

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

EVELYNE CARVALHO NÉIA

**MODELO PARAMÉTRICO PARA RESISTÊNCIA AO AVANÇO,  
COMPORTAMENTO EM MAR E ESTABILIDADE DE NAVIOS PETROLEIROS  
BASEADO EM REGRESSÃO MATEMÁTICA E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

Joinville

2016

EVELYNE CARVALHO NÉIA

**MODELO PARAMÉTRICO PARA RESISTÊNCIA AO AVANÇO,  
COMPORTAMENTO EM MAR E ESTABILIDADE DE NAVIOS PETROLEIROS  
BASEADO EM REGRESSÃO MATEMÁTICA E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Naval na Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Naval.

Orientador: Dr. Thiago Pontin Tancredi

Joinville

2016

**A meu pai.**

*“As pessoas que passam por nossas vidas,  
Nunca partem sós:  
Deixam um pouco de si,  
Levam um pouco de nós.”*

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, pela força e inspiração.

Às minhas irmãs Pauline e Lara que dividiram comigo os momentos mais profundos da minha vida; vocês são meu alicerce.

A meu orientador, professor Thiago Pontin, não somente pelos conselhos no que concernem este trabalho, como também pela paciência e compreensão, dignos do ser humano progressista que é.

À Amarilis, professor Modesto e professor Cristiano, com quem tive o privilégio de conviver. Obrigada por me mostrarem tanto sobre o mundo.

Aos meus amigos Fernando e Augusto, por estarem comigo no momento mais difícil de minha vida.

Aos amigos que esta graduação me deu: Maria Eduarda, Pedro Paludetto, Rodrigo, Flávia, Pedro Budny e Geovana. Obrigada por serem minha família longe de casa.

Ao Fabiano pela paciência e cuidados dedicados a mim no momento de concepção deste trabalho.

E por fim, meu pai, Nivaldo Néia (*in memoriam*), cujo sonho era ver suas filhas formadas, não poupando esforços para tal, mesmo em momentos em que sua própria saúde já não mais o permitia. Sonho interrompido no começo deste ano, quando finalmente pôde descansar. Um ser humano repleto de bondade, honestidade e sabedoria, cuja passagem pela Terra inspira e continuará inspirando todos aqueles que o conheceram, e cuja falta será eternamente sentida.

## RESUMO

Com o avanço da globalização, novas tecnologias da informação e novos acordos comerciais entre países, as exportações e importações passaram a ser fatores decisivos para os países atingirem o *status* de desenvolvidos, principalmente no que concerne ao petróleo, substância essencial para a maioria das atividades humanas. Nesse sentido, a demanda por embarcações petroleiras eficientes tornou-se uma realidade crucial. Entretanto, a tarefa de obter algumas características associadas ao projeto conceitual de uma embarcação é árdua, dada às dificuldades de simulação e modelagens dos programas comerciais disponíveis. Com isto, o presente trabalho busca desenvolver uma ferramenta cuja finalidade é encontrar atributos de projeto essenciais em sua fase conceitual, associados à resistência ao avanço, comportamento em mar e estabilidade de navios petroleiros. O procedimento desenvolvido faz uso de variações paramétricas, regressões matemáticas e redes neurais artificiais; as quais permitem a obtenção dessas características a partir das classes de petroleiro analisada e das dimensões principais associadas ao projeto, mostrando-se uma ferramenta eficiente na análise comparativa de diferentes soluções para o projeto conceitual de um navio petroleiro. O modelo proposto apresentou erros aceitáveis (inferiores a 20% e chegando a menos de 10% para as redes neurais) no exemplo de aplicação realizado.

**Palavras-chave:** Variação paramétrica. Redes neurais. Resistência ao avanço. Comportamento em mar. Estabilidade.

## ABSTRACT

With the advance of globalization, new information technologies and new trade agreements between countries, exports and imports have become decisive factors in the countries achieve the status of developed, especially with regard to oil, essential substance for most human activities . Accordingly, the demand for efficient oil vessels has become a crucial reality. However, the task of getting some characteristics associated with the conceptual design of a vessel is arduous, given the difficulties of simulation and modeling of commercial softwares available. Then, the present work aims to develop a tool whose purpose is to find key project attributes in its conceptual phase, associated with resistanc, in seakeeping and stability of oil tankers. The procedure developed makes use of parametric design, mathematical regressions and artificial neural networks; which allow to obtain these characteristics from the tanker classes analyzed and the key dimensions associated with the project, proving to be an effective tool in the comparative analysis of different solutions for the conceptual design of an oil tanker. The proposed model presented acceptable errors (less than 20% and reaching less than 10% for neural networks) in the realized sample application.

**Keywords:** Parametric design. Neural networks. Resistance. RAO. Stability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espiral de Projeto de Evans.....	14
Figura 2 – Movimentos que uma embarcação pode desenvolver quando em operação .....	21
Figura 3 - Condição de um Navio em Equilíbrio transversal.....	26
Figura 4 – Condição de um Navio com ângulo de banda.....	26
Figura 5 - Funcionamento do método de redes neurais artificiais proposto por McCulloch (1943).....	29
Figura 6 - Exemplos de cascos com relações adimensionais diferentes.....	32
Figura 7 - Comparação entre navios com coeficientes de bloco diferentes.....	33
Figura 8 - Frota mundial de navios tanque em Janeiro de 2007.....	34
Figura 9 - Esquema dos parâmetros dos 27 modelos.....	37
Figura 10 - Altura da Popa Transom para os modelos.....	40
Figura 11 - Influência do parâmetro <i>Longitudinal Prismatic Control</i> na forma dos cascos....	41
Figura 12 - Influência do parâmetro <i>Section Thickness</i> na forma dos cascos.....	42
Figura 13 - Influência do parâmetro <i>Steam Rake Degree</i> na forma dos cascos.....	43
Figura 14 - Influência do parâmetro <i>Steam Curvature</i> na forma dos cascos.....	43
Figura 15 - Influência do parâmetro Transom Rake na forma dos cascos.....	44
Figura 16 - Influência do parâmetro <i>Keel Rise Point</i> na forma dos cascos.....	44
Figura 17 - Esquema de Regressão para <i>CT</i> .....	48
Figura 18 - Esquema de Regressão para <i>CT</i> .....	49
Figura 19 - Esquema de concepção dos gráficos de <i>CT(V)</i> .....	50
Figura 20 - Esquema de Regressão para a Área Molhada.....	54
Figura 21 - Esquema de utilização do programa Synapse.....	56
Figura 22 – Gráfico de Área de Linha d'água em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3.....	63
Figura 23 – Gráfico de Massa Adicional em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3.....	65
Figura 24 - Gráfico de Frequência Natural de <i>Heave</i> em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3.....	67
Figura 25 - Gráfico de Frequência Natural de <i>Roll</i> em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3.....	69
Figura 26 - Resultado da análise <i>Upright Hydrostatics</i> do navio 10, para três valores de calado.....	75
Figura 27 - Exemplo dos dados inseridos na aba <i>loadcases</i> , para o navio 10.....	75
Figura 28 - Resultado da análise <i>Large Angle Stability</i> do navio 10, para três valores de ângulo de banda.....	76
Figura 29 - Gráfico de Comportamento de GM e KM em função do calado para o navio 1077	
Figura 30 - Gráfico de <i>bGM</i> em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3 ...	81
Figura 31 - Gráfico de Braço de endireitamento (GZ) em função do ângulo de banda para o intervalo de 0° a 90° do modelo 10.....	82
Figura 32 - Gráfico de Braço de endireitamento (GZ) em função do ângulo de banda para o intervalo de -30° a 180° do modelo 10.....	83
Figura 33 - Gráfico de Coeficientes “a” em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3.....	86
Figura 34 - Gráfico de Coeficientes “b” em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3.....	87
Figura 35 - Gráfico de Coeficientes “c” em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3.....	88
Figura 36 - Interface da ferramenta.....	91
Figura 37 - Entrada de dados na Ferramenta.....	92
Figura 38 - Interface de Resistência ao Avanço da Ferramenta.....	92
Figura 39 - Interface de Comportamento em Mar da Ferramenta.....	93

Figura 40 - Interface de Comportamento em Mar da Ferramenta .....	93
Figura 41 - Gráfico comparativo entre as resistências obtidas para o Navio de Validação...	95
Figura 42 - Gráfico de Operador de Amplitude de Resposta para o Navio de Validação .....	97
Figura 43 - Gráfico de Altura Metacêntrica para o Navio de Validação .....	99
Figura 44 - Gráfico de KM para o Navio de Validação .....	100
Figura 45 - Gráfico de Braço de Endireitamento para o Navio de Validação .....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limitações no uso do método de Holtrop e Mennen para navios petroleiros.....	21
Tabela 2 - Comparação entre a Teoria de Faixas e o Método dos Painéis .....	25
Tabela 3 - Categorias de navios tanque.....	33
Tabela 4 - Faixas de valores para L/B, B/T e Cb para navios Panamax, Aframax e Suezmax .....	35
Tabela 5 - Definição dos parâmetros dos modelos .....	36
Tabela 6 - Faixa de parâmetros a que os métodos propostos atendem .....	38
Tabela 7 - Definição dos 27 modelos concebidos .....	38
Tabela 8 - Coeficientes de Bloco obtidos para os navios 19 a 27 .....	45
Tabela 9 - Área molhada dos 27 navios em análise.....	52
Tabela 10 - VCG dos modelos .....	59
Tabela 11 - RAO de 3 frequências para <i>Heave</i> , <i>Roll</i> e <i>Pitch</i> do modelo 10 .....	60
Tabela 17 - Área de Linha d'Água dos 27 modelos.....	61
Tabela 13 - Valores de Área de Linha d'água obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco.....	62
Tabela 14 - Massa Adicional dos 27 modelos.....	63
Tabela 15 - Valores de massa adicional obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	64
Tabela 16 - Frequência Natural de <i>Heave</i> dos 27 modelos.....	65
Tabela 17 - Valores de frequência natural de <i>heave</i> obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	66
Tabela 18 - Frequência Natural de <i>Roll</i> dos 27 modelos.....	68
Tabela 19 - Valores de frequência natural de <i>roll</i> obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	69
Tabela 20 - Tabela utilizada como entrada no programa Synapse para simulação de redes neurais artificiais como forma de obtenção da frequência natural de <i>heave</i> .....	70
Tabela 21 - Tabela utilizada como entrada no programa Synapse para simulação de redes neurais artificiais como forma de obtenção da frequência natural de <i>roll</i> .....	71
Tabela 22 - Resultados obtidos para <i>heave</i> pelo método de redes neurais artificiais para o navio 10.....	72
Tabela 23 - Resultados obtidos para <i>roll</i> pelo método de redes neurais artificiais para o navio 10 .....	72
Tabela 24 - Frequências naturais obtidas pelos métodos de regressão, redes neurais e analítico para o modelo 10.....	73
Tabela 25 - Resumo da base de dados gerada na fase de simulação de estabilidade .....	76
Tabela 26 - Coeficientes “a” e “b” dos parâmetros GM e KM para os modelos .....	78
Tabela 27 - Valores de <i>bGM</i> obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	79
Tabela 28 - Valores de <i>aGM</i> obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	79
Tabela 29 - Valores de <i>bKM</i> obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	80
Tabela 35 - Valores de <i>aKM</i> obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	80

Tabela 31 - Coeficientes “a” “b” e “c” do polinômio interpolador do comportamento de $GZ(\theta)$ para os modelos .....	83
Tabela 32 - Coeficientes “a” obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	85
Tabela 33 - Coeficientes “b” obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	86
Tabela 34 - Coeficientes “c” obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco .....	87
Tabela 35 - Faixa de parâmetros a que os métodos propostos atendem .....	93
Tabela 36 - Propriedades do Navio de Validação .....	94
Tabela 37 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção de Área de Linha d'Água, Massa Adicional e Superfície Molhada para o Navio de Validação .....	94
Tabela 38 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção de Resistência ao Avanço para o Navio de Validação .....	95
Tabela 39 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção de Frequência Natural para o Navio de Validação .....	97
Tabela 40 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção da Altura Metacêntrica para o Navio de Validação .....	99
Tabela 41 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção de KM para o Navio de Validação .....	100
Tabela 42 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção do Braço de Endireitamento para o Navio de Validação .....	101
Tabela 43 - Comparativo entre os métodos, de acordo com os erros obtidos em análise para o navio de validação .....	102

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Objetivos .....	15
1.1.1. Objetivo Geral.....	15
1.1.2. Objetivos Específicos .....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
2.1. Requisitos de Projeto .....	17
2.2. Capacidade de Carga .....	18
2.3. Resistência ao Avanço.....	19
2.3.1. Coeficiente de Resistência Total .....	20
2.3.2. Métodos Empíricos: Holtrop e Mennen.....	20
2.4. Comportamento em mar .....	21
2.4.1. Teoria de Faixas e Método dos Painéis.....	23
2.5. Estabilidade Transversal .....	25
2.6. Estimativa de coeficiente de bloco ( <b>CB</b> ).....	27
2.7. Redes Neurais Artificiais .....	28
3. METODOLOGIA .....	30
4. LEVANTAMENTO DE EMBARCAÇÕES SEMELHANTES .....	32
5. MODELAGEM PARAMÉTRICA.....	36
5.1. Preparação dos modelos .....	36
5.2. Modelagem .....	39
6. RESISTÊNCIA AO AVANÇO.....	46
6.1. Simulações de Resistência ao Avanço dos modelos .....	46
6.2. Interpolação para Resistência ao Avanço .....	46
6.2.1. Regressão para o Coeficiente de Resistência Total.....	46
6.2.2. Regressão Para Área Molhada.....	52
6.2.3. Redes Neurais Artificiais para Resistência ao Avanço .....	56
7. COMPORTAMENTO EM MAR.....	58
7.1. Simulações de RAO dos modelos.....	58
7.2. Interpolação para as Frequências Naturais.....	60
7.2.1. Regressão para Área de Linha D'Água .....	61

7.2.2.	Regressão para Massa Adicional .....	63
7.2.3.	Regressão para Frequência Natural de <i>Heave</i> .....	65
7.2.4.	Regressão para Frequência Natural de <i>Roll</i> .....	67
7.2.5.	Interpolação para Comportamento em Mar utilizando Redes Neurais Artificiais .....	69
7.2.6.	Interpolação para Comportamento em Mar utilizando formulação analítica .....	72
8.	ESTABILIDADE .....	74
8.1.	Simulação da Estabilidade dos Modelos.....	74
8.2.	Interpolação para a Estabilidade .....	76
8.2.1.	Regressão Matemática para GM e KM .....	76
8.2.2.	Regressão para Braço de Endireitamento .....	81
8.2.3.	Redes Neurais para Obtenção dos Parâmetros de GM, KM e GZ .....	88
9.	FERRAMENTA .....	90
10.	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	94
10.1.	Validação da Ferramenta.....	94
10.1.1.	Comparação entre os Métodos de Obtenção de Comportamento em Mar 97	
10.1.2.	Comparação entre os Métodos de Obtenção de Estabilidade.....	98
10.1.3.	Comparação Final entre os Métodos.....	102
11.	CONCLUSÃO.....	104
	REFERÊNCIAS .....	107
	APÊNDICES .....	110

## 1. INTRODUÇÃO

Uma pesquisa da Secretaria de Comércio Exterior em parceria com o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (BRASIL, 2013) apontou que 80% do fluxo (e 95% em peso) do comércio exterior do Brasil é realizado por via marítima.

Com os recentes investimentos no setor naval e as descobertas de pré-sal em solo brasileiro, a demanda por navios, especialmente do tipo petroleiros tem aumentado, visando extrair o petróleo existente na costa brasileira e exportá-lo a países como China e Estados Unidos (BRASIL, 2015).

Este fenômeno de produção de petróleo, também conhecido como caça ao tesouro negro, tem abrangência mundial, devido a atual dependência de seus derivados em praticamente todas as atividades humanas. A Agência Internacional de Energia (IEA, 2015) estima que cerca de 60% de toda a produção energética mundial seja advinda deste recurso.

Ainda, estimativas realizadas por Portilho (2008) apontam que, países como Iraque e Arábia Saudita, possuem reservas de petróleo que atendam à produtividade atual destes países por mais 158 e 67 anos, respectivamente.

Portanto, à medida em que a demanda por petróleo continua aumentando e, graças ao fato de alguns países ainda possuírem reservas desta matéria-prima suficiente para os próximos 70 anos, no mínimo, a demanda por navios petroleiros ainda será uma realidade dentro deste contexto mundial.

Embora a demanda por navios seja uma realidade promissora para o setor, as ferramentas para projeto conceitual de navios existentes, no entanto, não seguem essa tendência, uma vez que se utilizam de modelos empíricos baseados em embarcações desenvolvidas há cerca de 50 anos atrás, época em que os navios possuíam dimensões e capacidades de carga inferiores às atuais.

Hoje em dia, com o desenvolvimento tecnológico e aumento do porte das embarcações é importante que novas ferramentas para projeto conceitual sejam aplicadas, conciliando formulações empíricas e programas comerciais com a finalidade de gerar respostas de projeto mais arrojadas e coerentes com o atual paradigma do mercado mundial de navios, como estudado por Labes (2015).

Análises como resistência ao avanço, comportamento em mar e estabilidade requerem, por parte do engenheiro, conhecimentos avançados de modelagem e análise, muitas vezes de difícil acesso, que demandam tempo e recursos frequentemente indisponíveis numa primeira etapa de projeto. Além disto, estes programas possuem o inconveniente de requererem uma modelagem geométrica dos cascos para obtenção dos atributos.

Evans (1959) propôs uma espiral em que os passos representam etapas de projeto de um navio e, à medida em que o projeto se desenvolve, novas voltas na espiral vão sendo realizadas, possibilitando revisitar – e melhorar – características definidas em etapas anteriores.

Figura 1 - Espiral de Projeto de Evans



Fonte: Lamb (2004). Adaptado pelo autor.

Na Figura 1 é possível observar que existem alguns passos fundamentais para o projeto, como a resistência ao avanço, capacidade de carga, estabilidade e comportamento no mar, destacados em azul. Estes atributos influem de maneira significativa nos demais e são cruciais para o projeto em sua fase inicial, sendo, portanto, os parâmetros escolhidos para análise no presente trabalho.

Este trabalho se destina, por conseguinte, ao desenvolvimento de uma ferramenta de projeto, em sua fase conceitual, que visa a obtenção da resistência ao avanço, comportamento em mar e estabilidade transversal, baseando-se embarcações petroleiras atualmente em operação das classes Panamax, Aframax e Suezmax. O objetivo é utilizar como dados de entrada os parâmetros dimensionais elementares como coeficiente de bloco e calado, sem que haja necessidade de maiores informações ou modelagens. A obtenção desta ferramenta se dará por intermédio de variações paramétricas, regressões matemáticas e redes neurais artificiais.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver um método de regressão matemática utilizando modelos estatísticos e de redes neurais artificiais com o objetivo de criar uma ferramenta para a fase de projeto conceitual cuja finalidade seja a determinação de resistência ao avanço, comportamento em mar, estabilidade e capacidade de carga de navios petroleiros com capacidades de carga atuais, dentro das classes Panamax, Suezmax e Aframax.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Construir uma base de dados com informações fundamentais de navios petroleiros atualmente em operação por intermédio do banco de dados navais *Marine Traffic* (2016);
- Desenvolver modelos cujas características e dimensões sejam representativas em relação à base de dados gerada, por intermédio de variações paramétricas;
- Modelar estes navios no programa *Rhinoceros*, com auxílio do *plug-in Orca3d*, de forma que seus aspectos geométricos sejam semelhantes a embarcações petroleiras;

- Realizar análises de resistência ao avanço, comportamento em mar e estabilidade com auxílio dos programas do pacote *Maxsurf: Modeler, Resistance, Motions Advanced* e *Stability Advanced*.
- Obter regressões matemáticas a partir das características de classe, calado e coeficiente de bloco, para as os parâmetros avaliados na fase anterior, bem como para área de linha d'água, área molhada e massa adicional, fundamentais para formulação analítica dos problemas de resistência ao avanço e frequência natural.
- Realizar simulações dos parâmetros supracitados com a finalidade de obter a correlação entre estas características de projeto e os atributos dimensionais de calado e coeficiente de bloco, utilizando o conceito de redes neurais artificiais, implementado no programa *Synapse*.
- Desenvolver uma ferramenta com a finalidade de reproduzir as interpolações realizadas, para que o usuário possa obter características fundamentais na fase de projeto conceitual.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente seção objetiva introduzir o embasamento teórico utilizado neste trabalho. A primeira seção descreve os requisitos de projeto de uma embarcação. As três seções seguintes tratam de resistência ao avanço, comportamento em mar e estabilidade, abordando os conceitos destes parâmetros, bem como as formas de obtenção disponíveis hoje em dia. As duas últimas seções tratam da previsão do coeficiente de bloco e do método de redes neurais artificiais.

### 2.1. Requisitos de Projeto

Geralmente, os requisitos de projeto de uma embarcação, determinadas pelo armador são (LAMB, 2003):

- Tipo da embarcação;
- *Deadweight* (peso morto);
- Rota.

Esses são, portanto, os dados de entrada para um projeto. O *deadweight*, ou peso morto, diz respeito à quantidade de carga que um navio pode carregar, somado ao seu peso de consumíveis (água potável, água doce, óleo diesel, óleo lubrificante, comida, etc.). Esta é uma das características mais importantes para navios mercantes, uma vez que está estritamente relacionada à capacidade do navio em exercer sua função primordial – o transporte de carga. Quanto maior o peso morto, melhor o navio atenderá aos requisitos de frete do armador.

