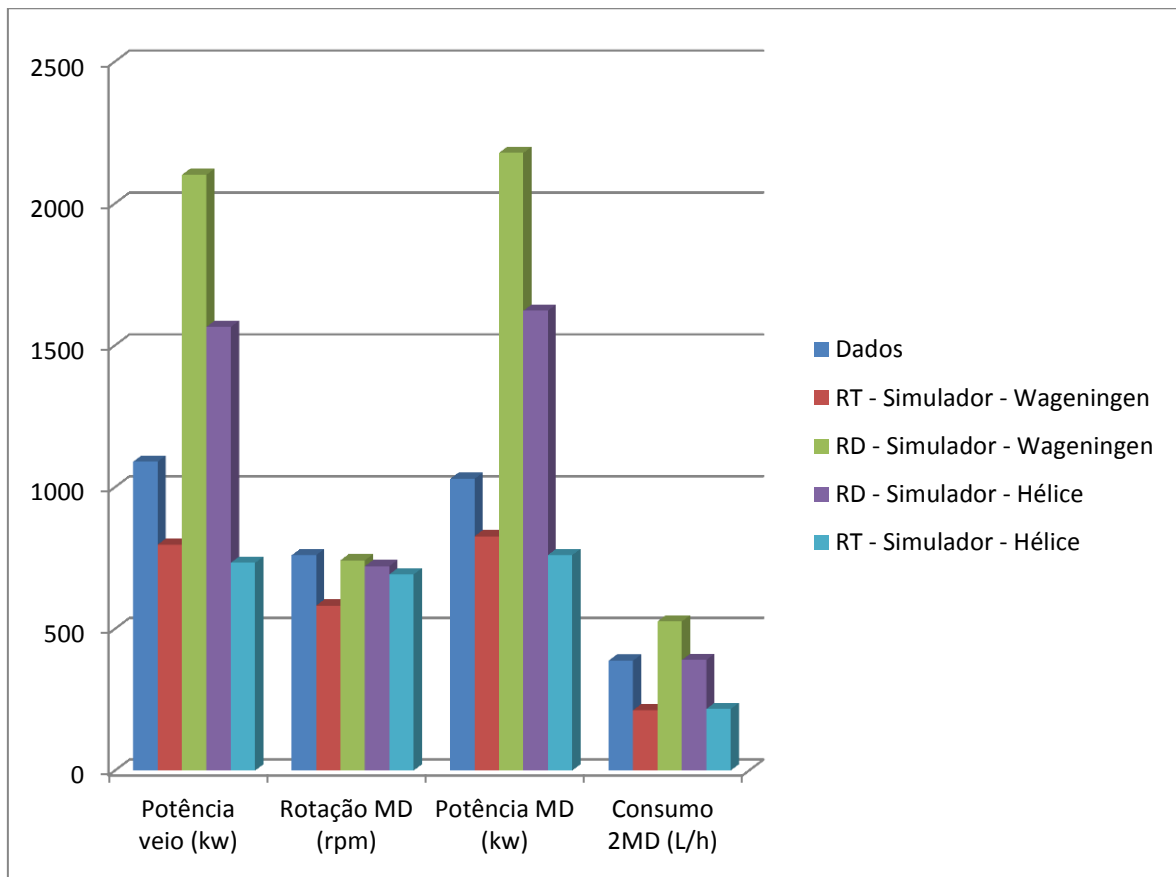


Figura 109 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.6 nós (1)