A rota, por outro lado, é sempre restritiva com relação às dimensões principais, uma vez que a maioria dos portos e canais existentes possuem limitações de tamanho. Sendo assim, a rota estabelece restrições para as dimensões principais de comprimento, boca, calado, pontal e, por vezes, altura da superestrutura.

Estes atributos são denominados requisitos do armador e, a partir deles, os parâmetros fundamentais de resistência ao avanço, capacidade de carga, estabilidade transversal e comportamento no mar podem ser determinados.

Essas definições são realizadas em um primeiro momento pois as demais características como: os pesos, volumes, motorização, propulsão, seleção do maquinário, projeto estrutural, arranjo e estimativa de custo de fabricação e operacional são derivadas destes parâmetros.

## 2.2. Capacidade de Carga

O peso total de um navio pode ser considerado como a soma entre seu peso leve e peso morto. Dentro de peso leve estão os pesos de aço, maquinário e *outfits*<sup>1</sup>. Já o peso morto, conforme citado na seção 2.1, é considerado como a soma entre a capacidade de carga e o peso de consumíveis.

Entretanto, em se considerando a primeira etapa de projeto e, tendo em vista que o peso de consumíveis é muito inferior ao peso de carga, é plausível desconsiderá-lo nesta etapa. O equacionamento dos conceitos supracitados é feito abaixo.

$$\Delta = \text{Capacidade de carga} + \text{Peso leve} \quad (1)$$

$$\text{Capacidade de carga} = \Delta - \text{Peso leve} \quad (2)$$

Chaves (2013) propõe uma aproximação de peso em aço, conforme segue:

$$\text{Peso aço} \cong 0,8 \text{ Peso leve} \quad (3)$$

Portanto, tem-se:

$$\text{Capacidade de carga} \cong \Delta - \frac{\text{Peso aço}}{0,8} \quad (4)$$

---

<sup>1</sup> Referente a toda estrutura que não é aço.

O peso em aço pode ser obtido por intermédio de diversos modelos empíricos, como por exemplo o formulado por Lamb (2003), denominado Numeral E e equacionado abaixo.

$$\text{Peso aço} = KE^{1,36}[1 + 0,5(C_B' - 0,7)] \quad (5)$$

$$C_B' = C_B + (1 - C_B) \left[ \frac{(0,8D - T)}{3T} \right] \quad (6)$$

$$E \cong E_{\text{casco}} + E_{\text{superestrutura}} \quad (7)$$

$$E_{\text{casco}} = L(B + T) \quad (8)$$

$$E_{\text{superestrutura}} = 0,85L(D - T) \quad (9)$$

Em que:

$C_B$  é o coeficiente de bloco do navio;

$D$  é o pontal [m];

$L$  é o comprimento [m];

$B$  é a boca [m];

$T$  é o calado [m];

$K$  é 0,032 para navios petroleiros, de acordo com Lamb (2003);

### 2.3. Resistência ao Avanço

A resistência ao avanço é uma característica de extrema importância, à medida que representa a força necessária para a movimentação do navio a certa velocidade, em águas tranquilas (TRINDADE, 2012). A partir desse dado, pode-se estimar a motorização.

O motor é o principal responsável pela definição do consumo de combustível, fortemente associado ao custo operacional da embarcação, justificando o fato desse ser um dos parâmetros imprescindíveis no projeto de uma embarcação. A subseção

seguinte trata de um parâmetro adimensional frequentemente utilizado em engenharia naval para a determinação da resistência ao avanço do navio. A subseção posterior trata de um dos métodos mais notórios para obtenção da resistência.

### 2.3.1. Coeficiente de Resistência Total

O conceito de coeficiente de resistência total foi formulado de modo a criar um parâmetro adimensional capaz de comparar navios de diferentes tamanhos, conforme citado por Watson (1998).

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \quad (10)$$

Em que:

$C_T$  é o coeficiente de resistência total;

$R_T$  é a resistência total do navio para uma velocidade específica [N];

$\rho$  é a massa específica da água, aqui considerada 1025 kg/m<sup>3</sup>;

$V$  é a velocidade do navio em m/s;

$S$  é a área molhada do casco, ou seja, a área abaixo da linha d'água em [m<sup>2</sup>].

### 2.3.2. Métodos Empíricos: Holtrop e Mennen

Entre os métodos empíricos, um dos mais utilizados no projeto de embarcações de grande porte é o método de Holtrop e Mennen (1982), o qual consiste em uma regressão estatística a partir de testes em modelos para que a resistência obtida pudesse ser extrapolada para embarcações reais. É utilizado para barcos deslocantes e cobre uma grande faixa dimensões e formas de embarcações. No método, a resistência pode ser dividida entre várias parcelas, conforme segue.<sup>2</sup>

$$R_T = (1 + k_1)R_F + R_W + R_B + R_{TR} + R_{APP} + R_A \quad (11)$$

---

<sup>2</sup> No presente trabalho o exame sobre as diferentes parcelas de resistência ao avanço será omitido, uma vez que será feito uso apenas da parcela total da resistência. É possível, entretanto, buscar maiores informações na bibliografia original de Holtrop e Mennen (1982).

Em que:

$R_T$  é a resistência total;

$R_F$  é a resistência de atrito;

$(1 + k_1)$  é o fator de forma;

$R_W$  é a resistência de onda;

$R_B$  é a resistência de bulbo;

$R_{APP}$  é a resistência dos apêndices;

$R_A$  é o coeficiente de correlação;

$R_{TR}$  é a resistência adicional de espelho de popa submerso (*transom*).

O método atende às seguintes faixas de valores para navios petroleiros:

Tabela 1 - Limitações no uso do método de Holtrop e Mennen para navios petroleiros

Froude máximo	Coefficiente Prismático ( $C_p$ )	L/B
0,24	0,73 – 0,85	5,1 – 7,1

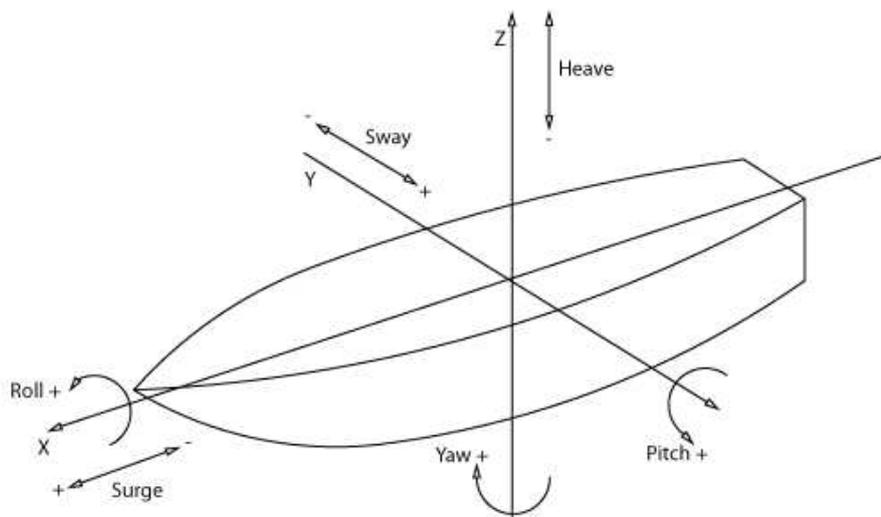
Fonte: Holtrop e Mennen (1982). Adaptado pelo autor.

## 2.4. Comportamento em mar

Um navio em operação sofre ação de ondas de diferentes direções, o que resulta em movimentos em seis graus de liberdade: três de translação (*surge*<sup>3</sup>, *sway* e *heave*) e três de rotação (*roll*, *pitch* e *yaw*), conforme Figura 2.

Figura 2 – Movimentos que uma embarcação pode desenvolver quando em operação

<sup>3</sup> Neste trabalho as menções aos graus de liberdade serão feitas sempre em inglês, por serem denominações usuais dentro da engenharia naval.



Fonte: AT-Marine Oy (2015)

O RAO (*Response Amplitude Operator*) consiste na resposta de uma embarcação sob excitação de uma onda de amplitude unitária e direção e período definidos. É representada por dois números, para cada grau de liberdade, que dizem respeito à amplitude de movimento da embarcação, adimensionalizada pela amplitude da onda, e uma fase, que representa a frequência de resposta do navio em relação à frequência de excitação da onda.

Este parâmetro da embarcação é de fundamental importância no projeto de navios uma vez que a imprevisibilidade deste comportamento em determinadas condições de mar pode suscitar catástrofes evitáveis, graças aos estudos voltados a essa área da hidrodinâmica, como por exemplo as pesquisas desenvolvidas por Lopes (2015).

A frequência para a qual o navio atinge amplitude de resposta máxima (para determinado grau de liberdade), sob excitação de qualquer ordem, representa a frequência natural do navio, para o grau de liberdade referido. Em se conhecendo a frequência natural é possível evitar que o navio opere na mesma frequência, evitando portanto o fenômeno de ressonância.

Lewis (1988) propôs formulações empíricas para o comportamento de um navio nos graus de liberdade de *heave* e *roll*, conforme segue:

$$\omega_{n, \text{ heave}} = \sqrt{\frac{A_{wl} g}{\nabla + \frac{Ma}{\rho}}} \quad (12)$$

Em que:

$\omega_{n, \text{ heave}}$  é a frequência natural do movimento de *heave* em [rad/s];

$A_{wl}$  é a área de linha d'água no calado de projeto em [m<sup>2</sup>];

$g$  é a aceleração da gravidade em [m/s<sup>2</sup>];

$\nabla$  é o volume de fluido que o navio desloca no calado de projeto [m<sup>3</sup>];

$Ma$  é a massa adicional de água que o navio desloca [kg]<sup>4</sup>;

$\rho$  é a massa específica da água [kg/m<sup>3</sup>];

$$\omega_{n, \text{ roll}} = \sqrt{\frac{g GM}{(0,4 B)^2}} \quad (13)$$

Em que:

$\omega_{n, \text{ roll}}$  é a frequência natural do movimento de *roll* em [rad/s];

$g$  é a aceleração da gravidade em [m/s<sup>2</sup>];

$GM$  é altura metacêntrica [m];

$B$  é a boca do navio [m];

O termo no denominador do modelo proposto para a frequência natural de *roll* é conhecido como raio de giração; ele representa a distância do eixo longitudinal na qual se pode concentrar toda a massa da embarcação, obtendo-se o mesmo momento de inércia original. Este valor é aproximado como 40% da boca da embarcação. (LEWIS, 1988).

#### 2.4.1. Teoria de Faixas e Método dos Painéis

---

<sup>4</sup> A massa adicional, mais do que isso, diz respeito ao campo de pressão gerado a partir dos movimentos do navio nos seis graus de liberdade em águas calmas; é uma função, principalmente, da amplitude e frequência do movimento (LEWIS, 1988).

A obtenção do RAO é feita atualmente utilizando-se programas especializados, como é o caso do *Maxsurf Motions Advanced*, que realiza esta predição fazendo uso dos dois métodos que dão nome a esta subseção.

A Teoria de Faixas (*Strip Theory*) é um método baseado na teoria do escoamento potencial e no método de corpo esbelto (*Slender Body*). Foi criado a partir de uma base de dados contendo todas as informações dos coeficientes hidrodinâmicos potenciais em *sway*, *heave* e *roll* para uma grande gama de navios mono-casco, de acordo com Journée (2001).

Nesse método, o navio é cortado em seções transversais e cada uma delas é tratada como uma seção bidimensional de maneira a calcular suas características hidrodinâmicas. Os coeficientes da seção são então integrados ao longo do comprimento do modelo afim de obter os coeficientes globais das equações de movimento para todo o navio, para que assim as equações acopladas sejam solucionadas.

O método é baseado no domínio da frequência, o que resulta em um baixo custo computacional. Entretanto, o método muitas vezes é insuficiente para computar a resposta linear de modelos com geometrias mais complexas e baixas razões de aspecto L/B. Além disso, devido a abordagem de faixas, é incapaz de calcular o RAO associado ao movimento de *roll* da embarcação.

Já o Método dos Painéis (*Panel Method*) é utilizado quando se deseja obter os movimentos da embarcação em todos os seis graus de liberdade, à velocidade zero. O método é um *solver* de radiação e difração tridimensional no domínio da frequência. Ele executa uma análise linear na interação da superfície das ondas com as estruturas em flutuação. O corpo é definido por uma malha gerada automaticamente pelo programa, mas que também pode ser controlada pelo usuário, colocando-se os parâmetros desejados na ferramenta.

O Método dos Painéis utiliza como premissas os fatos de que a altura e inclinação da onda são pequenas a ponto de ser plausível a utilização da teoria linear de ondas; o fluido é assumido como incompressível e invíscido e, o escoamento, irrotacional.

Este método é mais eficiente do que a Teoria de Faixas principalmente para a determinação dos coeficientes de amortecimento diagonal e acoplamento cruzado de

*pitch*, (SCLAVOUNOUS, 1997). É aplicável, também, em uma gama de geometrias muito maior do que a do método anterior (MAXSURF, 2014), conforme Tabela 2:

Tabela 2 - Comparação entre a Teoria de Faixas e o Método dos Painéis

Método	Froude	Graus de liberdade a serem determinados	Tipos de Navios
Teoria de Faixas	0,0 – 0,7	<i>Heave e Pitch</i>	Esbeltos
Método dos Painéis	0,0 ~ 0,1	<i>Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch e Yaw</i>	Todos

Fonte: Maxsurf (2014). Adaptado pelo autor.

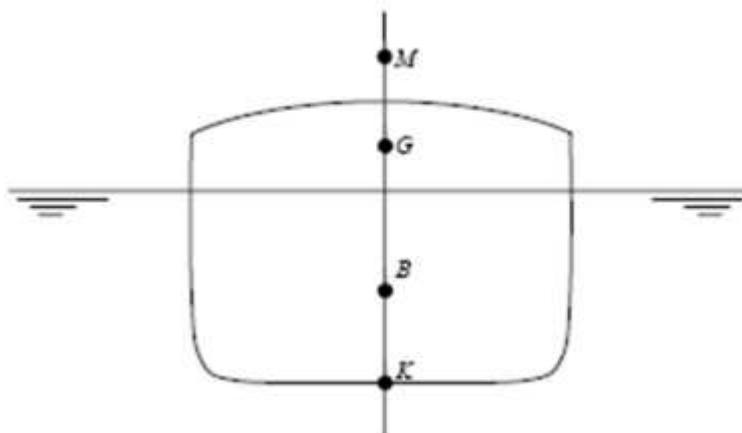
## 2.5. Estabilidade Transversal

Uma característica fundamental em uma embarcação é sua estabilidade transversal. A determinação incorreta deste parâmetro pode levar ao naufrágio do navio, catástrofe totalmente evitável nos dias de hoje, em se considerando as ferramentas de projeto disponíveis.

Existem duas forças atuantes em um navio na condição de equilíbrio: Peso, que pode ser suposto concentrado no Centro de Gravidade (CG), e representa a resultante de todos os pesos contidos no navio; e o Empuxo, peso de fluido que o navio desloca, o qual pode ser suposto localizado no centróide de volume submerso, conhecido como Centro de Carena (CB).

Em uma situação de equilíbrio, estas forças atuam em uma mesma linha vertical, como na Figura 3, em que é possível observar também o Metacentro (M) e a Quilha (K).

Figura 3 - Condição de um Navio em Equilíbrio transversal



Fonte: Barrass (2004).

É possível observar, que, em uma condição de equilíbrio os seguintes equacionamentos se aplicam:

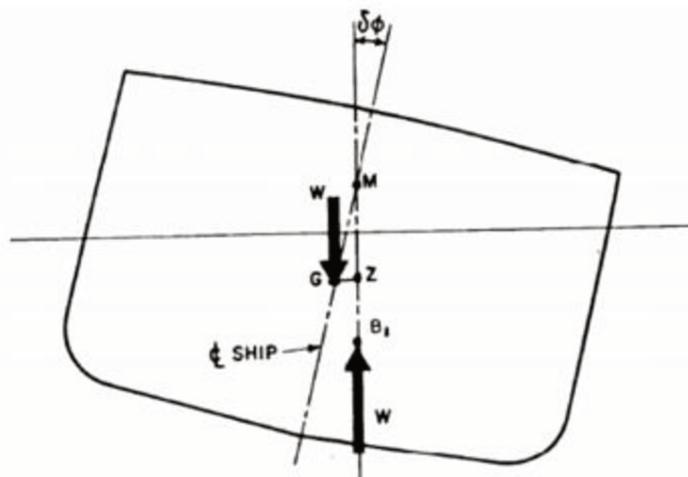
$$GM > KM - KG \quad (14)$$

$$KM = BM + KB \quad (15)$$

Quando o navio sai da sua condição inicial de equilíbrio, por consequência da incidência de uma onda, por exemplo, provocando um ângulo de banda  $\delta\theta$ , novas forças surgirão, em decorrência do desalinhamento vertical da localização do Centro de Carena em relação ao Centro de Gravidade. Para que o navio retorne à sua posição de equilíbrio, um braço de restauração positivo deve surgir, denominado Braço de Endireitamento (GZ). Este fenômeno pode ser melhor observado na Figura 4.

Conforme o ângulo de adernamento  $\delta\theta$  se modifica, o centro de carena se desloca sucessivamente, descrevendo uma curva cujo centro é justamente o Metacentro (M).

Figura 4 – Condição de um Navio com ângulo de banda



Fonte: Barrass (2004).

O metacentro é um elemento muito importante nesse contexto, uma vez que determina se o navio apresentará um equilíbrio estável, instável ou indiferente, de acordo com sua posição em relação ao centro de gravidade.

Caso o metacentro esteja acima do CG, o navio terá um equilíbrio estável, uma vez que a tendência é a de que a embarcação retorne à sua posição de equilíbrio, dada uma certa perturbação. Entretanto, se o ponto M estiver abaixo de CG, o equilíbrio é dito instável e o braço de endireitamento resultante é negativo, tendendo a inclinar ainda mais o navio. Por fim, se o metacentro coincidir com o centro de gravidade, não haverá braço de endireitamento e o navio apresenta equilíbrio indiferente. Pode-se, portanto, concluir que, quanto maior o GM (distância do centro de gravidade ao metacentro), maior será a restauração do navio a um ângulo de banda, (BARRAS, 2004).

Dentro da determinação da estabilidade de um navio, portanto, existem três características fundamentais a serem analisadas: KM (distância transversal entre a quilha e o metacentro), GM (distância transversal entre o centro de gravidade e a altura metacêntrica) e GZ (braço de endireitamento).

## 2.6. Estimativa de coeficiente de bloco ( $C_B$ )

A seguir será definido um dos parâmetros auxiliares mais importantes no projeto conceitual de uma embarcação.

O coeficiente de bloco diz respeito ao volume que o navio desloca em relação a uma caixa de dimensões iguais ao comprimento, boca e calado do mesmo e pode ser obtido a partir da seguinte equação:

$$C_B = \frac{\nabla}{LBT} \quad (16)$$

Em que:

$C_B$  é o coeficiente de bloco;

$\nabla$  é o volume deslocado do navio [m<sup>3</sup>];

$L$  é o comprimento total [m];

$B$  é a boca [m];

$T$  é o calado de projeto [m].

Entretanto, o volume deslocado não é um dado disponível nas fases iniciais de concepção de um navio; é, por outro lado, uma característica obtida após determinação de seu peso e sua capacidade de carga, em etapas posteriores. A obtenção de uma primeira estimativa do coeficiente de bloco pode ser, portanto, efetuada utilizando métodos empíricos disponíveis, entre eles o de Barrass (2004) (Equação 17).

$$C_B = 1 - 0,182 \frac{V_k}{\sqrt{L}} \quad (17)$$

Em que:

$C_B$  é o coeficiente de bloco do navio;

$V_k$  é a velocidade do navio [nós];

$L$  é o comprimento do navio [m];

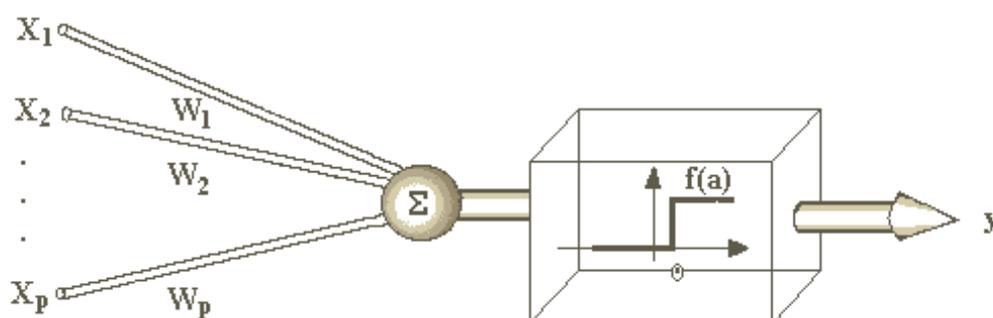
## 2.7. Redes Neurais Artificiais

Desde o início da humanidade o homem se viu tentando resolver problemas, conciliando variáveis de maneira a obter a melhor resposta possível. Ao longo da história, inúmeras maneiras de resolver estes problemas foram concebidas; entre

elas, o conceito de redes neurais artificiais, proposto por McCulloch (1943). A principal aplicação da rede neural consiste na determinação de um modelo interpolador de histórico conhecido e de difícil formulação.

O método de resolução de problemas por redes neurais artificiais consiste em algoritmos que simulam o funcionamento dos neurônios de seres vivos. O núcleo do método consiste em processar a soma das entradas do sistema, multiplicadas pelos seus pesos individuais, caso esta soma adquira o valor – o chamado limite de ativação – necessário para ativação da unidade de processamento, como ilustra a Figura 5:

Figura 5 - Funcionamento do método de redes neurais artificiais proposto por McCulloch (1943)



Fonte: Tancredi (2008).