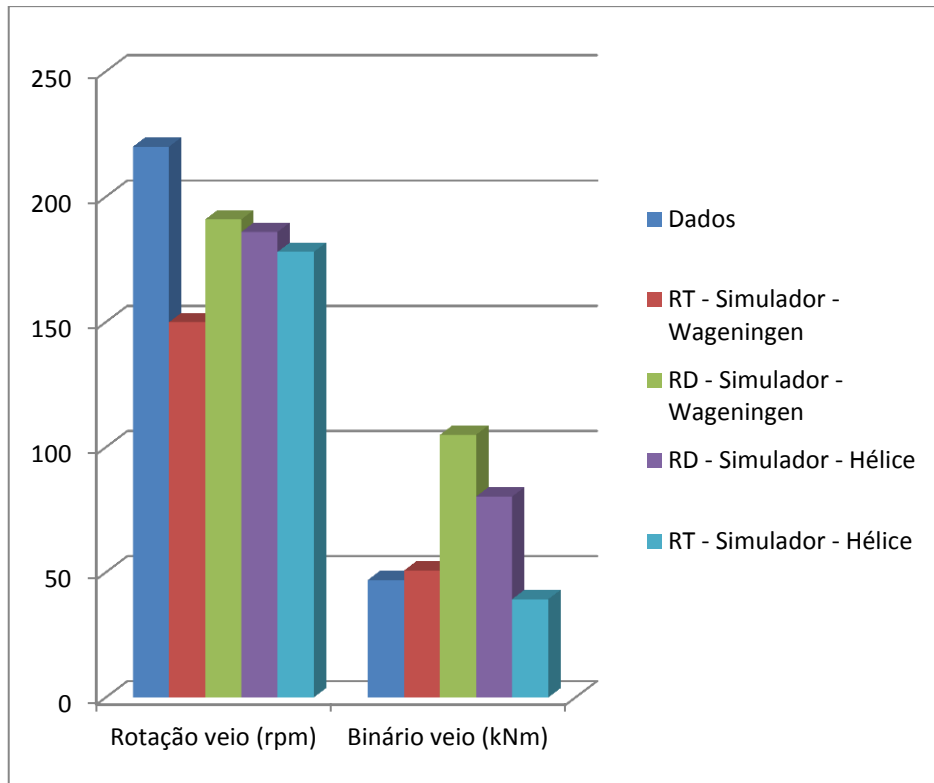


Figura 110 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.6 nós (2)

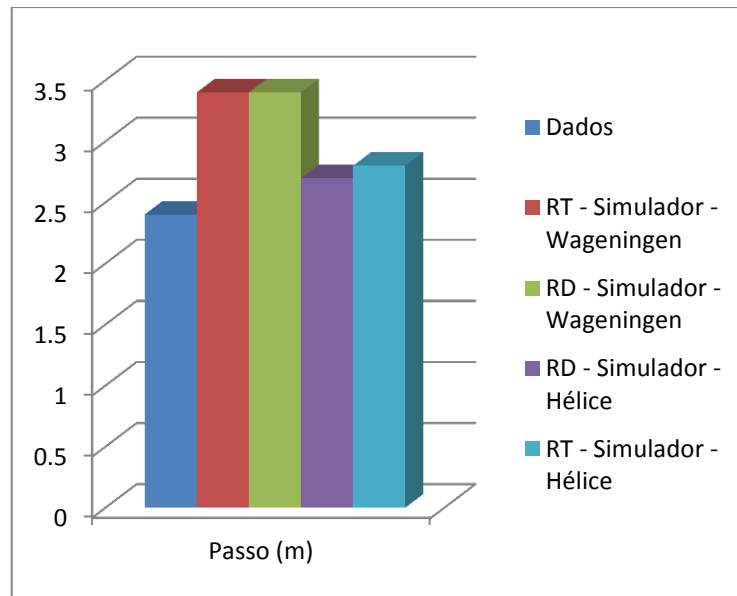


Figura 111 – Comparação entre os simuladores e os dados do navio a navegar com 1MD e um veio arrastado a 11.6 nós (3)