Cada unidade realiza o processamento apenas sobre suas entradas. Entretanto, a grande vantagem do processo é a troca de informações e interações entre as unidades, como nos neurônios, que se comunicam através das sinapses. Desta forma, diz-se que o sistema adquire inteligência, ou aprende, à medida em que os limites de ativação e os pesos são modificados por um processo iterativo, denominado treinamento (TANCREDI, 2008).

Entretanto, quando uma só camada interna é utilizada, a representação da resposta fica limitada, nos quais entradas similares resultam em saídas diferentes. Este problema levou à formulação do conceito de *back propagation*, no qual camadas intermediárias entre a entrada e a saída são criadas para que funcionem como extratoras de características, permitindo que a rede cria sua própria representação do problema (SILVA, 2000).

Desde sua concepção, muitos algoritmos utilizando redes neurais foram criados, diferindo-se basicamente pela forma como os pesos são modificados; ou seja, pela maneira como o treinamento é realizado.

Dentro deste contexto, o programa *Synapse* é uma ferramenta de resolução de problemas utilizando o algoritmo de redes neurais artificiais. O programa, a partir de dados experimentais, calcula a correlação entre as variáveis e o objetivo de um sistema. As iterações são então realizadas de acordo com o número de ciclos, o erro médio máximo, o número de neurônios por camada e o número de camadas intermediárias (internas).

### 3. METODOLOGIA

A primeira etapa da pesquisa é levantar uma base de dados para definir as características dimensionais típicas de navios petroleiros atualmente em operação. Em seguida, serão concebidos 27 navios modelos, provenientes de variações paramétricas, com a finalidade de representar de maneira satisfatória os navios petroleiros das classes *Suezmax*, *Aframax* e *Panamax*.

A partir destes modelos, deseja-se obter os valores de resistência ao avanço, com auxílio da metodologia proposta por Holtrop (1984) implementada no programa *Maxsurf Resistance*.

Em um segundo momento, será feita a análise de comportamento em mar dos modelos, levando em conta o comportamento em mar para os graus de liberdade de *heave*, *pitch* e *roll* das embarcações advindas da fase de variação paramétrica, modelado no programa comercial *Maxsurf Motions Advanced*, utilizando o método dos painéis disponível na plataforma.

Além disto, serão realizadas simulações de predição de estabilidade transversal dos modelos, utilizando o programa *Maxsurf Stability Advanced*.

Em posse dos dados dos atributos citados, serão realizadas regressões matemáticas com a finalidade de obter um método numérico que correlacione os

parâmetros dimensionais de L/B e coeficiente de bloco aos atributos. Com o mesmo objetivo, serão realizadas avaliações no programa Synapse, visando a determinação de redes neurais artificiais que representem cada um dos parâmetros analisados.

Uma ferramenta será concebida usando o programa Excel com a finalidade de compilar todas as análises realizadas. Nela o usuário poderá entrar os dados e coeficiente de bloco e calado – dentro das faixas que o presente trabalho propõe – e obter características de resistência ao avanço, frequências naturais e estabilidade, além de poder comparar os resultados obtidos pelos diferentes métodos.

Enfim, será feita uma análise de validação dos métodos, comparando os resultados apresentados pela ferramenta em relação aos obtidos pelos programas de projeto existentes hoje, para um navio com propriedades intermediárias entre os modelos advindos das variações paramétricas, afim de se determinar a robustez das análises.

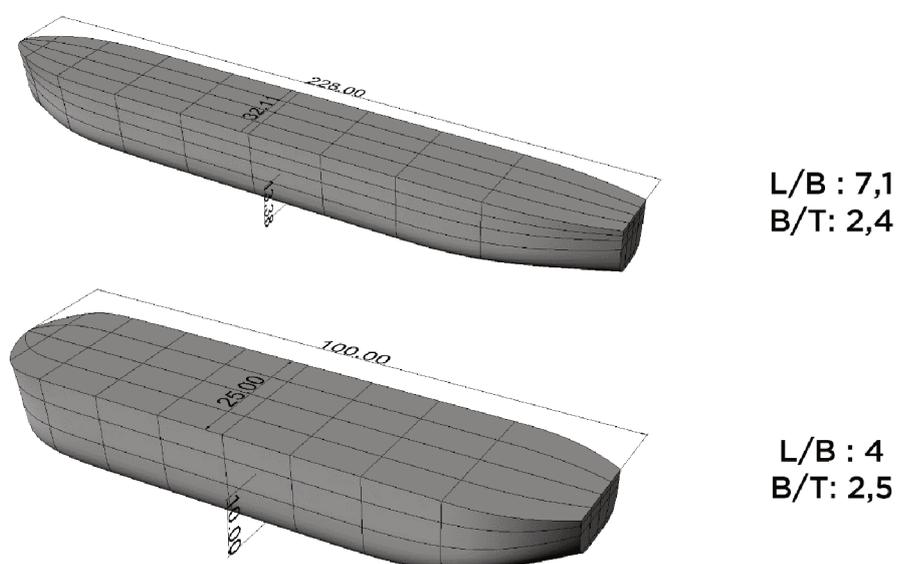
O referencial teórico utilizado virá principalmente de embarcações petroleiras atuantes, cujos dados serão coletados com auxílio do website *Marine Traffic*. Serão utilizados também bibliografias específicas como Barrass (2004) e Watson (1998), além de trabalhos já desenvolvidos com temas relacionados como Lopes (2015), Chame (2014), Andrade, Chaves e Tancredi (2013) e Andrade, Tancredi e Venzon (2013) e Tancredi (2008).

#### 4. LEVANTAMENTO DE EMBARCAÇÕES SEMELHANTES

Para o estudo sobre embarcações petroleiras atuais foi necessário gerar uma base de dados com os petroleiros existentes e, a partir disto, encontrar faixas típicas de razões de aspecto e coeficientes de bloco para navios-tanque, tornando possível, na posterior fase de criação da ferramenta matemática, a caracterização da forma dessas embarcações, dentro das classes estudadas.

As razões de aspecto são características adimensionais e dizem respeito às proporções entre dimensões do navio, como comprimento e boca (L/B) ou boca e calado (B/T). São aspectos importantes à medida em que podem definir a forma do navio, como ilustrado na Figura 6.

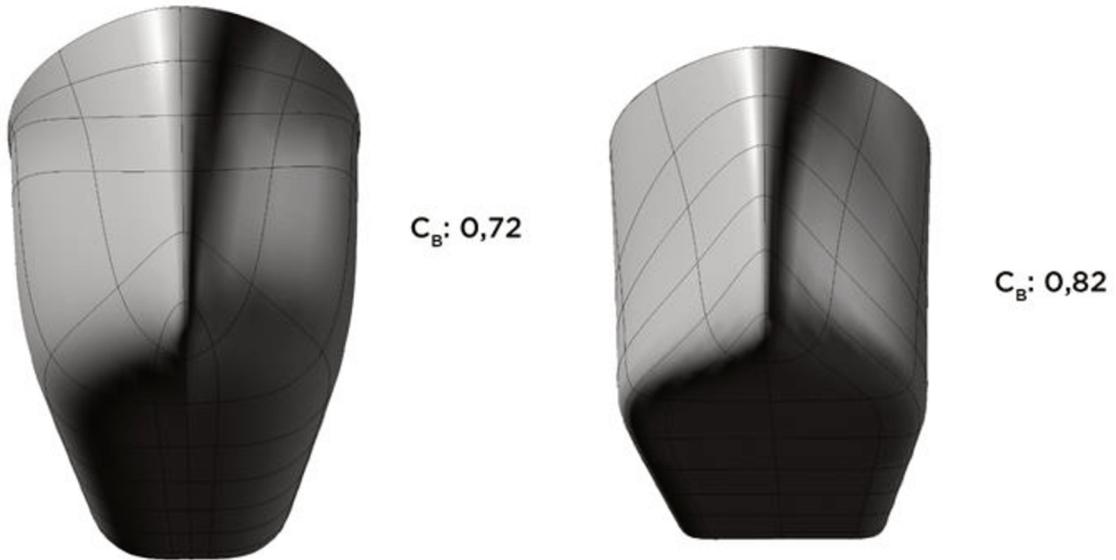
Figura 6 - Exemplos de cascos com relações adimensionais diferentes



Fonte: elaborado pelo autor.

Já o coeficiente de bloco diz respeito ao volume que o navio desloca em relação a uma caixa de dimensões iguais ao comprimento, a boca e o calado da embarcação, como descrito da fundamentação teórica.

Figura 7 - Comparação entre navios com coeficientes de bloco diferentes



Fonte: elaborado pelo autor.

Comercialmente, os navios tanque são divididos em categorias de acordo com seu peso morto (*deadweight*) e dimensões (MAN, 2013), de acordo com a Tabela 3. Essa classificação é feita pois, navios com dimensões correspondentes ao canal do Panamá, por exemplo, possuem uma faixa característica de porte bruto à qual os navios conseguem atender, de acordo com as dimensões limitadas do canal.

Tabela 3 - Categorias de navios tanque

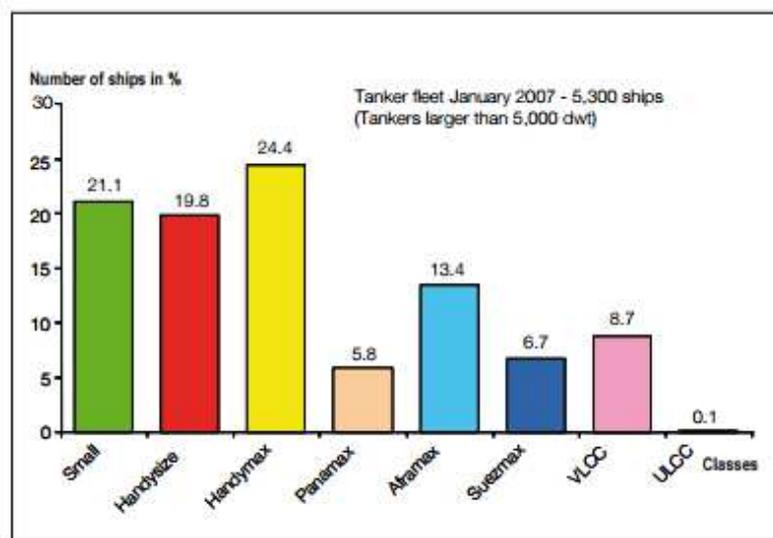
Classe	Porte Bruto
Small Tankers	< 10.000 dwt
Handy Size	10.000 a 30.000 dwt
Handy Max	30.000 a 50.000 dwt
Panamax	60.000 a 75.000
Aframax	80.000 a 120.000 dwt
Suezmax	125.000 a 170.000 dwt
VLCC	250.000 a 320.000 dwt
ULCC	≥ 350.000 dwt

Fonte: MAN, 2013. Adaptado pelo autor.

Por fins de representatividade, foram considerados neste trabalho que navios entre 60.000 a 80.000 t de peso morto se encaixariam na categoria Panamax e de 120.000 a 170.000, na categoria Suezmax.

Desta forma, foi gerada uma base de dados utilizando a biblioteca do site *Marine Traffic* (2016) para navios Panamax, Aframax e Suezmax, que, somados, representam quase 26% da frota atual de navios petroleiros, de acordo com a Figura 8.

Figura 8 - Frota mundial de navios tanque em Janeiro de 2007



Fonte: MAN (2013).

Navios *Small Tankers*, *Handy Size* e *Handy Max* foram descartados da análise por apresentarem dimensões relativamente pequenas quando comparadas às utilizadas nas formulações das equações empíricas utilizadas neste trabalho. Já os navios VLCC e ULCC são casos muito específicos e representam uma pequena parcela dos petroleiros, que em geral não seguem padrões dimensionais. Optou-se, portanto, em estudar os navios que representam a faixa média de 60.000 a 170.000 t de peso morto.

Foram coletados valores de comprimento, boca, tonelagem bruta, peso morto, calado, velocidade e tipo de óleo de transporte (óleo cru ou petróleo) para 50 navios de cada categoria. Com estes valores foram calculadas as razões de aspecto de L/B (comprimento e calado) e B/T (boca e calado) bem como a estimativa de  $C_B$  feita por meio do método empírico da Equação 17, seção 2.6.

A equação foi útil para a estimativa do coeficiente de bloco dos navios da base de dados, uma vez que esta característica não se encontra disponível nas bibliotecas de dados referentes a embarcações utilizadas neste trabalho.

Embora os navios dentro de uma mesma categoria possuíssem razões L/B muito distintas, configurando uma ampla gama de valores, foi possível observar que existem, dentro de uma mesma categoria, razões de aspecto típicas. Por exemplo, navios da classe Panamax, devido às dimensões limitadas do canal, possuem a razão de L/B típica de 7,1.

A base de dados completa, os valores para coeficientes de bloco calculados, incluindo as faixas de valores citados acima estão disponíveis no Apêndice 1. Abaixo é possível ver um resumo do intervalo de valores para os dados coletados, bem como os valores típicos de L/B encontrados.

Tabela 4 - Faixas de valores para L/B, B/T e  $C_B$  para navios Panamax, Aframax e Suezmax

	L/B		B/T	$C_B$
	Intervalo	Típico		
<b>Panamax</b>	6,25 – 7,14	7,10	2,37 – 4,61	0,81 – 0,94
<b>Aframax</b>	5,19 – 6,53	5,68	2,84 – 6,58	0,83 – 0,94
<b>Suezmax</b>	5,45 – 6,35	5,71	2,66 – 6,83	0,84 – 0,94

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5. MODELAGEM PARAMÉTRICA

### 5.1. Preparação dos modelos

Com os intervalos de  $L/B$ ,  $B/T$  e  $C_B$  definidos a partir de análise de embarcações semelhantes, foi possível modelar navios cujas dimensões e formas fossem representativas em relação a navios das três classes de petroleiros estudadas.

Foram feitas 3 variações para cada parâmetro ( $L/B$ ,  $B/T$  e  $C_B$ ) que, elevadas pelo número de parâmetros, resultaram num total de 27 navios.

Os valores de  $B/T$  utilizados na elaboração dos modelos variou no intervalo de 2,4 a 4,6, uma vez que, os dados coletados no site *Marine Traffic* (2016) dizem respeito ao calado registrado no momento do lançamento dos dados na plataforma – geralmente no momento de chegada aos portos –, mas não correspondem, necessariamente, ao calado que o navio possui durante sua viagem. Portanto, o valor limítrofe de 4,6 para  $B/T$  foi escolhido em relação ao de 6,83 por ser mais típico dentro da base de dados coletada.

Para as razões de  $L/B$  foram utilizados os valores típicos ao invés do intervalo obtido, por serem representativos em relação às classes

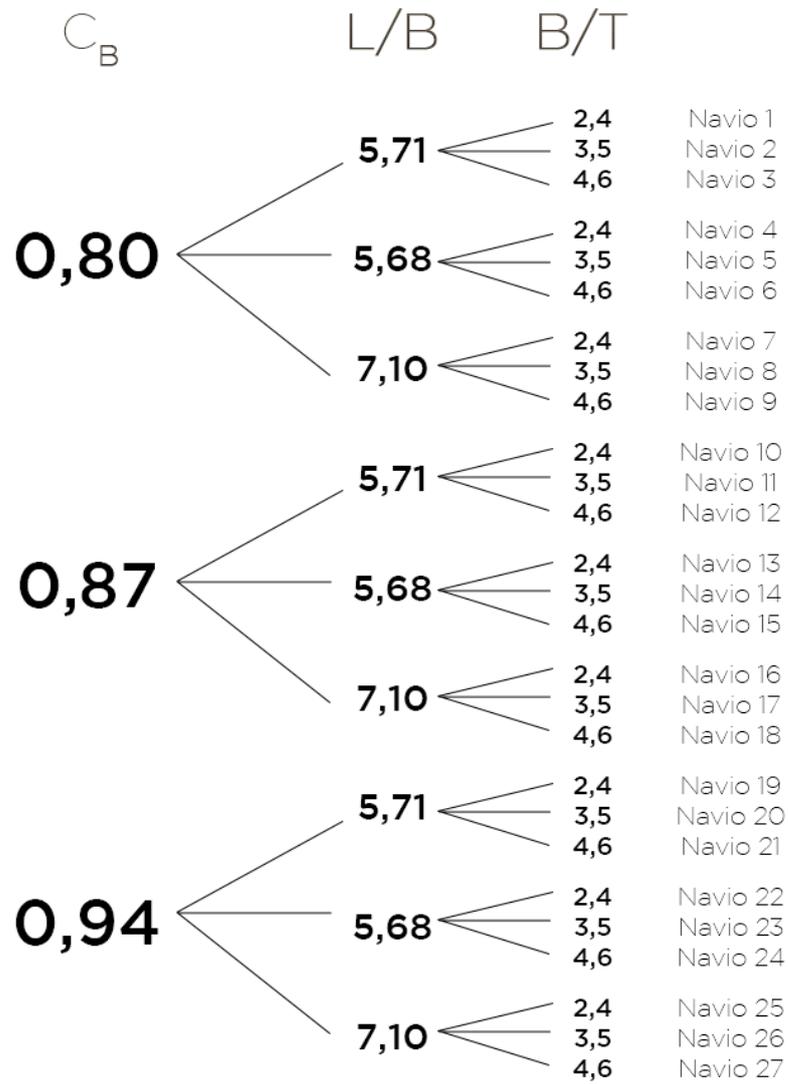
Tabela 5 - Definição dos parâmetros dos modelos

	Intervalo	Passo	Valores utilizados
<b>L/B</b>	5,71 – 7,10	-	5,71 - Suezmax
			5,68 – Aframax
			7,10 – Panamax
<b>B/T</b>	2,4 – 4,6	1,1	2,4
			3,5
			4,6
<b><math>C_B</math></b>	0,80 – 0,94	0,7	0,80
			0,87
			0,94

Fonte: elaborado pelo autor.

Os 27 modelos foram gerados a partir dos parâmetros citados acima, de acordo com o esquema abaixo:

Figura 9 - Esquema dos parâmetros dos 27 modelos



Fonte: elaborado pelo autor.



L/B	5,71	5,71	5,71	5,68	5,68	5,68	7,1	7,1	7,1
B/T	2,4	3,5	4,6	2,4	3,5	4,6	2,4	3,5	4,6
L	274,5	274,5	274,5	250	250	250	228	228	228
B	48,07	48,07	48,07	44,01	44,01	44,01	32,11	32,11	32,11
T	20,03	13,74	10,45	18,34	12,58	9,57	13,38	9,18	6,98
Modelos	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Cb	0,928	0,918	0,908	0,926	0,915	0,905	0,916	0,902	0,897
L/B	5,71	5,71	5,71	5,68	5,68	5,68	7,1	7,1	7,1
B/T	2,4	3,5	4,6	2,4	3,5	4,6	2,4	3,5	4,6
L	274,5	274,5	274,5	250	250	250	228	228	228
B	48,07	48,07	48,07	44,01	44,01	44,01	32,11	32,11	32,11
T	20,03	13,74	10,45	18,34	12,58	9,57	13,38	9,18	6,98

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.2. Modelagem

Na etapa subsequente, os 27 navios elaborados tomaram forma no programa comercial Rhinoceros, com o apoio do *plug-in* Orca3d que o programa disponibiliza, voltado a simulações navais.

Dentro do *plug-in* Orca3d existe uma ferramenta chamada *Hull Assistant*, cuja finalidade é criar cascos a partir de cascos base existentes na biblioteca do programa. Dentro da ferramenta o usuário deve escolher entre três tipos de cascos: *Planning*, *Sailboat* ou *Ship*; como os navios em questão são de casco deslocante, o casco base escolhido foi o *Ship*.

A partir deste ponto é possível personalizar o casco de forma a obter um resultado final de acordo com o desejado. No presente trabalho, as dimensões e as formas foram alteradas com a finalidade de obter cascos semelhantes a cascos de petroleiros.

Nos tópicos subsequentes serão abordados todos os parâmetros alterados ao longo das modelagens.

- Parâmetros de dimensões no *Hull Assistant*

As dimensões dos navios foram inseridas no programa a cada nova modelagem, uma vez que os calados variavam mesmo entre navios da mesma categoria, com os mesmos comprimentos e bocas. Como pontal, foi definido o valor de 25 metros, constante entre todos os modelos, uma vez que este valor não interfere

nos resultados desejados, que só levam em consideração as dimensões abaixo da linha d'água.

Para altura da popa transom, também ficou definido um valor fixo, de 8 metros, o que ajudou a obter os maiores valores possíveis de coeficiente de bloco para os modelos de 19 a 27, com  $C_B$  de 0,94.

Figura 10 - Altura da Popa Transom para os modelos



Fonte: elaborado pelo autor.

Os parâmetros *Number of Net Rows* e *Number of Net Columns*, que correspondem ao número de linhas da geometria do modelo na longitudinal e na transversal, respectivamente, permaneceram inalterados.

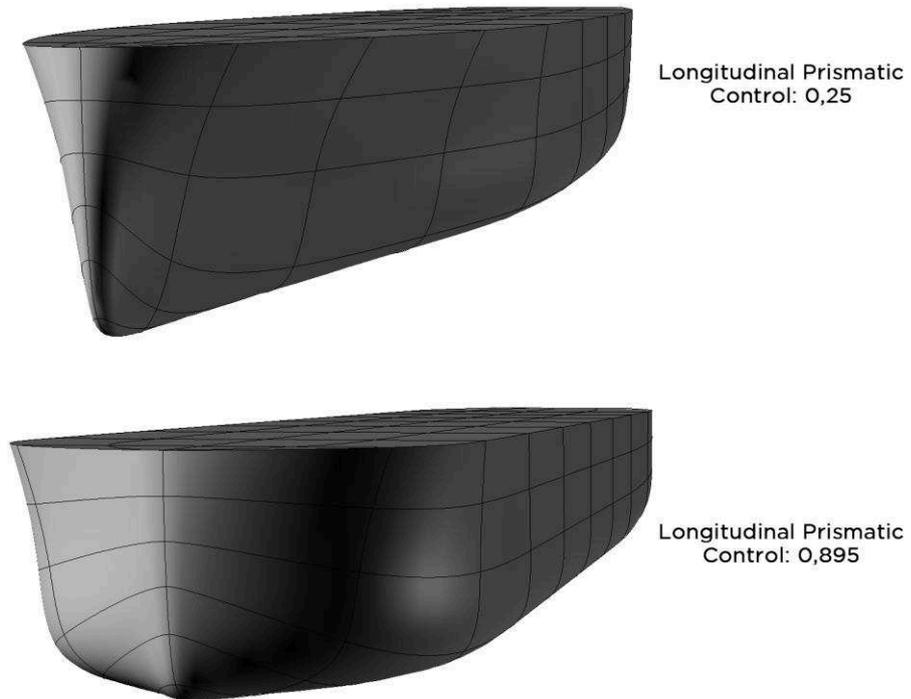
- Parâmetros de forma no *Hull Assistant*

Na aba Hull Form, as variáveis foram alteradas de modo a obter cascos semelhantes a petroleiros. Estes resultados foram obtidos aumentando-se progressivamente o *Longitudinal Prismatic Control* e diminuindo-se o *Section Thickness* no corpo médio paralelo (Mid) para cada embarcação modelada.

*Longitudinal Prismatic Control* é um parâmetro da ferramenta estritamente relacionado ao coeficiente prismático longitudinal – não sendo, entretanto, correspondente a este. Já a variável *Section Thickness* está relacionado ao valor do coeficiente de seção à meia nau, sendo entretanto, inversamente proporcionais: à medida que o valor de *Section Thickness* diminui, o coeficiente de seção à meia nau aumenta.

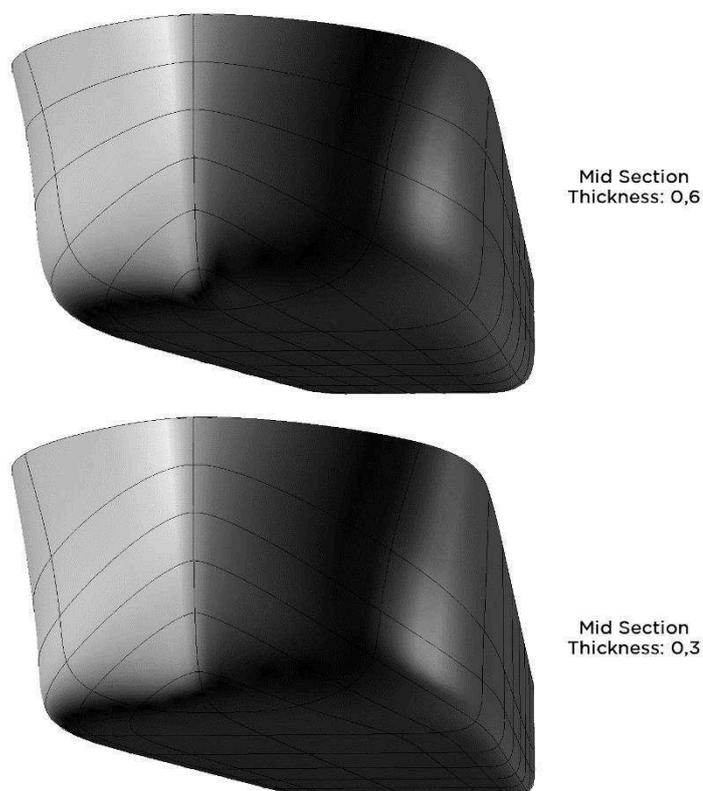
Abaixo a comparação da influência dos parâmetros nos cascos, para o padrão da ferramenta e alguns dos valores utilizados neste trabalho, respectivamente. Em ambos os casos os parâmetros são os mesmos, com exceção da variável em questão.

Figura 11 - Influência do parâmetro *Longitudinal Prismatic Control* na forma dos cascos



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 12 - Influência do parâmetro *Section Thickness* na forma dos cascos



Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores para *Max Area Location*, *Deadrise*, *Side Slope*, *Flare*, *Sheer Height*, *Sheer Height Position* e *Fullness* não foram alterados, permanecendo, portanto, iguais ao valor padrão da ferramenta para cascos deslocantes.

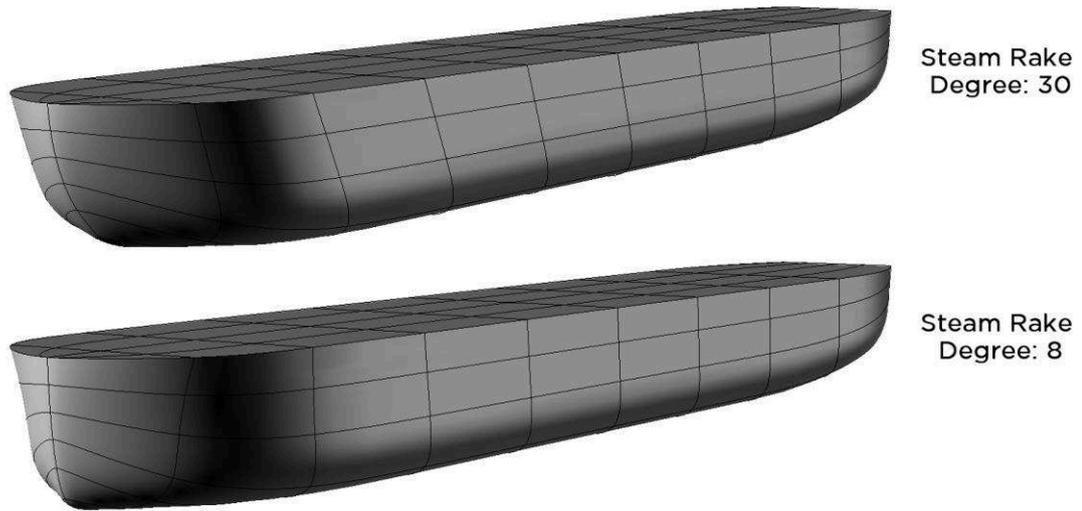
- Parâmetros de proa e popa no *Hull Assistant*

Os parâmetros de proa e popa foram modificados com a mesma finalidade dos anteriores, isto é, alcançar os valores de coeficiente de bloco determinados e fazer com que a geometria do navio tivesse maior semelhança possível com navios petroleiros existentes.

Para isto os valores de *Steam Rake Degree*, *Steam Curvature*, foram diminuídos progressivamente e os parâmetros *Trasom Rakem* e *Keel Rise Point* foram aumentados. Abaixo, figuras que ilustram este processo, comparando os valores

padrão da ferramenta e os utilizados no procedimento de modelagem, respectivamente.

Figura 13 - Influência do parâmetro *Steam Rake Degree* na forma dos cascos



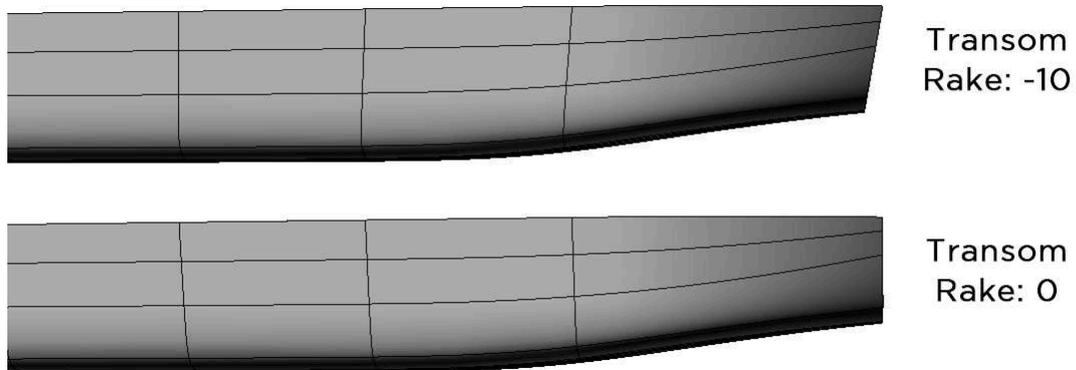
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 14 - Influência do parâmetro *Steam Curvature* na forma dos cascos



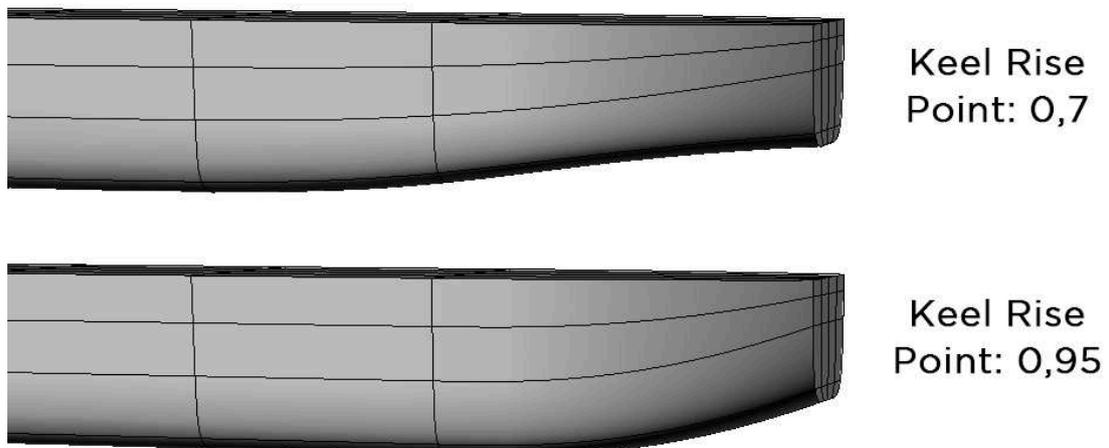
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 15 - Influência do parâmetro Transom Rake na forma dos cascos



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 16 - Influência do parâmetro *Keel Rise Point* na forma dos cascos



Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores dos parâmetros do *Hull Assistant*, do *plug-in Orca 3d*, utilizados para todas as 27 modelagens estão disponíveis no Apêndice 2.

Apesar de todas as modificações realizadas nos cascos afim de obter os valores de coeficientes de bloco desejados, foi impossível alcançar o  $C_B$  de 0,94 sem que a geometria do casco fosse prejudicada. Desta forma, optou-se por manter uma forma coerente e conseguir, assim, o maior coeficiente de bloco possível. Portanto,

para os navios 19 a 27, os coeficientes de bloco alcançados desta forma são listados a seguir.

Tabela 8 - Coeficientes de Bloco obtidos para os navios 19 a 27

Navios	$C_B$
19	0,928
20	0,918
21	0,908
22	0,926
23	0,915
24	0,905
25	0,916
26	0,902
27	0,897

Fonte: elaborado pelo autor.

Passada a fase da modelagem foi possível, então, simular os modelos para os parâmetros desejados.

## 6. RESISTÊNCIA AO AVANÇO

### 6.1. Simulações de Resistência ao Avanço dos modelos

O objetivo nesta etapa foi desenvolver um banco de dados de resistência ao avanço suficientemente robusto para que a regressão matemática posterior pudesse ser feita de forma representativa em relação aos navios das classes estudadas.

A obtenção de resistência ao avanço total dos 27 navios foi possível por intermédio do programa *Maxsurf Resistance*, utilizando o método de Holtrop. Estes dados encontram-se disponíveis no Apêndice C.

Os métodos de planeio e de *yachts* foram descartados da análise por não se aplicarem a navios deslocantes, como é o caso dos navios em análise no presente trabalho.

### 6.2. Interpolação para Resistência ao Avanço

O objetivo, a partir dos dados de resistência ao avanço dos modelos obtidos por variação paramétrica, passou a ser a obtenção de uma correlação direta entre a resistência total ao avanço e velocidade de serviço, coeficiente de bloco e a razão de aspecto B/T para que, com isto, a partir destes dados de entrada, fosse possível obter o valor da resistência total de qualquer navio petroleiro dentro das restrições do estudo.

Esta correlação foi obtida por intermédio de regressão matemática e redes neurais artificiais, como demonstrado nas seções seguintes.

#### 6.2.1. Regressão para o Coeficiente de Resistência Total

Para cada embarcação e velocidade de 0 a 20 nós foi encontrado um valor de coeficiente  $C_T$ , mencionado na seção 2.3.1. Por finalidade de representação, os valores de  $C_T$  obtidos pela formulação referida foram multiplicados pelo fator de escala de 1000, caso contrário os valores seriam mais dificilmente visualizados num primeiro

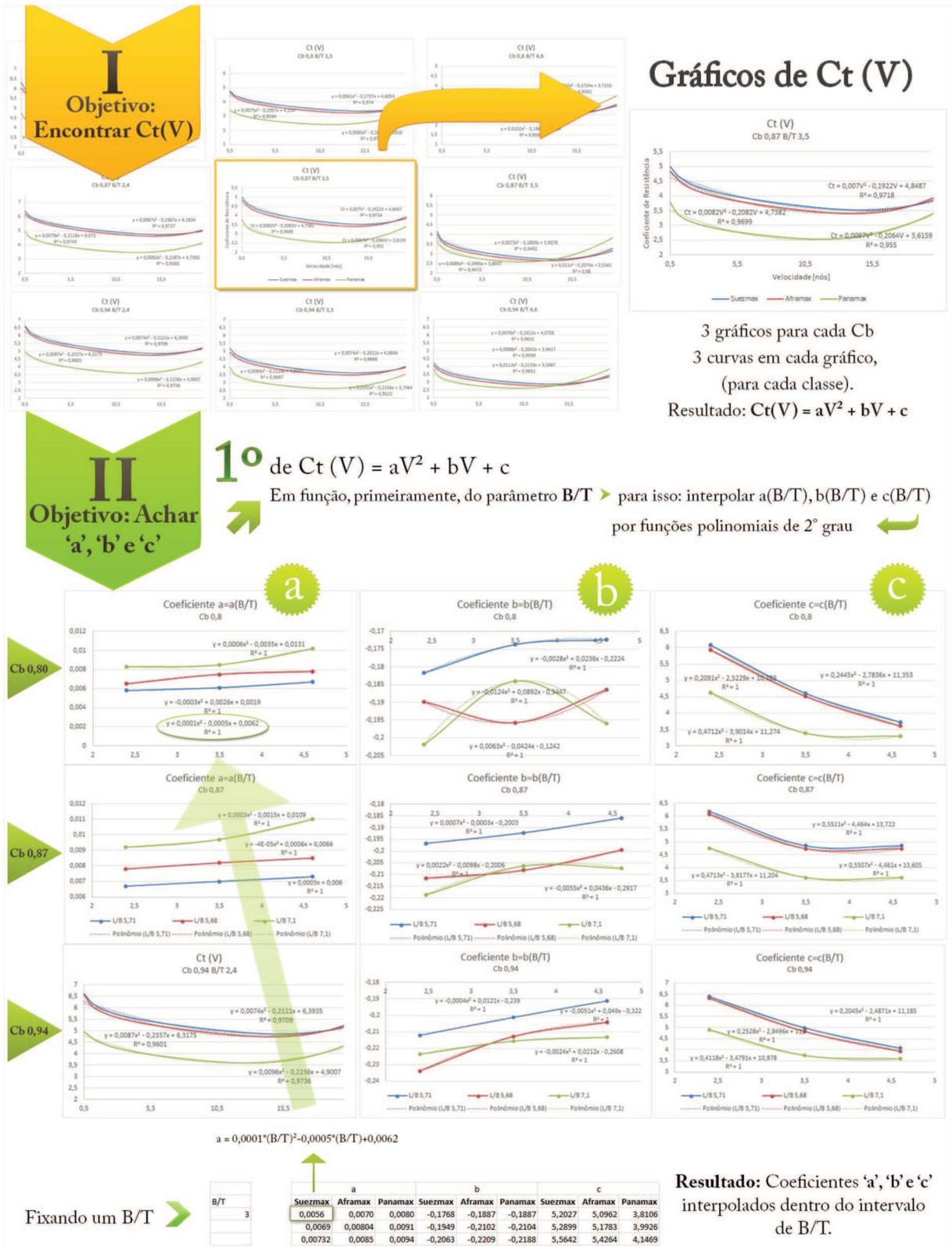
instante de análise.<sup>5</sup> Os dados obtidos para os coeficientes de resistência podem ser encontrados no Apêndice D.

Nas figuras abaixo é possível observar detalhadamente o procedimento de regressão nessa fase. Os passos serão melhor explicados na sequência.

---

<sup>5</sup> Neste caso, é sabido que a denominação “coeficiente” é equivocada, uma vez que os dados obtidos desta forma resultam em valores maiores que a unidade. Semanticamente, o correto seria substituir a denominação por “fator”. Entretanto, com a finalidade de não perder o vínculo com uma formulação e designação conhecidas, ao longo deste texto o fator  $C_t$  continuou sendo referido como coeficiente de resistência total.

Figura 17 - Esquema de Regressão para  $C_T$



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 18 - Esquema de Regressão para  $C_T$

### III

Objetivo: achar  
'a', 'b' e 'c'

## 2º

de  $C_t(V) = aV^2 + bV + c$   
 Em função, agora, do parâmetro  $C_b$  para isso: interpolar  $a(C_b)$ ,  $b(C_b)$  e  $c(C_b)$   
 por funções polinomiais de 2º grau

*A partir do B/T fixo da fase anterior*

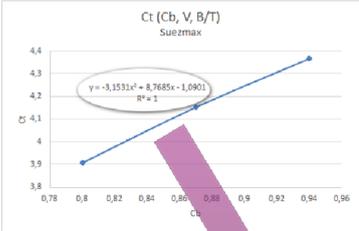
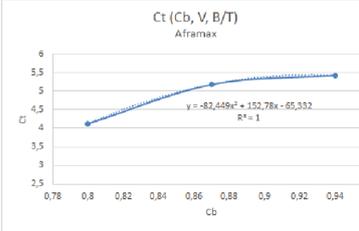
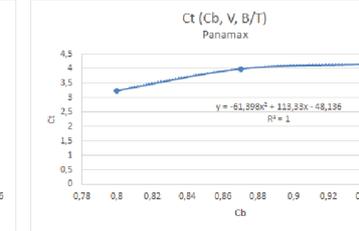
Por exemplo, para a classe Suezmax e uma velocidade de 20 nós:

CB	Ct
0,8	3,9067
0,87	4,1519
0,94	4,3662

>>  $C_t(V) = 0,056V^2 - 0,1768V + 5,2027$   
 >>  $C_t(V) = 0,0069V^2 - 0,1949V + 5,2899$   
 >>  $C_t(V) = 0,00732V^2 - 0,2063V + 5,5642$

a			b			c		
Suezmax	Aframax	Panamax	Suezmax	Aframax	Panamax	Suezmax	Aframax	Panamax
0,0056	0,0070	0,0080	-0,1768	-0,1887	-0,1887	5,2027	5,0562	3,8106
0,0069	0,00804	0,0091	-0,1949	-0,2102	-0,2104	5,2899	5,1783	3,9926
0,00732	0,0085	0,0094	-0,2063	-0,2209	-0,2188	5,5642	5,4264	4,1469

É possível associar os valores de  $C_t$  e  $C_b$  em um gráfico, para cada valor de coeficiente 'a', 'b' e 'c', de forma a interpolar esses valores para qualquer valor de  $C_b$  no intervalo

### IV

Objetivo: achar  
 $C_t(V)$

Para qualquer valor de  $C_b$  e B/T dentro do intervalo

Por exemplo, para a classe Suezmax e  $C_b = 0,87$ :

Coefficientes	-3,15306	8,768469	-1,09012
$C_t$	4,1519		

Então:  $C_t(V) = -3,15306 V^2 + 8,768469V - 1,09012$

E, para uma velocidade de 20 nós, tem-se:  $C_t(20) = 4,1519$

Ct para o Navio da Classe Suezmax com:  
 $C_b = 0,87$   
 $B/T = 3$   
 $V = 20$  nós

Apenas para ilustração do método

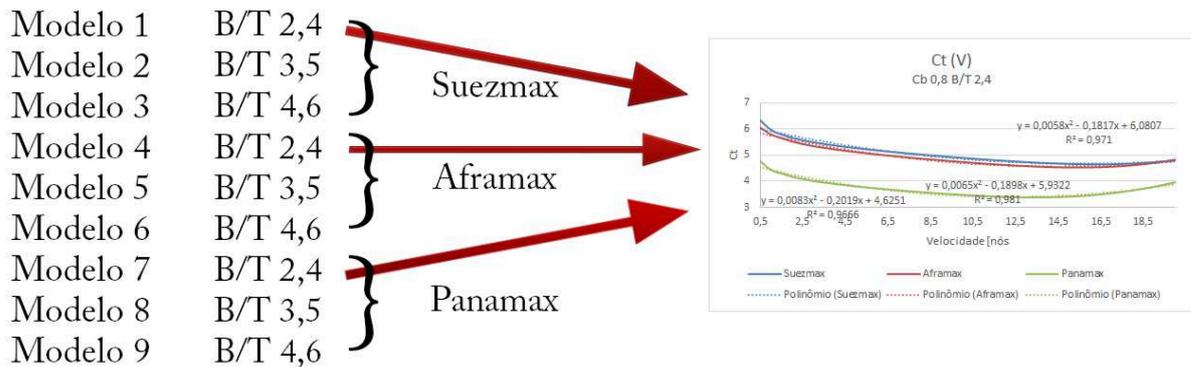
Fonte: elaborado pelo autor.