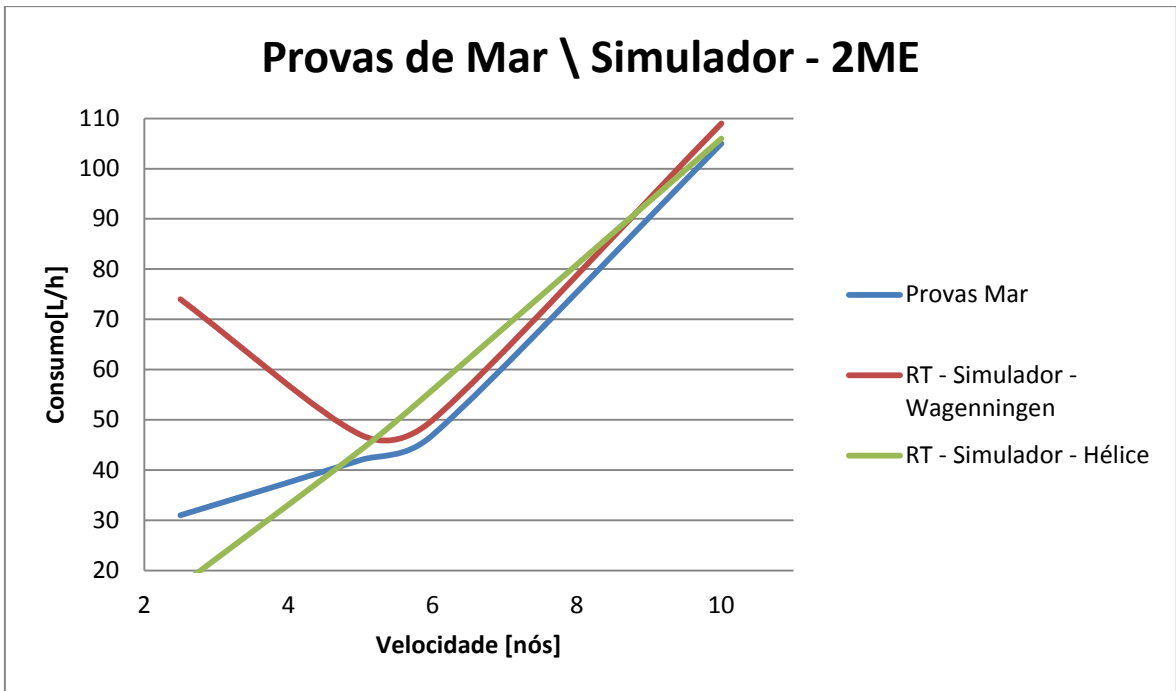


Figura 112 – Comparação entre os consumos de combustível das provas de mar, dos simuladores e dos dados retirados a navegar para 2ME

ANEXO A

TABELAS

K_T					
n	Cn	Sn	tn	un	vn
1	0.0088049600	0	0	0	0
2	-0.2045540000	1	0	0	0
3	0.1663510000	0	1	0	0
4	0.1581140000	0	2	0	0
5	-0.1475810000	2	0	1	0
6	-0.4814970000	1	1	1	0
7	0.4154370000	0	2	1	0
8	0.0144043000	0	0	0	1
9	-0.0530054000	2	0	0	1
10	0.0143481000	0	1	0	1
11	0.0606826000	1	1	0	1
12	-0.0125894000	0	0	1	1
13	0.0109689000	1	0	1	1
14	-0.1336980000	0	3	0	0
15	0.0063840700	0	6	0	0
16	-0.0013271800	2	6	0	0
17	0.1684960000	3	0	1	0
18	-0.0507214000	0	0	2	0
19	0.0854559000	2	0	2	0

20	-0.0504475000	3	0	2	0
21	0.0104650000	1	6	2	0
22	-0.0064827200	2	6	2	0
23	-0.0084172800	0	3	0	1
24	0.0168424000	1	3	0	1
25	-0.0010229600	3	3	0	1
26	-0.0317791000	0	3	1	1
27	0.0186040000	1	0	2	1
28	-0.0041079800	0	2	2	1
29	-0.0006068480	0	0	0	2
30	-0.0049819000	1	0	0	2
31	0.0025983000	2	0	0	2
32	-0.0005605280	3	0	0	2
33	-0.0016365200	1	2	0	2
34	-0.0003287870	1	6	0	2
35	0.0001165020	2	6	0	2
36	0.0006909040	0	0	1	2
37	0.0042174900	0	3	1	2
38	0.0000565229	3	6	1	2
39	-0.0014656400	0	3	2	2

Tabela 33 – Coeficientes para os valores de K_T - séries de Wageningen

K_Q					
n	Cn	sn	tn	un	vn
1	0.0037936800	0	0	0	0
2	0.0088652300	2	0	0	0
3	-0.0322410000	1	1	0	0
4	0.0034477800	0	2	0	0
5	-0.0408811000	0	1	1	0
6	-0.1080090000	1	1	1	0
7	-0.0885381000	2	1	1	0
8	0.1885610000	0	2	1	0
9	-0.0037087100	1	0	0	1
10	0.0051369600	0	1	0	1
11	0.0209449000	1	1	0	1
12	0.0047431900	2	1	0	1
13	-0.0072340800	2	0	1	1
14	0.0043838800	1	1	1	1
15	-0.0269403000	0	2	1	1
16	0.0558082000	3	0	1	0
17	0.0161886000	0	3	1	0
18	0.0031808600	1	3	1	0
19	0.0158960000	0	0	2	0
20	0.0471729000	1	0	2	0
21	0.0196283000	3	0	2	0
22	-0.0502782000	0	1	2	0