- Passo I: Interpolação de  $C_T$  em função da velocidade

A partir dos coeficientes de resistência, foram construídos gráficos do comportamento destes em função da velocidade. Por fins de síntese, ao invés de gerar 27 gráficos (um para cada modelo), optou-se por sintetizar esta análise fazendo 3

gráficos para cada coeficiente de bloco (cada um para um valor de B/T) que, multiplicados pelo valor de coeficientes de bloco em estudo (3), resultaram em 9 gráficos.

Figura 19 - Esquema de concepção dos gráficos de  $C_T(V)$



Fonte: elaborado pelo autor.

Dentro do contexto das regressões, todas as curvas com as cores azul, vermelho e verde dos gráficos representam navios da classe Suezmax, Aframax e Panamax, respectivamente.

Foi possível observar pelos gráficos que existem linhas de tendência de funções polinomiais de segundo grau que descrevem muito bem o comportamento de  $C_T$  em função das velocidades, com aderências superiores a 0,9.

Todas as curvas de  $C_T(V)$  podem ser representadas, portanto, pela seguinte equação:

$$C_T(V) = aV^2 + bV + c \quad (18)$$

O objetivo, a partir destes dados, passou a ser então encontrar os valores de coeficientes “a”, “b” e “c” das linhas de tendência polinomiais de segundo grau de  $C_T(V)$  para quaisquer valores de B/T e  $C_B$  dentro do intervalo analisado. Desta forma, seria possível obter os resultados para resistência ao avanço total fazendo apenas uma multiplicação simples por fatores como massa específica da água, superfície molhada, velocidade ao quadrado e o fator 0,5, conforme equacionamento feito na seção 2.3.1.

- Passo II: Coeficientes “a”, “b” e “c” das linhas de tendência polinomiais de segundo grau

De acordo com os gráficos obtidos no passo anterior, os valores dos coeficientes “a”, “b” e “c” das linhas de tendência polinomiais de segundo grau para os navios base foram relacionados ao parâmetro B/T na forma de gráfico, cujo comportamento também pode ser interpolado por funções polinomiais de segundo grau.

As linhas de tendência dos gráficos desta fase descrevem o comportamento dos coeficientes “a”, “b” e “c” dos polinômios interpoladores de  $C_T(V)$  em função das razões de aspecto B/T, para cada uma das classes em análise. Com as equações das linhas polinomiais de tendência para o comportamento de  $a\left(\frac{B}{T}\right)$ ,  $b\left(\frac{B}{T}\right)$  e  $c\left(\frac{B}{T}\right)$  foi possível determinar os coeficientes do polinômio  $C_T(V)$  para qualquer valor de B/T dentro do intervalo de 2,4 a 4,6, para valores de coeficientes de bloco específicos de 0,80, 0,87 ou 0,94.

Por exemplo, para uma razão de aspecto B/T de 3, como nas figuras acima, coeficiente de bloco de 0,80 e a classe Suezmax, os valores de “a”, “b” e “c” são, respectivamente, 0,0056, -0,1768 e 5,2027. Em posse destas constantes, a obtenção do coeficiente de resistência referente é conforme segue:

$$C_T = 0,0056V^2 - 0,1768V + 5,2027 \quad (19)$$

Os demais coeficientes de resistência total, dentro da classe Suezmax e B/T de 3, podem ser obtidos por método equivalente para os coeficientes de bloco 0,87 e 0,94, respectivamente:

$$C_T = 0,0069V^2 - 0,1949V + 5,2899 \quad (20)$$

$$C_T = 0,00732V^2 - 0,2063V + 5,5642 \quad (21)$$

Entretanto, os valores de “a”, “b” e “c” e, conseqüentemente, os valores de  $C_T(V)$  devem ser determinados para quaisquer valores de  $C_B$  dentro do intervalo de 0,80 e 0,94.

- Passo III: Correlação de  $C_T(C_B)$

Com esse intuito, um gráfico de  $C_T(C_B)$  foi gerado, utilizando o equacionamento acima e traçando uma linha de tendência entre os dados, para cada uma das classes, separadamente. A linha tendência utilizada, mais uma vez, foi a polinomial de segundo grau devido à boa aderência da formulação aos dados. Foi possível, portanto, obter um equacionamento do comportamento entre o coeficiente de resistência total e o coeficiente de bloco, sendo o primeiro também uma função da razão B/T.

Fixando uma velocidade, é possível obter o valor de  $C_T$ , associá-lo ao  $C_B$  correspondente e traçar uma curva que interpole esses três pontos – para cada coeficiente de bloco em estudo tem-se um coeficiente de resistência total.

A metodologia empregada para as regressões utilizadas no presente trabalho foi automatizada em função dos níveis. Desta forma o modelo matemático não está explicitado no texto em função do fato de as equações obtidas serem dinâmicas.

A finalidade principal da ferramenta a ser projetada é obter a resistência ao avanço por meio de características básicas de projeto, o que não é o caso da área molhada: este parâmetro não é um dado que o projetista tem em mãos em fase tão preliminar de projeto. Desta forma, a seção subsequente trata de uma regressão matemática para a área molhada, com a finalidade de inserção na fórmula do coeficiente de resistência total,  $C_T$ .

### 6.2.2. Regressão Para Área Molhada

Os dados para a área molhada dos 27 navios estudados, coletados por intermédio do programa *Maxsurf Modeler*, constam abaixo, ordenados por coeficiente de bloco, classe (L/B) e B/T.

Tabela 9 - Área molhada dos 27 navios em análise

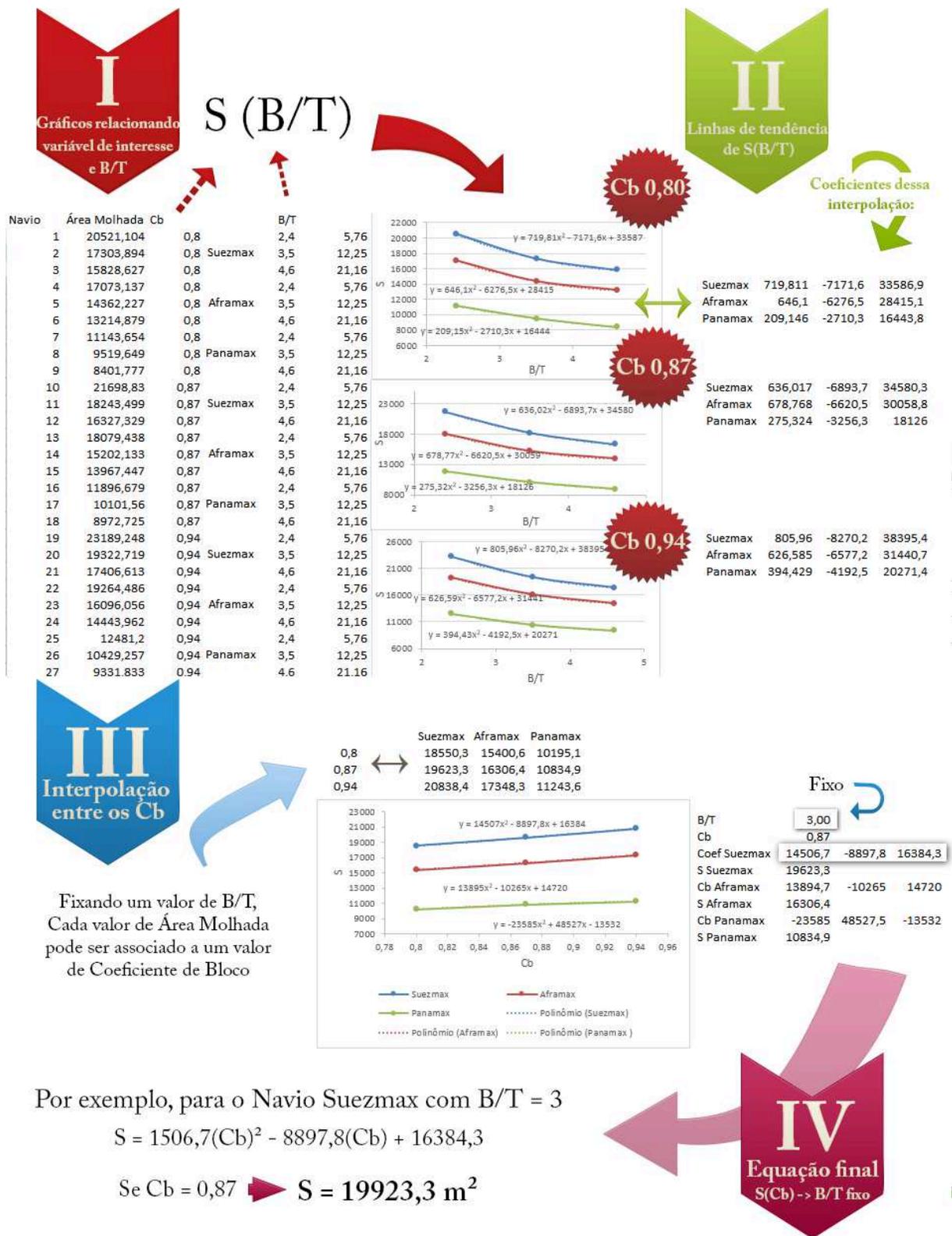
Navio	Área Molhada (m <sup>2</sup> )	$C_B$	Classe	B/T
1	20521,1	0,8		2,4
2	17303,89	0,8	Suezmax	3,5
3	15828,63	0,8		4,6
4	17073,14	0,8		2,4
5	14362,23	0,8	Aframax	3,5
6	13214,88	0,8		4,6

7	11143,65	0,8		2,4
8	9519,649	0,8	Panamax	3,5
9	8401,777	0,8		4,6
10	21698,83	0,87		2,4
11	18243,5	0,87	Suezmax	3,5
12	16327,33	0,87		4,6
13	18079,44	0,87		2,4
14	15202,13	0,87	Aframax	3,5
15	13967,45	0,87		4,6
16	11896,68	0,87		2,4
17	10101,56	0,87	Panamax	3,5
18	8972,73	0,87		4,6
19	23189,25	0,94		2,4
20	19322,72	0,94	Suezmax	3,5
21	17406,61	0,94		4,6
22	19264,49	0,94		2,4
23	16096,06	0,94	Aframax	3,5
24	14443,96	0,94		4,6
25	12481,2	0,94		2,4
26	10429,26	0,94	Panamax	3,5
27	9331,833	0,94		4,6

Fonte: elaborado pelo autor.

A regressão para área molhada será descrita a seguir, em forma de tópicos, para melhor compreensão do método. A Figura 20 foi elaborada com o intuito de tornar a explicação mais ilustrativa. O procedimento será revisitado nas seções de regressão para massa adicional, frequência natural de *heave*, frequência natural de *roll*, área de linha d'água, GZ, GM e KM, uma vez que estes procedimentos seguem a mesma metodologia empregada nesta seção.

Figura 20 - Esquema de Regressão para a Área Molhada



Fonte: elaborado pelo autor.

- I. Obtenção de um gráfico relacionando B/T (eixo das ordenadas) e a variável para a qual deseja-se obter regressão (eixo das abscissas) – neste caso a área molhada – contendo três curvas (representando as classes), para cada um dos coeficientes de bloco em estudo, totalizando três gráficos, cada gráfico contendo três curvas;
- II. Criação de linhas de tendência polinomiais de segundo grau para interpolação das curvas da fase anterior, possibilitando encontrar valores da área de área molhada para qualquer valor de B/T em estudo, por intermédio das funções polinomiais;
- III. Fixado um valor de B/T – qualquer valor dentro da faixa entre 2,4 e 4,6 – seguiu-se a realização de interpolação dentre os valores de coeficiente de bloco. Para cada classe, existirão três valores de área molhada, cada uma relacionada a um coeficiente de bloco. Estes dados são então plotados de forma a obter uma equação representativa do comportamento da variável em função do coeficiente de bloco;
- IV. Tendo o usuário definido qual coeficiente de bloco deseja para seu navio, bem como a razão B/T, é possível, portanto, obter o valor da área molhada do petroleiro a partir apenas destes dois dados de entrada. Isto é possível em se considerando que a classe do navio também já é conhecida.

É possível notar que o procedimento para Regressão do Coeficiente de Resistência Total ( $C_T$ ), assim como a Regressão para GZ, GM e KM (seções posteriores 8.2.1 e 8.2.2), se deu de maneira relativamente mais complexa em comparação com as regressões de área molhada. Isto ocorre, pois, os valores de Coeficiente de Resistência não são únicos para cada navio modelado; ao invés disto, têm-se 20 valores de  $C_T$  para cada modelo, para diferentes valores de velocidade. O que ocorre, de fato, são duas etapas nas Regressões: uma para interpolar os valores de  $C_T$  em função da velocidade, e a segunda, análoga às demais regressões, com a finalidade de obter os coeficientes da interpolação anterior em função dos parâmetros dimensionais de coeficiente de bloco e razão de aspecto B/T.

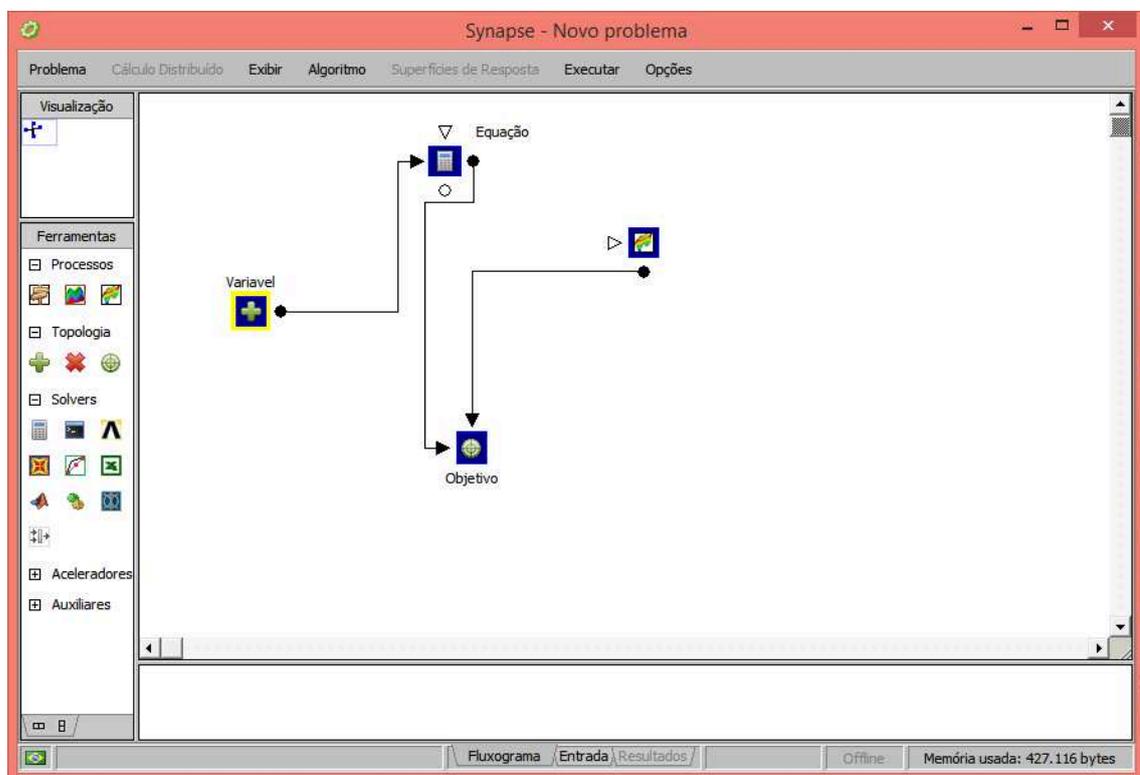
Por conseguinte, as regressões de área molhada são análogas às de área de linha d'água, massa adicional e frequências naturais de *heave* e *roll*. Já as regressões de coeficiente de resistência, braço de endireitamento, altura metacêntrica e KM possuem uma etapa a mais: a de interpolação do comportamento destes parâmetros em relação às suas variáveis inerentes (velocidade para  $C_T$ , calado para GM e KM e ângulo de banda para GZ).

### 6.2.3. Redes Neurais Artificiais para Resistência ao Avanço

O algoritmo de redes neurais foi outra alternativa para obtenção da regressão de resistência ao avanço para petroleiros sob as condições estudadas. O mecanismo de implementação das redes neurais foi feito por intermédio do programa *Synapse*.

Para utilização do programa é necessária a formulação de um novo problema, utilizando as entidades de Interpolação, Variável, Objetivo e Equação, como no esquema abaixo:

Figura 21 - Esquema de utilização do programa Synapse



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir disto, o programa foi executado para um milhão de ciclos, utilizando como entrada uma planilha de Excel cujas colunas eram constituídas pelos parâmetros coeficiente de bloco, comprimento, boca, calado, superfície molhada, velocidade e os dados de resistência total dos 27 navios. Esta planilha de entrada pode ser encontrada no Apêndice E.

O número de camadas internas e o número de neurônios por camada foram de 2 e 10, respectivamente, de acordo com Tancredi (2008). Esta configuração resulta em uma soma, cujo número de termos segue o seguinte equacionamento:

$$\eta_{\text{termos}} = \eta_{\text{camadas}} \cdot \eta_{\text{neurônios/camada}} + \eta_{\text{variáveis}} \cdot \eta_{\text{neurônios/camada}} + \eta_{\text{saídas}} \cdot \eta_{\text{neurônios/camada}} \quad (22)$$

Em que:

$\eta$  diz respeito a: número de.

A correlação entre as variáveis e o objetivo foi obtida, portanto, possibilitando encontrar os valores de resistência ao avanço para qualquer valor dos parâmetros supracitados dentro das faixas das classes.

## 7. COMPORTAMENTO EM MAR

### 7.1. Simulações de RAO dos modelos

Para a análise do comportamento em mar, os navios foram modelados, em uma primeira etapa, no programa *Maxsurf Motions Advanced*, que calcula Operador de Amplitude de Resposta (RAO) para os movimentos em *Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch e Yaw*, utilizando os métodos de *Strip Theory* ou *Panel Method*, ambos mencionados no capítulo de fundamentação teórica.

Nesta fase, foi preciso estimar o VCG (*Vertical Center of Gravity*) de cada um dos modelos, utilizando a formulação empírica de Lamb (2003), mostrada seguir para navios com comprimento superior a 120 metros.

$$VCG_{navio} = \frac{VCG_{casco} \cdot P_{aço} + VCG_{carga} \cdot P_{carga}}{P_{aço} + P_{carga}} \quad (23)$$

$$VCG_{casco} = 0,01D[46,6 + 0,135(0,81 - C_B)(L/D)^2] \quad (24)$$

$$VCG_{carga} \cong H_{DF} + \left( \frac{D - H_{DF}}{2} \right) \quad (25)$$

Em que:

$VCG_{navio}$  é o centro de gravidade vertical do navio [m];

$VCG_{casco}$  é o centro de gravidade vertical do casco [m];

$VCG_{carga}$  é o centro de gravidade vertical da carga [m];

$H_{DF}$  é a altura do duplo fundo [m], determinada por norma;

Com o equacionamento anterior foi possível, portanto, obter o centro de gravidade vertical dos 27 modelos.

Tabela 10 - VCG dos modelos <sup>6</sup>

	VCG carga [m]	VCG casco [m]	VCG navio [m]
1	11,75	11,69	11,74
2	11,75	11,69	11,74
3	11,75	11,69	11,74
4	11,75	11,68	11,74
5	11,75	11,68	11,74
6	11,75	11,68	11,74
7	11,75	11,68	11,74
8	11,75	11,68	11,73
9	11,75	11,68	11,73
10	11,75	11,41	11,72
11	11,75	11,41	11,70
12	11,75	11,41	11,68
13	11,75	11,45	11,72
14	11,75	11,45	11,70
15	11,75	11,45	11,69
16	11,75	11,48	11,71
17	11,75	11,48	11,69
18	11,75	11,48	11,67
19	11,75	11,17	11,69
20	11,75	11,21	11,67
21	11,75	11,25	11,66
22	11,75	11,26	11,70
23	11,75	11,30	11,68
24	11,75	11,33	11,67
25	11,75	11,35	11,69
26	11,75	11,39	11,67
27	11,75	11,41	11,65

Fonte: elaborado pelo autor.

É convencional, numa primeira estimativa, adotar o raio de giração para *roll* como 40% da boca da embarcação e para *pitch* e *yaw* 25% do comprimento (LEWIS, 1988). Estes parâmetros foram inseridos na distribuição de massa dos modelos em análise.

Como o método selecionado foi o dos painéis, a velocidade selecionada para análise foi de 0 nós, evidentemente. As incidências de onda são dadas em termos da

<sup>6</sup> O VCG dos modelos foi obtido com auxílio das formulações de Numeral E (Lamb, 2003) para obtenção de peso de aço e considerando uma altura de duplo fundo de 2 metros, conforme recomendações da norma MARPOL (1978).

posição relativa da onda em relação ao navio, em que,  $180^\circ$  (ou 3,14 rad) significam ondas de proa (MAXSURF, 2014); como o estudo foi feito em se considerando maresde proa, foi utilizada a configuração de 3,14 rad na aba *Headings* do programa.

Entretanto, os movimentos estudados no presente trabalho limitam-se a *heave* e *roll*, uma vez que os demais graus de liberdade não apresentam restauração, por isso, não adquirem vibração, ou frequência natural. Uma exceção disso é o movimento em *pitch*, que entretanto, apresenta comportamento superamortecido (LEWIS, 1988) não sendo, portanto, relevante em um primeiro momento de projeto, a que se destina o presente trabalho.