23	-0.0300550000	3	1	2	0
24	0.0417122000	2	2	2	0
25	-0.0397722000	0	3	2	0
26	-0.0035002400	0	6	2	0
27	-0.0106854000	3	0	0	1
28	0.0011090300	3	3	0	1
29	-0.0003139120	0	6	0	1
30	0.0035985000	3	0	1	1
31	-0.0014212100	0	6	1	1
32	-0.0038363700	1	0	2	1
33	0.0126803000	0	2	2	1
34	-0.0031827800	2	3	2	1
35	0.0033426800	0	6	2	1
36	-0.0018349100	1	1	0	2
37	0.0001124510	3	2	0	2
38	-0.0000297228	3	6	0	2
39	0.0002695510	1	0	1	2
40	0.0008326500	2	0	1	2
41	0.0015533400	0	2	1	2
42	0.0003026830	0	6	1	2
43	-0.0001843000	0	0	2	2
44	-0.0004253990	0	3	2	2
45	0.0000869243	3	3	2	2
46	-0.0004659000	0	6	2	2
47	0.0000554194	1	6	2	2

Tabela 34 – Coeficientes para os valores de K_Q - séries de Wageningen

$\Delta K_T = \sum ai \cdot Pi$	
Pi	ai
1	0.0003534850
$\left(\frac{A_E}{A_0}\right) \cdot J^2$	-0.0033375800
$\left(\frac{A_E}{A_0}\right) \cdot \left(\frac{P}{D}\right) \cdot J$	-0.0047812500
$(\log Re - 0.301)^2 \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right) \cdot J^2$	0.0002577920
$(\log Re - 0.301) \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^6 \cdot J^2$	0.0000643192
$(\log Re - 0.301)^2 \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^6 \cdot J^2$	-0.0000110636
$(\log Re - 0.301)^2 \cdot z \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right) \cdot J^2$	-0.0000276305
$(\log Re - 0.301) \cdot z \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right) \cdot \left(\frac{P}{D}\right) \cdot J$	0.0000954000
$(\log Re - 0.301) \cdot z^2 \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right) \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^3 \cdot J$	0.0000032049

Tabela 35 – Coeficientes para os valores de ΔK_T - séries de Wageningen

$\Delta K_Q = \sum bi \cdot Pi$	
Pi	bi
1	-0.00059141200
$\left(\frac{P}{D}\right)$	0.00696898000
$z \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^6$	-0.00006666540
$\left(\frac{A_E}{A_0}\right)^2$	0.01608180000
$(\log Re - 0.301) \cdot \left(\frac{P}{D}\right)$	-0.00093809000
$(\log Re - 0.301) \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^2$	-0.00059593000
$(\log Re - 0.301)^2 \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^2$	0.00007820990
$(\log Re - 0.301) \cdot z \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right) \cdot J^2$	0.00000521990
$(\log Re - 0.301)^2 \cdot z \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right) \cdot \left(\frac{P}{D}\right) \cdot J$	-0.0000088528
$(\log Re - 0.301) \cdot z \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^6$	0.00002301710
$(\log Re - 0.301)^2 \cdot z \cdot \left(\frac{P}{D}\right)^6$	-0.00000184341
$(\log Re - 0.301) \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^2$	-0.00400252000
$(\log Re - 0.301)^2 \cdot \left(\frac{A_E}{A_0}\right)^2$	0.00022091500

Tabela 36 – Coeficientes para os valores de ΔK_Q - séries de Wageningen

		Marcação relativa [°]							
		0 - 30		30 - 60		60 - 150		150 - 180	
BN		m	n	m	n	m	n	m	n
4		500	0	400	0	200	0	50	0
5		900	2	700	2	350	1	100	0
6		1300	6	1000	5	500	3	200	1
7		2100	11	1400	8	700	5	400	2
8		3600	18	2300	12	1000	7	700	3