Com isso, foi possível obter o RAO para todos os 27 modelos. As frequências naturais observadas na análise constavam na faixa entre 0,5 rad/s e 0,7 rad/s. Desta forma, este foi o intervalo utilizado para as frequências, com a finalidade de obter-se os picos de amplitude, correspondentes às frequências naturais.

Abaixo um exemplo de RAO de *heave* e *roll* para as frequências intermediárias de 0,5, 0,6 e 0,7 rad/s do modelo 10.

Tabela 11 - RAO de 3 frequências para *Heave* e *Roll* do modelo 10

Frequência [rad/s]	RAO de <i>Heave</i>	RAO de <i>Roll</i>
0,5	0,116	0,179
0,6	0,089	0,362
0,7	0,017	0,071

Fonte: elaborado pelo autor.

## 7.2. Interpolação para as Frequências Naturais

A partir dos dados compilados na fase anterior, foi possível realizar regressões matemáticas, objetivando obter valores de Massa Adicional, Área de Linha d'Água e Frequência Natural para os movimentos de *Heave* e *Roll*. As seções 7.2.3 e 7.2.4 tratam, portanto, destas regressões.

Nesta fase, as regressões de massa adicional e área de linha d'água foram realizadas para que, posteriormente, fosse possível inserir estes dados no equacionamento analítico destes graus de liberdade, conforme seção 2.4, com a finalidade de comparação.

Nesta etapa, as regressões ocorreram de maneira muito similar, inclusive em relação à regressão para obtenção da superfície molhada dos modelos. O procedimento foi detalhado na seção de regressão da área de linha d'água, mas será revisitado nas seções de regressão para área molhada e frequência natural.

A seção 7.2.5 trata da obtenção da correlação entre as frequências naturais e os parâmetros dimensionais dos navios através do método de redes neurais.

### 7.2.1. Regressão para Área de Linha D'Água

A área de linha d'água de cada um dos modelos, obtida por intermédio do programa *Maxsurf Modeler*, foi inserida em uma planilha de *Excel* e seus valores foram distribuídos em ordem crescente de  $C_b$  e  $B/T$ , seguindo a ordem estabelecida no momento da concepção dos modelos.

Tabela 12 - Área de Linha d'Água dos 27 modelos

Navio	$A_{wl}$ [m <sup>2</sup> ]	$C_b$		$B/T$
1	11678,40	0,8		2,4
2	11856,53	0,8	Suezmax	3,5
3	12167,61	0,8		4,6
4	9755,87	0,8		2,4
5	9952,26	0,8	Aframax	3,5
6	10239,12	0,8		4,6
7	6609,32	0,8		2,4
8	6865,11	0,8	Panamax	3,5
9	6665,09	0,8		4,6
10	12450,85	0,87		2,4
11	12517,56	0,87	Suezmax	3,5
12	12471,48	0,87		4,6
13	10418,25	0,87		2,4
14	10429,44	0,87	Aframax	3,5
15	10398,39	0,87		4,6
16	6938,82	0,87		2,4
17	6907,46	0,87	Panamax	3,5
18	6826,82	0,87		4,6
19	12564,81	0,94		2,4
20	12536,02	0,94	Suezmax	3,5
21	12504,23	0,94		4,6
22	10471,14	0,94		2,4
23	10443,97	0,94	Aframax	3,5

24	10412,93	0,94		4,6
25	6947,21	0,94		2,4
26	6916,00	0,94	Panamax	3,5
27	6839,01	0,94		4,6

Fonte: elaborado pelo autor.

Como o procedimento de regressão já foi explicado anteriormente com o detalhamento necessário (seção 6.2.2) e, tendo em vista que a metodologia de obtenção da regressão da área de linha d'água foi a mesma empregada para a obtenção da regressão de área molhada, abaixo é possível encontrar um breve enunciado do procedimento, seguido pelos resultados obtidos em cada etapa.

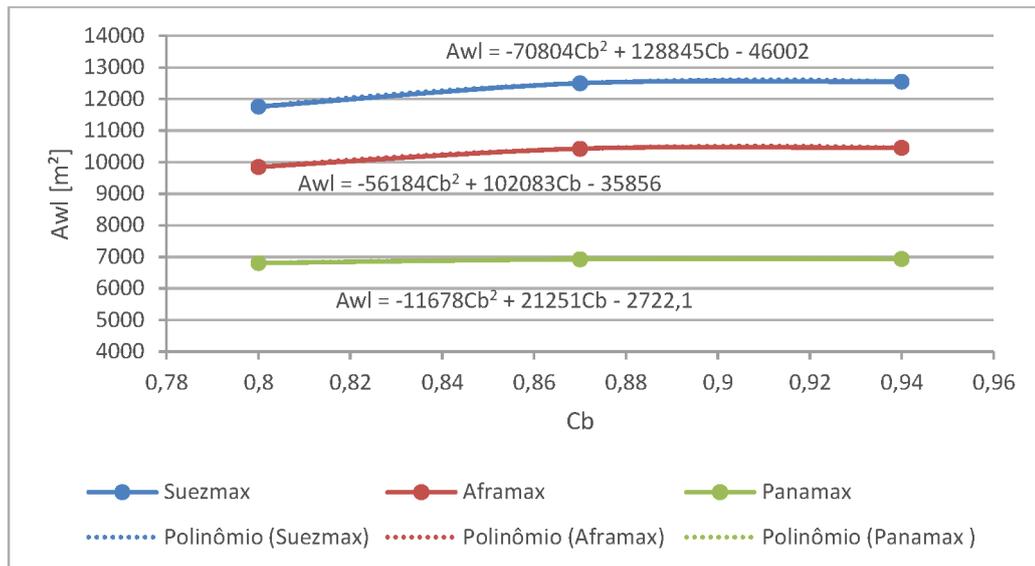
- I. Gráfico relacionando Área de Linha d'água dos modelos e B/T.
- II. Criação de linhas de tendência polinomiais de segundo grau para interpolação das curvas de Awl(B/T).
- III. Obtenção de valores de massas adicionais, para os valores de coeficiente de bloco 0,80, 0,87 e 0,94, de cada uma das classes, fixando um B/T.

Tabela 13 - Valores de Área de Linha d'água obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

	Suezmax	Aframax	Panamax
0,8	11759,08	9851,774	6805,347
0,87	12501,22	10429,59	6927,825
0,94	12549,48	10456,8	6935,86

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 22 – Gráfico de Área de Linha d'água em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3



Fonte: elaborado pelo autor.

IV. A partir da definição do B/T, coeficiente de bloco e classe pelo usuário é possível obter, portanto, os valores de Área de Linha d'água para o navio.

### 7.2.2. Regressão para Massa Adicional

A massa adicional é outro fator importante no que se refere ao cálculo analítico da frequência natural de *heave*, conforme Equação 12, descrita na seção 2.4. Ela foi obtida para cada um dos modelos, por intermédio do programa *Maxsurf Motions Advanced*, inserida em uma planilha de *Excel* de forma que seus dados fossem distribuídos em ordem crescente de Cb e B/T, seguindo mesma a ordem estabelecida no momento da concepção dos modelos.

Tabela 14 - Massa Adicional dos 27 modelos

Navio	Ma na wn [t]	Cb		B/T
1	85866,968	0,8		2,4
2	61274,9	0,8	Suezmax	3,5
3	46647,702	0,8		4,6
4	59546,634	0,8		2,4
5	48892,493	0,8	Aframax	3,5
6	83609,896	0,8		4,6

7	23669,299	0,8		2,4
8	43317,164	0,8	Panamax	3,5
9	66872,053	0,8		4,6
10	143824,532	0,87		2,4
11	126908,957	0,87	Suezmax	3,5
12	135488,075	0,87		4,6
13	115635,902	0,87		2,4
14	112268,416	0,87	Aframax	3,5
15	85657,076	0,87		4,6
16	48472,942	0,87		2,4
17	66218,174	0,87	Panamax	3,5
18	38328,03	0,87		4,6
19	193774,766	0,94		2,4
20	170159,684	0,94	Suezmax	3,5
21	134506,866	0,94		4,6
22	121858,466	0,94		2,4
23	110774,665	0,94	Aframax	3,5
24	77004,511	0,94		4,6
25	54476,384	0,94		2,4
26	60756,384	0,94	Panamax	3,5
27	63039,421	0,94		4,6

Fonte: elaborado pelo autor.

Novamente, o procedimento de regressão foi realizado seguindo a mesma metodologia para a área molhada e área de linha d'água. Abaixo um breve enunciado do procedimento, seguido pelos resultados obtidos.

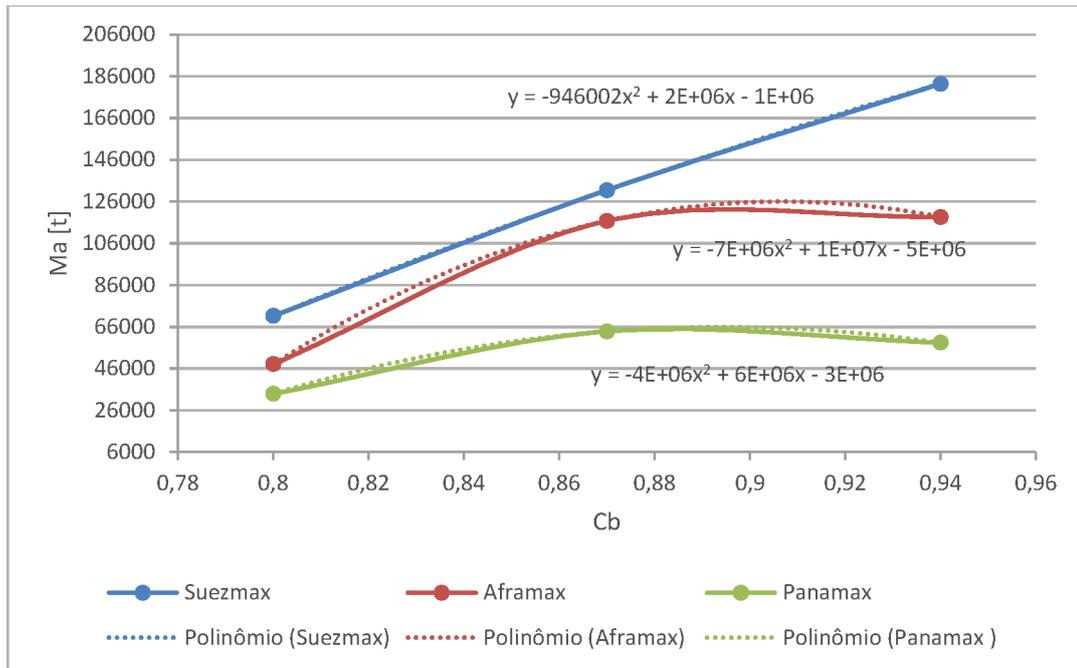
- I. Gráfico relacionando Massa Adicional dos modelos e B/T.
- II. Criação de linhas de tendência polinomiais de segundo grau para interpolação das curvas de  $Ma(B/T)$ .
- III. Obtenção de valores de massas adicionais, para os valores de coeficiente de bloco 0,80, 0,87 e 0,94, de cada uma das classes, fixando um B/T.

Tabela 15 - Valores de massa adicional obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

Cb	Suezmax	Aframax	Panamax
0,8	71217,8	48110,713	33901,97
0,87	131437,4	116680,56	63809,44
0,94	182386,1	118625,11	58397,33

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 23 – Gráfico de Massa Adicional em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3



Fonte: elaborado pelo autor.

IV. A partir da definição do B/T, coeficiente de bloco e classe pelo usuário é possível obter, portanto, os valores de massa adicional para o navio.

### 7.2.3. Regressão para Frequência Natural de Heave

Como dito anteriormente, os passos nesta fase são os mesmos realizados para obtenção das regressões anteriores e foram, portanto, sintetizados abaixo.

Tabela 16 - Frequência Natural de *Heave* dos 27 modelos

Navio	$\omega_n$ Heave	Cb		B/T
1	0,653	0,8		2,4
2	0,556	0,8	Suezmax	3,5
3	0,542	0,8		4,6
4	0,651	0,8		2,4
5	0,551	0,8	Aframax	3,5
6	0,596	0,8		4,6

7	0,536	0,8		2,4
8	0,576	0,8	Panamax	3,5
9	0,633	0,8		4,6
10	0,644	0,87		2,4
11	0,591	0,87	Suezmax	3,5
12	0,578	0,87		4,6
13	0,649	0,87		2,4
14	0,571	0,87	Aframax	3,5
15	0,607	0,87		4,6
16	0,567	0,87		2,4
17	0,647	0,87	Panamax	3,5
18	0,613	0,87		4,6
19	0,658	0,94		2,4
20	0,591	0,94	Suezmax	3,5
21	0,593	0,94		4,6
22	0,627	0,94		2,4
23	0,6	0,94	Aframax	3,5
24	0,571	0,94		4,6
25	0,638	0,94		2,4
26	0,642	0,94	Panamax	3,5
27	0,633	0,94		4,6

Fonte: elaborado pelo autor.

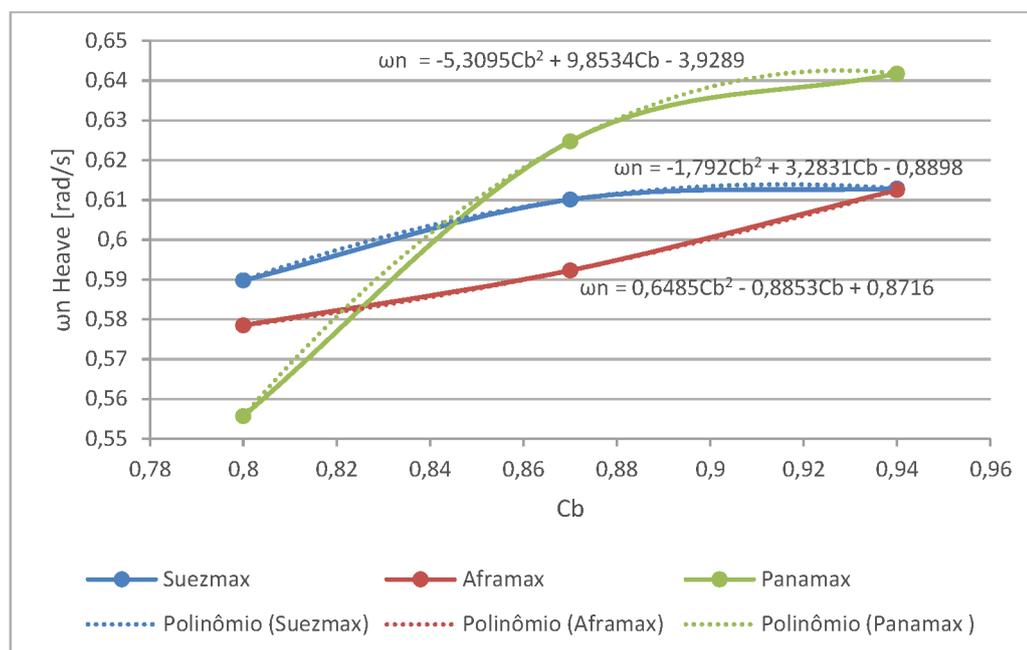
- I. Gráfico relacionando Frequência Natural de *heave* dos modelos e B/T.
- II. Criação de linhas de tendência polinomiais de segundo grau para interpolação das curvas de  $\omega_{n,heave}(\frac{B}{T})$ .
- III. Obtenção de valores de frequências naturais de *roll*, para os valores de coeficiente de bloco 0,80, 0,87 e 0,94, de cada uma das classes, fixando um B/T.

Tabela 17 - Valores de frequência natural de *heave* obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

Cb	Suezmax	Aframax	Panamax
0,8	0,589802	0,578479	0,555711
0,87	0,610132	0,592322	0,624769
0,94	0,612901	0,612521	0,641793

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 24 - Gráfico de Frequência Natural de *Heave* em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3



Fonte: elaborado pelo autor.

É possível observar no gráfico acima o comportamento anômalo da frequência natural de heave e o coeficiente de bloco para as diferentes classes – a classe Aframax apresenta uma função polinomial positiva enquanto que o Suezmax e Panamax tem polinômio interpolador negativo. Este comportamento foi observado também com o parâmetro de frequência natural de roll, mas não foi possível obter explicação sobre esses comportamentos.

IV. A partir da definição do B/T, coeficiente de bloco e classe pelo usuário é possível obter, portanto, os valores de frequência natural de *heave* para o navio.

#### 7.2.4. Regressão para Frequência Natural de Roll

Mais uma vez, os dados de Frequência Natural de *Roll*, obtidos pelo programa *Maxsurf Motions Advanced*, foram utilizados para obtenção da regressão matemática, de forma a encontrar este parâmetro para qualquer valor da razão B/T, coeficiente de bloco e classe estudados.

Tabela 18 - Frequência Natural de *Roll* dos 27 modelos

Navio	$\omega_n Roll$	Cb		B/T
1	0,653	0,8		2,4
2	0,556	0,8	Suezmax	3,5
3	0,542	0,8		4,6
4	0,651	0,8		2,4
5	0,551	0,8	Aframax	3,5
6	0,596	0,8		4,6
7	0,533	0,8		2,4
8	0,576	0,8	Panamax	3,5
9	0,633	0,8		4,6
10	0,644	0,87		2,4
11	0,591	0,87	Suezmax	3,5
12	0,578	0,87		4,6
13	0,649	0,87		2,4
14	0,571	0,87	Aframax	3,5
15	0,607	0,87		4,6
16	0,571	0,87		2,4
17	0,647	0,87	Panamax	3,5
18	0,613	0,87		4,6
19	0,658	0,94		2,4
20	0,591	0,94	Suezmax	3,5
21	0,593	0,94		4,6
22	0,627	0,94		2,4
23	0,6	0,94	Aframax	3,5
24	0,571	0,94		4,6
25	0,638	0,94		2,4
26	0,642	0,94	Panamax	3,5
27	0,633	0,94		4,6

Fonte: elaborado pelo autor.

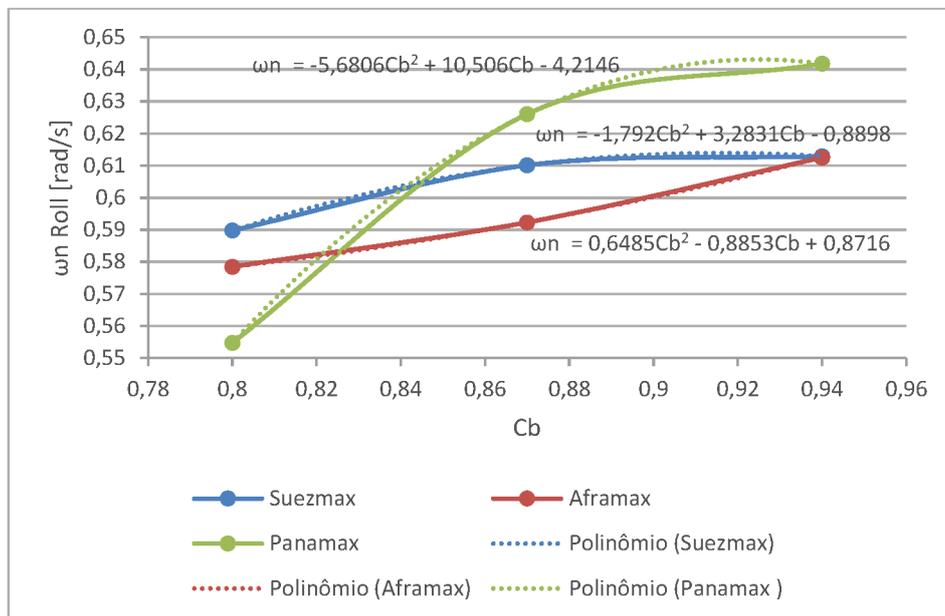
- I. Gráfico relacionando Frequência Natural de *Roll* dos modelos e B/T.
- II. Criação de linhas de tendência polinomiais de segundo grau para interpolação das curvas de  $\omega_{n,roll}(\frac{B}{T})$ .
- III. Obtenção de valores de frequências naturais de *roll*, para os valores de coeficiente de bloco 0,80, 0,87 e 0,94, de cada uma das classes, fixando um B/T.

Tabela 19 - Valores de frequência natural de *roll* obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

	Suezmax	Aframax	Panamax
0,8	0,589802	0,578479	0,554719
0,87	0,610132	0,592322	0,626091
0,94	0,612901	0,612521	0,641793

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 25 - Gráfico de Frequência Natural de *Roll* em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3



Fonte: elaborado pelo autor.

IV. A partir da definição do B/T, coeficiente de bloco e classe pelo usuário é possível obter, portanto, os valores de frequência natural de *roll* para o navio.

#### 7.2.5. Interpolação para Comportamento em Mar utilizando Redes Neurais Artificiais

Outro método utilizado para determinação do comportamento do navio nos graus de liberdade de *heave* e *roll* foi o algoritmo de redes neurais artificiais implementado pelo programa *Synapse*. A partir dos dados de coeficiente de bloco, comprimento, boca, calado, massa adicional, área de linha d'água e frequência natural dos 27 modelos, obtidos por intermédio de ferramentas anteriormente citadas, foi

possível obter a correlação entre estes parâmetros. As variáveis de entrada selecionadas para análise foram  $C_B$ ,  $L$ ,  $B$  e  $T$  e as saídas desejadas foram  $Ma$ ,  $A_{wl}$  e  $\omega_n$ . Foram realizadas duas simulações, por conseguinte, uma para cada grau de liberdade em análise, tendo em vista que ambas frequências naturais, embora coincidentes na maioria dos modelos, não são sempre equivalentes.