Tabela 37 – Valores de “m” e “n” segundo Aertssen

ANEXO B
PRINTSCREENS DOS SIMULADORES

spr

Introduzir Velocidade [nós]

Selecionar Número Beaufort

Selezione marcação relativa do vento

Calcular para Séries de Wägeningen 1MD e com Veio Arrastado

Carga de Trabalho para cada Gerador [%]

1 2 3 4

Área a Patrulhar [Nm*2]

Distância Patrulha [Nm]

Introduzir horas de trabalho diárias da caldeirinha

Calcular para curvas do hélice 2MD e 2ME

HELIÇA

Rendimento [%]

Rotações Hélice [rpm]

P/D P[°]

Potência Transm. ao Hélice [KW]

Potência Transm. pelo motor [KW]

CALDEIRINHA

Combustível

Consumo [L/h] Consumo [L/Nm]

CO2 [Kg/h] [Kg/Nm]

NOx [Kg/h] [Kg/Nm]

GERADORES

Combustível

Consumo [L/h] Consumo [L/Nm]

CO2 [Kg/h] [Kg/Nm]

NOx [Kg/h] [Kg/Nm]

Rendimento [%]

1 2 3 4

NAVIO

MOTORES DIESEL

Consumo Total [L/h] Consumo [L/Nm] Rendimento [%]

EEOI [Ton CO2/Nm*3] [KWh/Nm*3]

MOTORES ELÉTRICOS

Consumo Total [L/h] Consumo [L/Nm]

Rendimento [%] EEOI [Ton CO2/Nm*3]

VENTO

Perda de velocidade

Em Nós Em %

Aumento da Potência

Em KW Em %

Calcular para curvas do hélice 1MD e com Veio Arrastado

MOTORES DIESEL

Combustível

Consumo [L/h] Consumo [L/Nm]

Carga [%]

CO2 [Kg/h] [Kg/Nm]

NOx [Kg/h] [Kg/Nm]

Rendimento [%]

MOTOR ELÉTRICO

Combustível

Consumo [L/h] Consumo [L/Nm]

CO2 [Kg/h] [Kg/Nm]

NOx [Kg/h] [Kg/Nm]

Rendimento [%]

GERADORES

Combustível

Consumo [L/h] Consumo [L/Nm]

CO2 [Kg/h] [Kg/Nm]

NOx [Kg/h] [Kg/Nm]

Rendimento [%]