Tabela 20 - Tabela utilizada como entrada no programa Synapse para simulação de redes neurais artificiais como forma de obtenção da frequência natural de *heave*

$C_B$	L [m]	B [m]	T [m]	Ma ( $\omega_n$ ) [t]	Awl [m <sup>2</sup> ]	$\omega_n$ [rad/s]
0,8	274,5	48,07356	20,03065	85866,97	11678,4	0,653
0,8	274,5	48,07356	13,7353	61274,9	11856,53	0,556
0,8	274,5	48,07356	10,45077	46647,7	12167,61	0,542
0,8	250	44,01408	18,3392	59546,63	9755,874	0,651
0,8	250	44,01408	12,57545	48892,49	9952,255	0,551
0,8	250	44,01408	9,568279	83609,9	10239,12	0,596
0,8	228	32,11268	13,38028	23669,3	6609,322	0,536
0,8	228	32,11268	9,17505	43317,16	6865,109	0,576
0,8	228	32,11268	6,981017	66872,05	6665,089	0,633
0,87	274,5	48,07356	20,03065	143824,5	12450,85	0,644
0,87	274,5	48,07356	13,7353	126909	12517,56	0,591
0,87	274,5	48,07356	10,45077	135488,1	12471,48	0,578
0,87	250	44,01408	18,3392	115635,9	10418,25	0,649
0,87	250	44,01408	12,57545	112268,4	10429,44	0,571
0,87	250	44,01408	9,568279	85657,08	10398,39	0,607
0,87	228	32,11268	13,38028	48472,94	6938,816	0,567
0,87	228	32,11268	9,17505	66218,17	6907,462	0,647
0,87	228	32,11268	6,981017	38328,03	6826,815	0,613
0,928	274,5	48,07356	20,03065	193774,8	12564,81	0,658
0,918	274,5	48,07356	13,7353	170159,7	12536,02	0,591
0,908	274,5	48,07356	10,45077	134506,9	12504,23	0,593
0,926	250	44,01408	18,3392	121858,5	10471,14	0,627
0,915	250	44,01408	12,57545	110774,7	10443,97	0,6
0,905	250	44,01408	9,568279	77004,51	10412,93	0,571
0,916	228	32,11268	13,38028	54476,38	6947,214	0,638
0,902	228	32,11268	9,17505	60756,38	6915,997	0,642
0,897	228	32,11268	6,981017	63039,42	6839,013	0,633

Fonte: elaborado pelo autor.

Na planilha acima, utilizada na análise de *heave*, as linhas representam os modelos e as colunas as variáveis de análise, sendo as quatro primeiras as entradas e as três últimas, as saídas.

O mesmo raciocínio foi empregado para obtenção da correlação entre as variáveis  $C_B$ ,  $L$ ,  $B$  e  $T$  e a frequência natural de *roll*. Os parâmetros massa adicional e área de linha d'água foram excluídos desta análise por não estarem inclusos na formulação analítica de frequência natural de *roll*.

Porém, na formulação analítica de *roll* tem-se a altura metacêntrica, conforme formulação discutida na seção 2.4. Porém, este parâmetro, essencial para obtenção da frequência natural de *roll* por método analítico, será discutido em seções posteriores. Desta forma este parâmetro não entrou nas correlações, pois uma rede neural exclusiva foi simulada para o mesmo.

Tabela 21 - Tabela utilizada como entrada no programa Synapse para simulação de redes neurais artificiais como forma de obtenção da frequência natural de *roll*

$C_B$	L [m]	B [m]	T [m]	$\omega_n$ [rad/s]
0,8	274,5	48,07356	20,03065	0,653
0,8	274,5	48,07356	13,7353	0,556
0,8	274,5	48,07356	10,45077	0,542
0,8	250	44,01408	18,3392	0,651
0,8	250	44,01408	12,57545	0,551
0,8	250	44,01408	9,568279	0,596
0,8	228	32,11268	13,38028	0,533
0,8	228	32,11268	9,17505	0,576
0,8	228	32,11268	6,981017	0,633
0,87	274,5	48,07356	20,03065	0,644
0,87	274,5	48,07356	13,7353	0,591
0,87	274,5	48,07356	10,45077	0,578
0,87	250	44,01408	18,3392	0,649
0,87	250	44,01408	12,57545	0,571
0,87	250	44,01408	9,568279	0,607
0,87	228	32,11268	13,38028	0,571
0,87	228	32,11268	9,17505	0,647
0,87	228	32,11268	6,981017	0,613
0,928	274,5	48,07356	20,03065	0,658
0,918	274,5	48,07356	13,7353	0,591
0,908	274,5	48,07356	10,45077	0,593
0,926	250	44,01408	18,3392	0,627
0,915	250	44,01408	12,57545	0,6

0,905	250	44,01408	9,568279	0,571
0,916	228	32,11268	13,38028	0,638
0,902	228	32,11268	9,17505	0,642
0,897	228	32,11268	6,981017	0,633

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise de redes neurais foi então realizada utilizando quatro variáveis de entrada para *heave* e *roll*; uma saída para *roll* (problema mono-objetivo) três saídas para *heave* (multiobjetivo).

O número de camadas internas e de neurônios por camada permaneceram como o padrão do programa, 2 e 10, respectivamente. O número de ciclos para ambas análises foi de cem milhões de ciclos.

Abaixo a ilustração dos resultados obtidos na análise para *heave* e *roll* utilizando dados de entrada do navio 10 e uma comparação entre os resultados obtidos por intermédio do algoritmo de redes neurais e aqueles obtidos pelo programa *Maxsurf Motions*, este último adotado como referência para o cálculo do erro.

Tabela 22 - Resultados obtidos para *heave* pelo método de redes neurais artificiais para o navio 10

	Entradas	Saídas	Synapse	Maxsurf Motions	Erro
Cb	0,87	Ma	143837,9 t	143824,5 t	0,009%
L	274,5	Awl	12451 m <sup>2</sup>	12450,85 m <sup>2</sup>	0,001%
B	48,07356	wn	0,644024 rad/s	0,644 rad/s	0,004%
T	20,03065				

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 23 - Resultados obtidos para *roll* pelo método de redes neurais artificiais para o navio 10

	Entradas	Saídas	Synapse	Maxsurf Motions	Erro
Cb	0,87	wn	0,644 rad/s	0,644 rad/s	0,000%
L	274,5				
B	48,07356				
T	20,03065				

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 7.2.6. Interpolação para Comportamento em Mar utilizando formulação analítica

Na seção 2.4 fundamentação teórica, uma formulação para as frequências naturais de *heave* e *roll* foi abordada, de forma a obter estes parâmetros de maneira analítica (Equações 12 e 13).

Foi possível então determinar as frequências de *heave* e *roll* desta forma. Inserindo novamente os dados do modelo 10, as frequências obtidas pelos três métodos citados nas seções anteriores são as que seguem:

Tabela 24 - Frequências naturais obtidas pelos métodos de regressão, redes neurais e analítico para o modelo 10.

Frequência Natural de <i>Heave</i>		
Redes Neurais	0,6440	rad/s
Regressão	0,6440	rad/s
Analítico	0,574	rad/s
<b>Referência <sup>7</sup></b>	<b>0,644</b>	<b>rad/s</b>
Frequência Natural de <i>Roll</i>		
Redes Neurais	0,6440	rad/s
Regressão	0,6440	rad/s
Analítico	0,458	rad/s
<b>Referência</b>	<b>0,644</b>	<b>rad/s</b>

Fonte: elaborado pelo autor.

<sup>7</sup> Valores de referência obtidos no programa *Maxsurf Motions Advanced*

## 8. ESTABILIDADE

A estabilidade de uma embarcação pode ser avaliada de acordo com os parâmetros braço de endireitamento (GZ), altura metacêntrica (GM) e KM. Estes dados foram obtidos para os 27 modelos utilizando o programa *Maxsurf Stability Advanced*, análise que será detalhadamente descrita na seção a seguir.

### 8.1. Simulação da Estabilidade dos Modelos

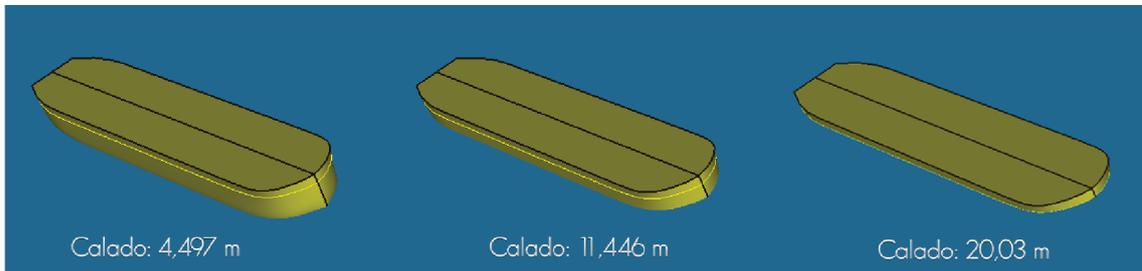
Dentro do programa *Maxsurf Stability Advanced* foram utilizadas duas análises para obtenção de parâmetros de estabilidade: *Upright Hydrostatics* e *Large Angle Stability*.

Na primeira, o ângulo de banda é fixado como zero, o trim é inserido pelo usuário e o calado é variado de acordo com as definições inseridas no programa. O deslocamento, centro de flutuação e outras características hidrostáticas são calculadas durante o procedimento. Este tipo de análise permite, por meio da variação do calado, obter as características de interesse GMt e KMt.

O trim foi fixado no valor de zero, de forma a avaliar, exclusivamente, a estabilidade transversal. O calado, por outro lado, foi configurado partindo-se de zero até o máximo valor de calado dos modelos; utilizando 50 valores intermediários de calado dentro deste intervalo foi possível configurar os dados para a análise *Upright Hydrostatics*. O VCG utilizado foi o calculado na seção 7 e o LCG (*Longitudinal Center of Gravity*) foi avaliado pelo próprio programa.

O intervalo para o calado (de 0 m a 20,0 m) permaneceu o mesmo para todas as simulações, embora a maioria dos modelos não atinja este valor de calado, com a finalidade de criar um eixo comparativo equivalente para todos os modelos. Tem-se, portanto, como resultado desta análise, cinquenta valores GMt e KMt, associados a um calado dentro do intervalo fixado pelo usuário.

Figura 26 - Resultado da análise *Upright Hydrostatics* do navio 10, para três valores de calado



Fonte: Maxsurf (2016). Adaptado pelo autor.

Já para a análise *Large Angle Stability*, o deslocamento e o centro de gravidade do navio são especificados em uma janela de *loadcases*. Um intervalo de ângulos de banda é especificado e o *Maxsurf Stability* calcula o braço de endireitamento, GZ, além de outras características hidrostáticas para cada ângulo de banda, equilibrando o deslocamento e a flutuabilidade; se o modelo não tiver trim, como no caso deste trabalho, o equilíbrio é feito entre o centro longitudinal de gravidade (LCG) e o centro longitudinal de flutuação (LCB) de forma que o momento em trim seja zero.

Na janela de *loadcase*, foram então inseridos os dados de deslocamento do modelo em análise na coluna *Total Mass tonne*, obtidos no programa *Maxsurf Modeler*; os valores de *Long. Arm* (LCG) foram aqueles calculados pelo próprio programa na janela *Draft Range*; já o *Vert. Arm* (VCG) é o mesmo utilizado nas análises até agora, calculados na seção 7.

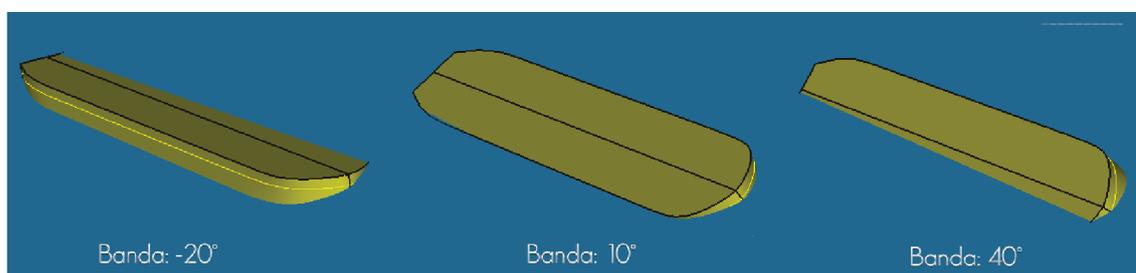
Figura 27 - Exemplo dos dados inseridos na aba *loadcases*, para o navio 10

Loadcase 1										
	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m
1	Lightship	1	234807,000	234807,000			137,167	0,000	11,410	0,000
2	Total Loadca			234807,000	0,000	0,000	137,167	0,000	11,410	0,000
3	FS correction								0,000	
4	VCG fluid								11,410	

Fonte: Maxsurf (2016). Adaptado pelo autor.

A análise de *Large Angle Stability* foi realizada, portanto, variando os ângulos de banda de  $-30^\circ$  a  $180^\circ$ , com um passo de  $10^\circ$ , como mostrado na Figura 28.

Figura 28 - Resultado da análise *Large Angle Stability* do navio 10, para três valores de ângulo de banda



Fonte: Maxsurf (2016). Adaptado pelo autor.

O procedimento foi realizado desta mesma forma para os 27 modelos, utilizando as análises de *Upright Hydrostatics* e *Large Angle Stability*, resultando em uma base de dados cujo conteúdo é resumido na Tabela 25. Importante ressaltar que o número de dados listados na tabela diz respeito a somente um modelo, ou seja, na base de dados real constam 1350 dados de GMt, por exemplo, cinquenta para cada navio.

Tabela 25 - Resumo da base de dados gerada na fase de simulação de estabilidade

Parâmetro	Número de dados	Intervalo	Análise
GMt	50	Calado: 0 m – 20,03 m	Upright Hydrostatics
KMt	50	Calado: 0 m – 20,03 m	Upright Hydrostatics
GZ	22	Ângulo de banda: -30° - 180°	Large Angle Stability

Fonte: elaborado pelo autor.

## 8.2. Interpolação para a Estabilidade

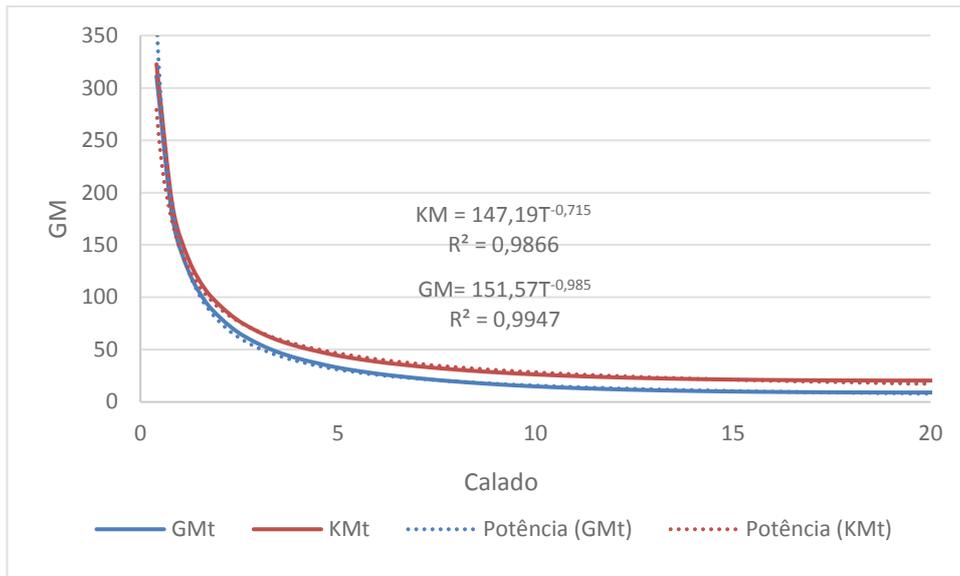
### 8.2.1. Regressão Matemática para GM e KM <sup>8</sup>

O procedimento de regressão para obtenção dos parâmetros GM e KM foi realizado de forma análoga às regressões anteriores. O único fator divergente,

<sup>8</sup> A partir deste ponto, KMt e GMt serão referenciados como KM e GM, respectivamente. Portanto, é preciso ter em mente que, neste texto, estes parâmetros serão sempre características da estabilidade transversal.

entretanto, foi o fato de que o comportamento destes parâmetros em função do calado foi melhor representado por uma função de interpolação de potência, conforme gráfico abaixo para o modelo 10.

Figura 29 - Gráfico de Comportamento de GM e KM em função do calado para o navio 10



Fonte: elaborado pelo autor.

A função de interpolação de potência tem a seguinte fórmula:

$$Y = bX^a \quad (26)$$

Ou, aplicando dentro do contexto deste trabalho,

$$GM = b_{GM}T^{a_{GM}} \quad (27)$$

$$KM = b_{KM}T^{a_{KM}} \quad (28)$$

O objetivo passou a ser então a obtenção das constantes “a” e “b” das funções interpoladoras de potência dos parâmetros GM e KM para qualquer valor de calado, boca, comprimento, coeficiente de bloco e classe, dentro das faixas estudadas no presente trabalho.

Neste tipo de função interpoladora (Equação 26), ocorre uma transformação para um modelo linear. Portanto, sua função característica é transformada na equação abaixo pelo *Excel*:

$$\ln(Y) = \ln(b) + a * \ln(X) \quad (29)$$

Importante frisar que este tipo de abordagem só foi possível pois os valores de GM, KM e calado são exclusivamente positivos. Caso contrário este tipo de interpolação não seria adequado.

Com o auxílio das funções Intercepção, Exponencial, Logaritmo Neperiano e Inclinação do programa, foi possível obter os valores e “a” e “b” para GM e KM dos modelos de maneira expedita.

Os resultados, para GM e KM foram então associados aos parâmetros dimensionais dos navios para prosseguimento da regressão, conforme Tabela 26.

Tabela 26 - Coeficientes “a” e “b” dos parâmetros GM e KM para os modelos

Navio	Cb		GM		KM		B/T
			b	a	b	a	
1	0,8		140,8746	-1,00004	137,239	-0,70548	2,4
2	0,8	Suezmax	146,0427	-0,99777	141,8572	-0,71007	3,5
3	0,8		150,9432	-0,99523	146,1878	-0,71373	4,6
4	0,8		115,4787	-1,01532	113,6095	-0,67494	2,4
5	0,8	Aframax	120,5664	-1,01358	117,9838	-0,68124	3,5
6	0,8		124,6305	-1,01127	121,4624	-0,68542	4,6
7	0,8		52,56833	-1,12997	57,01766	-0,53756	2,4
8	0,8	Panamax	56,38463	-1,12402	59,72181	-0,54804	3,5
9	0,8		56,03121	-1,12962	59,34397	-0,5473	4,6
10	0,87		151,5674	-0,98513	147,1936	-0,71513	2,4
11	0,87	Suezmax	153,9433	-0,99839	148,8215	-0,72297	3,5
12	0,87		153,9413	-0,99839	148,8203	-0,72297	4,6
13	0,87		124,9744	-1,00093	122,1117	-0,68663	2,4
14	0,87	Aframax	125,1814	-1,01909	121,8322	-0,69376	3,5
15	0,87		139,7116	-1,07658	134,0734	-0,7384	4,6
16	0,87		62,46913	-1,17788	64,79228	-0,58909	2,4
17	0,87	Panamax	65,01606	-1,23558	66,87096	-0,61097	3,5
18	0,87		61,03597	-1,22247	63,53802	-0,59292	4,6
19	0,94		173,1159	-1,0756	165,9579	-0,78758	2,4
20	0,94	Suezmax	173,2172	-1,07726	165,9579	-0,78758	3,5
21	0,94		173,3162	-1,07892	165,9563	-0,78758	4,6

22	0,94		141,5614	-1,09712	136,3032	-0,75663	2,4
23	0,94	Aframax	141,6679	-1,09927	136,3032	-0,75663	3,5
24	0,94		141,7444	-1,10087	136,301	-0,75662	4,6
25	0,94		64,65507	-1,25953	67,52778	-0,62533	2,4
26	0,94	Panamax	64,78537	-1,26647	67,52527	-0,62531	3,5
27	0,94		64,85411	-1,26998	67,52398	-0,6253	4,6

Fonte: elaborado pelo autor.

A continuação do procedimento de regressão se deu no sentido de obter os valores de “a” e “b” para GM e KM para qualquer coeficiente de bloco e razão B/T, conforme as equações anteriores. Este procedimento, a partir deste ponto, ocorreu de maneira análoga, portanto, à anteriormente abordada neste trabalho, tanto para o parâmetro GM como para KM. Desta forma o procedimento será apenas enunciado e sua melhor compreensão pode ser feita na seção 6.2.1.

- I. Gráfico relacionando  $a_{GM}$ ,  $a_{KM}$ ,  $b_{GM}$  e  $b_{KM}$  dos modelos e B/T.
- II. Criação de linhas de tendência polinomiais de segundo grau para interpolação das curvas de  $a_{GM}(\frac{B}{T})$ ,  $a_{KM}(\frac{B}{T})$ ,  $b_{GM}(\frac{B}{T})$  e  $b_{KM}(\frac{B}{T})$
- III. Obtenção de valores de  $a_{GM}$ ,  $a_{KM}$ ,  $b_{GM}$  e  $b_{KM}$  para os valores de coeficiente de bloco 0,80, 0,87 e 0,94, de cada uma das classes, fixando um B/T.