1 2 3 4

Figura 113 – Printscreen simulador 1

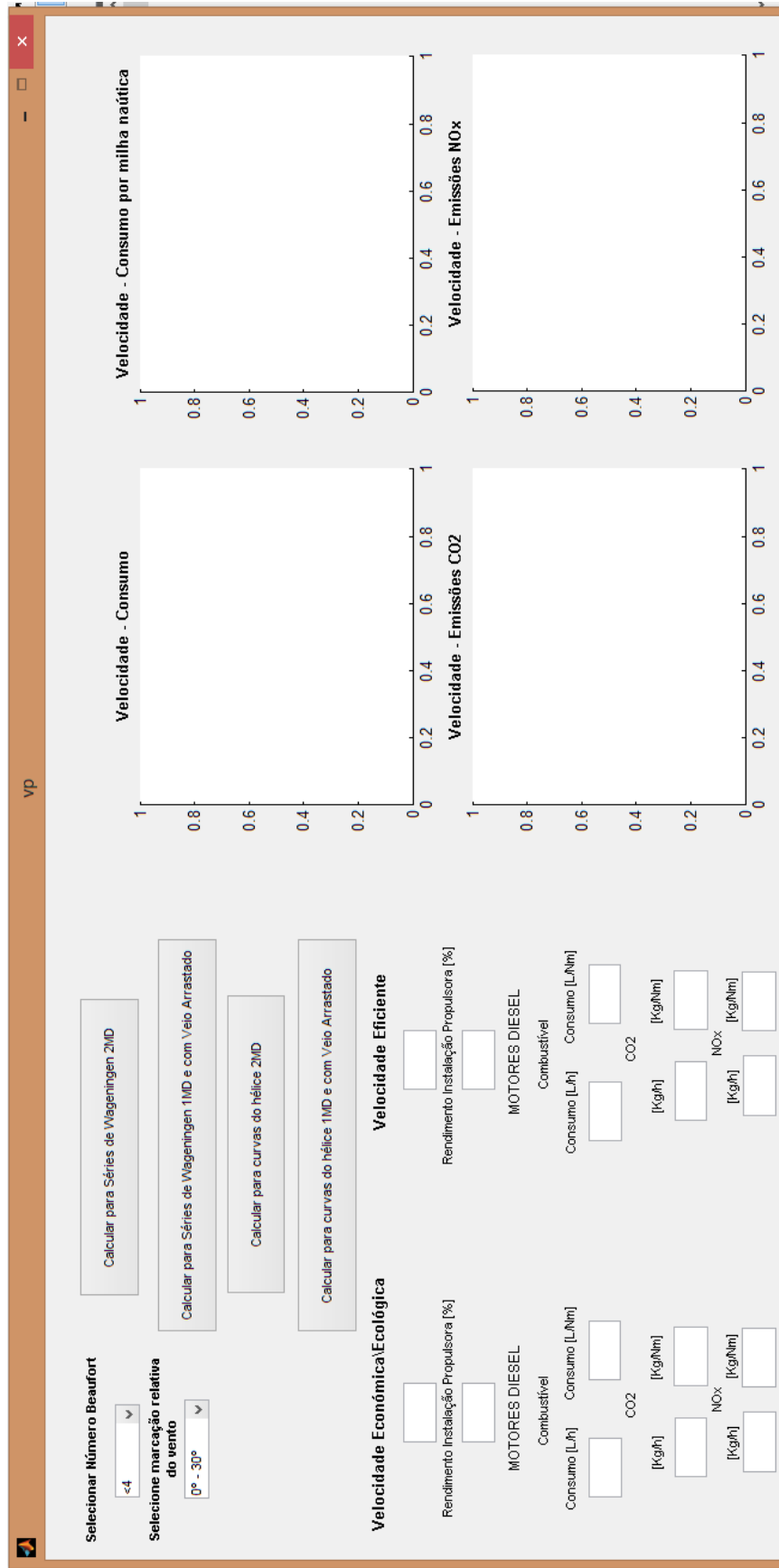


Figura 114 – Printscreen simulador 2

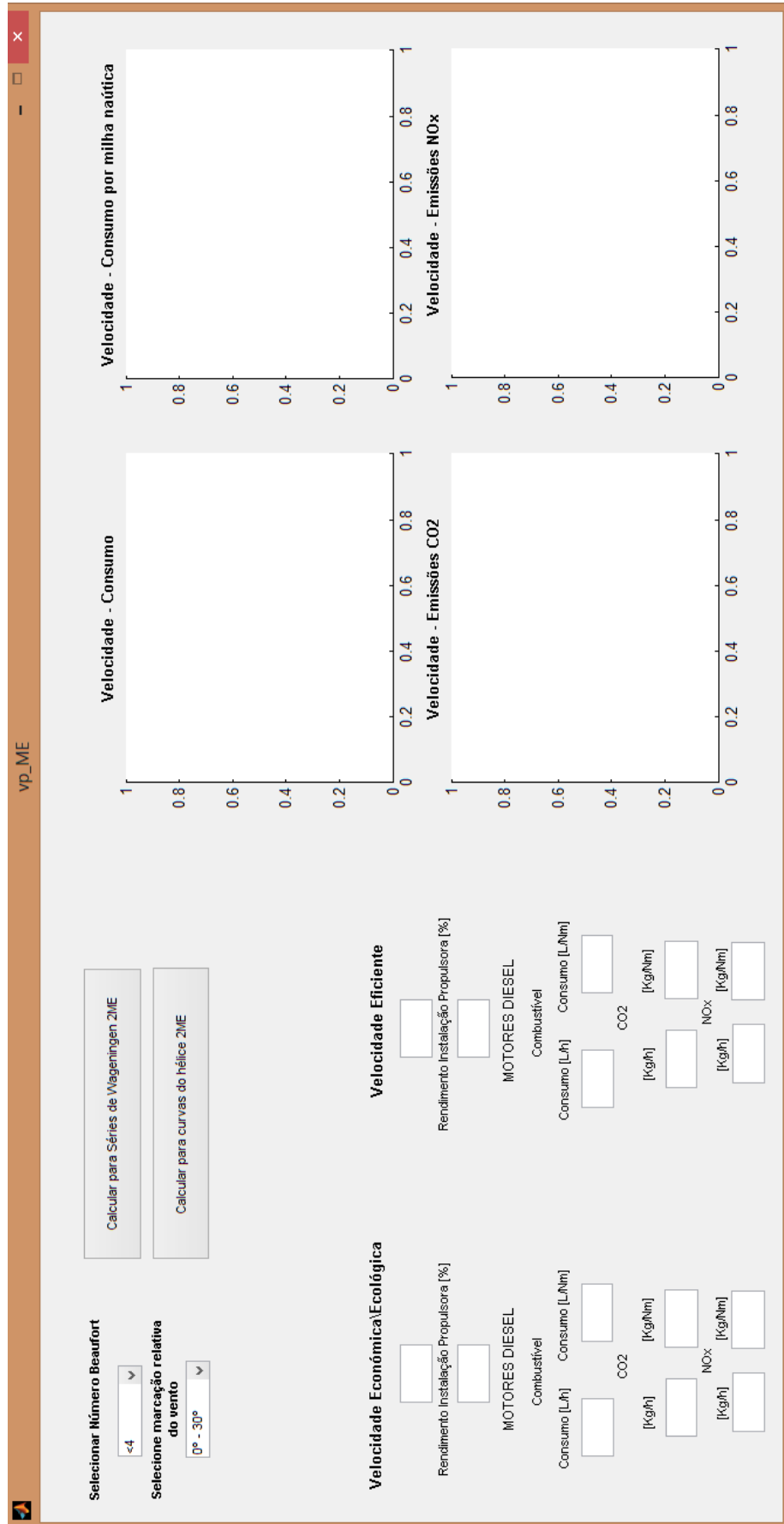


Figura 115 – Printscreen simulador 3

outros_navios

Introduzir Velocidade [nós]

Selecionar Número Beaufort

Seleção marcação relativa do vento

Carga de Trabalho para cada Gerador [%]

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>
6	<input type="text"/>

Calcular para Séries de Wageningen 1MD e com Vela Arrastado

Calcular para Séries de Wageningen 2MD

Distância Patrulha [Nm]

Área a Patrulhar [Nm²]

Consumo Total [L/h]

Consumo [L/Nm]

Rendimento [%]

EEOI

[Ton CO2Nm³]

[kWhNm³]

NAVI

MOTORES DIESEL

Rendimento [%]

P-D

Rotações Hélice [rpm]

P[°]

Potência Transmiteda ao Hélice [kW]

Potência Transmiteda pelo motor [kW]

Consumo [L/h]

Consumo [L/Nm]

Carga [%]

CO2

[Kg/h]

[Kg/Nm]

NOX

[Kg/Nm]

Rendimento [%]

MOTORES DIESEL

Consumo [L/h]

Consumo [L/Nm]

Carga [%]

CO2

[Kg/h]

[Kg/Nm]

NOX

[Kg/Nm]

Rendimento [%]

DADOS NAVIO

Geometria Navio

Boca

Deslocamento

Comprimento

Centro longitudinal de flutuabilidade

Calado

Coefficiente prismático

Geradores

Potência máxima GE [kW]

Carga [%] GE (1linha de 5 valores) correspondente consumo específico [g/kWh] (2*linha)

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Hélice

Selecionar tipo de passo

Diâmetro

Comprimento

Passo [m]

Relação transmissão Cx

Instalação Propulsora

Binário máximo MD [N.m]

Rotação ralenti MD [rpm]

Relação transmissão Cx

Binário máximo MD [N.m]

Rotação máxima MD [rpm]

Relação transmissão Cx

Carga [%] MD (1linha de 7 valores) correspondente Binário [kN.m] (2*linha) e consumo específico [g/kWh] (3*linha)

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 116 – Printscreen simulador 4

ANEXO C

INSTALAÇÃO PROPULSORA “NAVIO
MODELO”