Tabela 27 - Valores de  $b_{GM}$  obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

		$b_{GM}$		
	Cb	Suezmax	Aframax	Panamax
	0,8	143,7268	118,3807	55,16686
	0,87	153,1581	123,3117	64,6675
	0,94	173,1714	141,6232	64,73378

Tabela 28 - Valores de  $a_{GM}$  obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

		$a_{GM}$		
	Cb	Suezmax	Aframax	Panamax
	0,8	-0,99883	-1,01444	-1,12529
	0,87	-0,99401	-1,00596	-1,21813
	0,94	-1,07651	-1,09836	-1,26374

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 29 - Valores de  $b_{KM}$  obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

		$b_{KM}$		
Cb	Suezmax	Aframax	Panamax	
0,8	139,7937	116,1065	58,87472	
0,87	148,2835	120,407	66,59697	
0,94	165,9581	136,3035	67,52626	

Fonte: elaborado pelo autor.

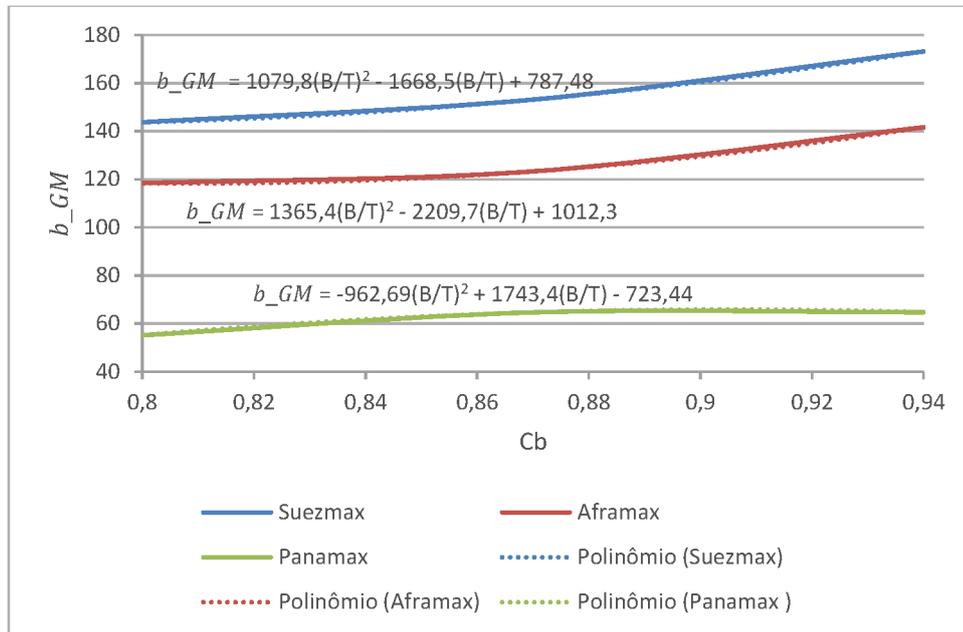
Tabela 30 - Valores de  $a_{KM}$  obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

		$a_{KM}$		
Cb	Suezmax	Aframax	Panamax	
0,8	-0,7081	-0,67864	-0,54467	
0,87	-0,72038	-0,68587	-0,60597	
0,94	-0,78758	-0,75663	-0,62532	

Fonte: elaborado pelo autor.

Com isto foi possível encontrar a correlação entre  $a_{GM}$ ,  $a_{KM}$ ,  $b_{GM}$ ,  $b_{KM}$  e  $C_B$  por intermédio de linhas de tendência polinomiais de segundo grau. Abaixo um exemplo deste comportamento para  $b_{GM}$ , utilizado aqui para ilustração do método.

Figura 30 - Gráfico de  $b_{GM}$  em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3



Fonte: elaborado pelo autor.

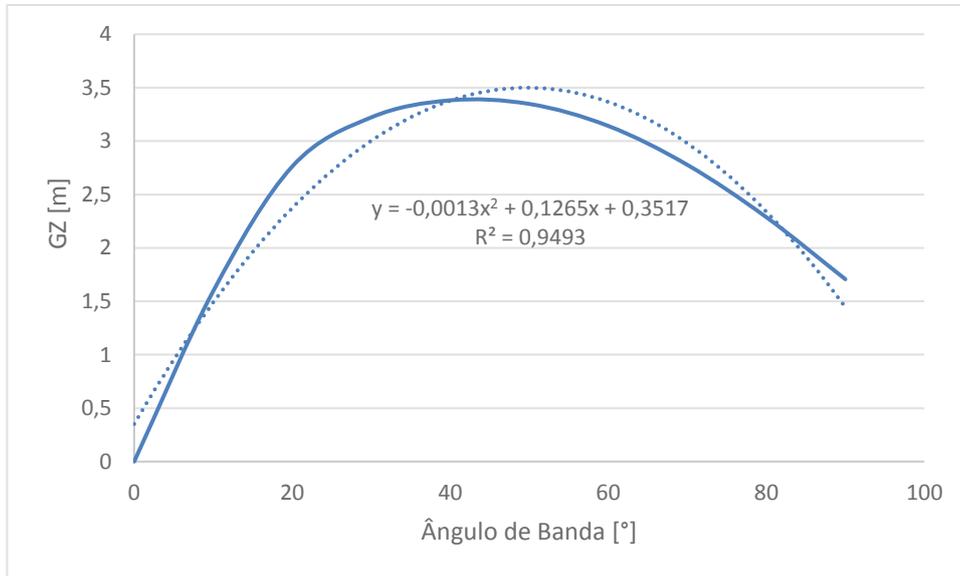
IV. A partir da definição do B/T, coeficiente de bloco e classe pelo usuário é possível obter, portanto, os valores de  $a_{GM}$ ,  $a_{KM}$ ,  $b_{GM}$  e  $b_{KM}$  para qualquer navio dentro da faixa de estudo e, com isso, encontrar os parâmetros de estabilidade GM e KM, conforme Equações 27 e 28.

### 8.2.2. Regressão para Braço de Endireitamento

Os dados coletados na fase de simulação de estabilidade foram compilados em uma base dados, conforme Seção 8.

Cada braço de endireitamento está relacionado a um ângulo de banda e este comportamento pode ser aproximado por uma função polinomial de segundo grau, com aderências satisfatórias, conforme ilustrado abaixo para o modelo 10.

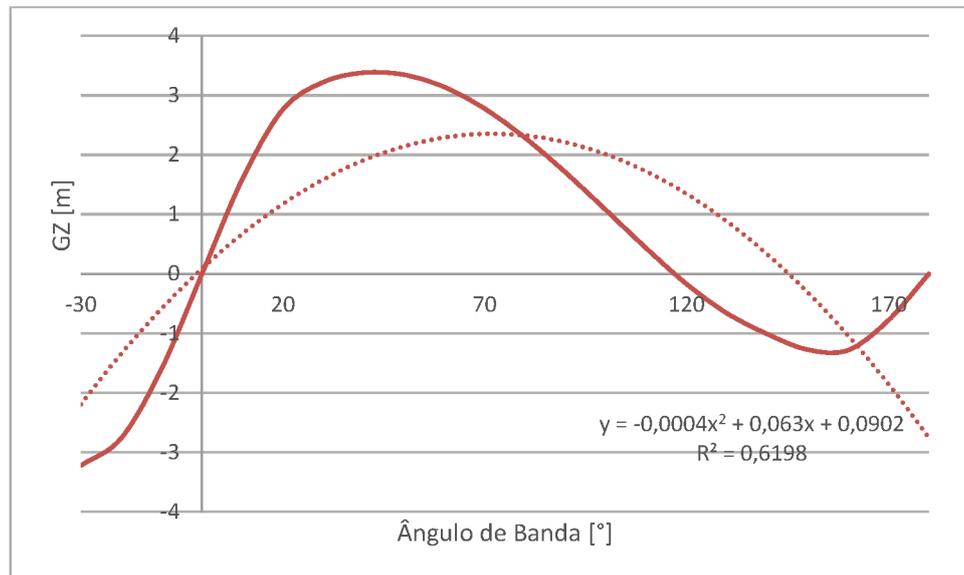
Figura 31 - Gráfico de Braço de endireitamento (GZ) em função do ângulo de banda para o intervalo de 0° a 90° do modelo 10



Fonte: elaborado pelo autor.

É possível notar que os ângulos de banda contidos no eixo das abcissas estão dentro do intervalo de 0° a 90°, embora nas simulações realizadas este intervalo era inicialmente de -30° a 180°. Optou-se por utilizar esta faixa de ângulos de banda, uma vez que os valores de GZ para os ângulos fora da faixa escolhida assumem valores negativos, o que polui suas linhas de tendência, fazendo com que estas obtenham aderências menores, conforme Figura 32.

Figura 32 - Gráfico de Braço de endireitamento (GZ) em função do ângulo de banda para o intervalo de -30° a 180° do modelo 10



Fonte: elaborado pelo autor.

Utilizando, portanto, o intervalo de ângulo de banda de 0° a 90°, as linhas de tendência polinomiais de segundo grau para cada um dos modelos puderam ser obtidas com auxílio da função *ProjLin* no Excel, pela qual foi possível determinar coeficientes dos polinômios interpoladores do comportamento de  $GZ(\theta)$ , cuja equação característica é mostrada abaixo.

$$GZ = a\theta^2 + b\theta + c \quad (30)$$

Em que  $\theta$  é o ângulo de banda e GZ o braço de endireitamento.

Tabela 31 - Coeficientes “a” “b” e “c” do polinômio interpolador do comportamento de  $GZ(\theta)$  para os modelos

Navio	Cb		a	b	c	B/T
1	0,8		-0,00122	0,120107	0,316473	2,4
2	0,8	Suezmax	-0,00276	0,263341	-0,19572	3,5
3	0,8		-0,00351	0,328845	-0,12341	4,6
4	0,8		-0,00139	0,138509	0,073982	2,4
5	0,8	Aframax	-0,00255	0,248128	-0,36104	3,5
6	0,8		-0,0031	0,295241	-0,21658	4,6

7	0,8		-0,00098	0,112825	-0,48226	2,4
8	0,8	Panamax	-0,00127	0,13892	-0,40607	3,5
9	0,8		-0,00128	0,134178	-0,03011	4,6
10	0,87		-0,00127	0,126488	0,351673	2,4
11	0,87	Suezmax	-0,00286	0,272485	-0,16947	3,5
12	0,87		-0,00357	0,335807	-0,13609	4,6
13	0,87		-0,00146	0,146259	0,105973	2,4
14	0,87	Aframax	-0,0026	0,252957	-0,3558	3,5
15	0,87		-0,00312	0,296474	-0,27064	4,6
16	0,87		-0,00106	0,120998	-0,50704	2,4
17	0,87	Panamax	-0,00126	0,137141	-0,48662	3,5
18	0,87		-0,00127	0,132328	-0,14123	4,6
19	0,94		-0,00118	0,117519	0,329518	2,4
20	0,94	Suezmax	-0,00281	0,267989	-0,24402	3,5
21	0,94		-0,00354	0,332196	-0,23337	4,6
22	0,94		-0,00136	0,136245	0,078291	2,4
23	0,94	Aframax	-0,00258	0,250514	-0,42333	3,5
24	0,94		-0,0031	0,294501	-0,3253	4,6
25	0,94		-0,00099	0,113325	-0,52878	2,4
26	0,94	Panamax	-0,00125	0,135754	-0,52459	3,5
27	0,94		-0,00132	0,136205	-0,18762	4,6

Fonte: elaborado pelo autor.

O objetivo passou a ser, então, obter “a”, “b” e “c” em função dos parâmetros dimensionais B/T e coeficiente de bloco, seguindo os passos abaixo.

I. Gráfico relacionando os coeficientes “a”, “b” e “c” dos modelos e a razão de aspecto B/T.

II. Criação de linhas de tendência polinomiais de segundo grau para interpolação das curvas de  $a(B/T)$ ,  $b(B/T)$  e  $c(B/T)$ .

As funções interpoladoras de segundo grau foram obtidas utilizando-se o a função *ProjLin* do Excel, o que retornou um vetor cujos valores são os coeficientes do polinômio de segundo grau do comportamento de  $a(B/T)$ ,  $b(B/T)$  e  $c(B/T)$ , de acordo com equacionamento a seguir:

$$a = c_{1,a} \left(\frac{B}{T}\right)^2 + c_{2,a} \left(\frac{B}{T}\right) + c_{3,a} \quad (31)$$

$$b = c_{1,b} \left(\frac{B}{T}\right)^2 + c_{2,b} \left(\frac{B}{T}\right) + c_{3,b} \quad (32)$$

$$c = c_{1,c} \left(\frac{B}{T}\right)^2 + c_{2,c} \left(\frac{B}{T}\right) + c_{3,c} \quad (33)$$

Em que:

$a$ ,  $b$  e  $c$  são os coeficientes da função de interpolação de  $GZ(\theta)$ , conforme Equação 30;

$c_{1,a}$ ,  $c_{2,a}$  e  $c_{3,a}$  são os coeficientes da função de interpolação de  $a(B/T)$ ;

$c_{1,b}$ ,  $c_{2,b}$  e  $c_{3,b}$  são os coeficientes da função de interpolação de  $b(B/T)$ ;

$c_{1,c}$ ,  $c_{2,c}$  e  $c_{3,c}$  são os coeficientes da função de interpolação de  $c(B/T)$ ;

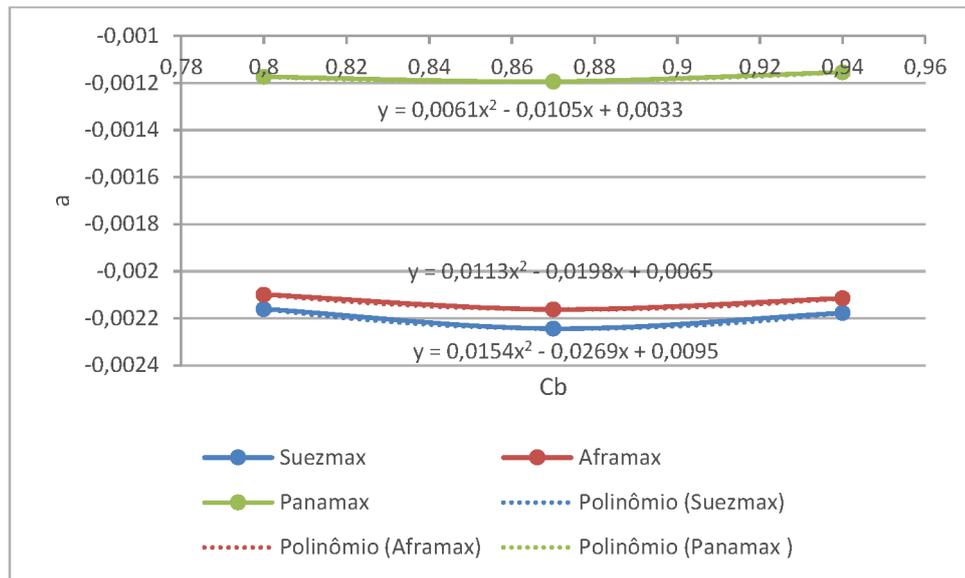
III. Obtenção de valores de “a”, “b” e “c”, para os valores de coeficiente de bloco 0,80, 0,87 e 0,94, de cada uma das classes, fixando um B/T.

Tabela 32 - Coeficientes “a” obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

Cb	a		
	Suezmax	Aframax	Panamax
0,8	-0,00216	-0,0021	-0,00117
0,87	-0,00224	-0,00216	-0,00119
0,94	-0,00218	-0,00211	-0,00115

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 33 - Gráfico de Coeficientes “a” em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3



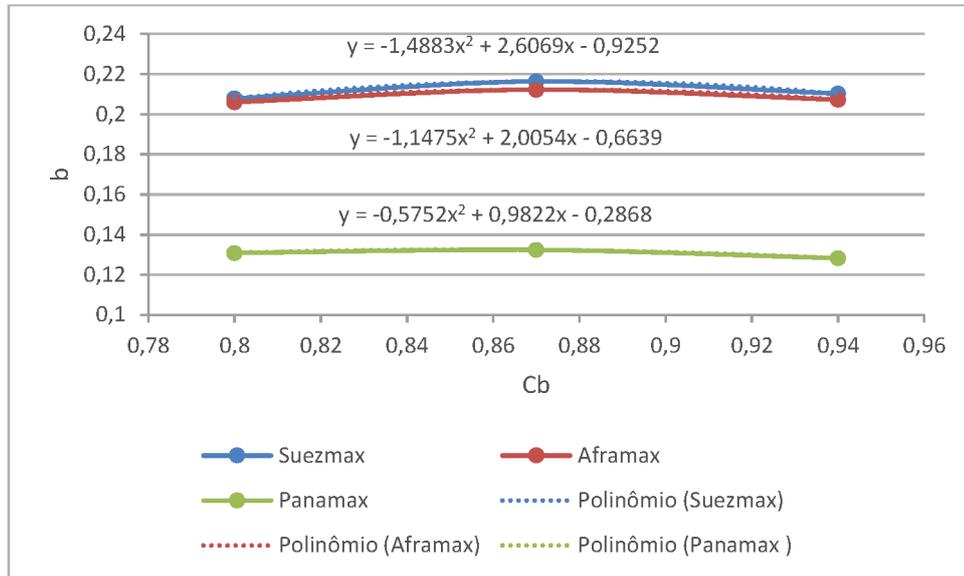
Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 33 - Coeficientes “b” obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

Cb	b		
	Suezmax	Aframax	Panamax
0,8	0,20787	0,20605	0,130881
0,87	0,216372	0,21229	0,132401
0,94	0,210287	0,207286	0,128284

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 34 - Gráfico de Coeficientes “b” em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3



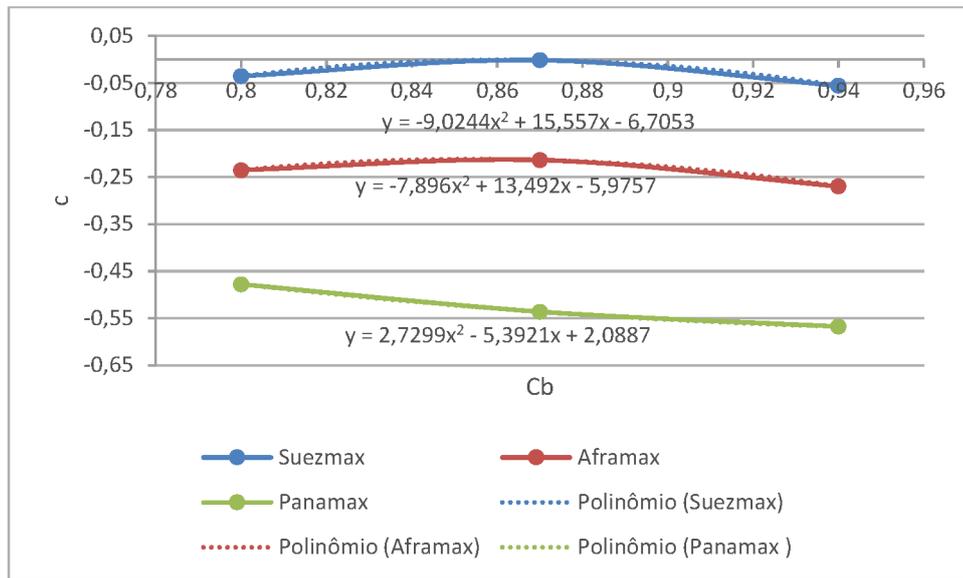
Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 34 - Coeficientes “c” obtidos para uma razão de B/T de 3 para cada um dos valores de coeficientes de bloco

Cb	c		
	Suezmax	Aframax	Panamax
0,8	-0,03536	-0,23514	-0,47787
0,87	-0,00133	-0,21371	-0,53619
0,94	-0,05574	-0,26966	-0,56775

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 35 - Gráfico de Coeficientes “c” em função do coeficiente de bloco para uma razão B/T de 3



Fonte: elaborado pelo autor.

IV. A partir da definição do B/T, coeficiente de bloco e classe pelo usuário é possível obter, portanto, os valores de “a”, “b” e “c” da função interpoladora de  $GZ(\theta)$  e, por conseguinte, encontrar os dados deste parâmetro de estabilidade para qualquer ângulo de banda.

### 8.2.3. Redes Neurais para Obtenção dos Parâmetros de GM, KM e GZ

O programa foi *Synapse* foi executado, também, com o objetivo de estabelecer uma correlação entre os parâmetros dimensionais do navio e sua estabilidade. Para isso, foram rodadas rotinas para obtenção de GM e KM, contendo quatro entradas: coeficiente de bloco, comprimento, boca e calados. Este último item, por sua vez, variava dentro do intervalo de 0 a 20 metros. Com isto foi possível obter os valores de GM e KM para qualquer valor das entradas dentro dos respectivos intervalos especificados.

O parâmetro GZ, por outro lado, teve como entradas coeficiente de bloco, comprimento, calado (fixo, como em todas as outras simulações, exceto a de obtenção de KM e GM) e ângulo de banda, cujo intervalo englobava os ângulos de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .

Para ambas simulações foram utilizados um milhão de ciclos, com duas camadas internas e dez neurônios por camada.

## 9. FERRAMENTA

Em posse dos dados de regressões e redes neurais artificiais foi possível desenvolver uma ferramenta cujo objetivo seria compilar todas as análises realizadas até este momento de forma que, a partir dos parâmetros dimensionais de qualquer navio, pudesse ser possível encontrar características de resistência ao avanço, comportamento em mar, estabilidade transversal e capacidade de carga. Além disso, também seria possível estabelecer um comparativo entre os resultados obtidos pelos diferentes métodos, inclusive em relação aos modelos analíticos propostos pelas bibliografias especializadas, mencionadas no Capítulo 2, de Fundamentação Teórica.

O programa escolhido para implementação desta análise foi o Excel, no qual foi concebida uma interface para que a utilização da ferramenta se desse de maneira mais intuitiva. Para isso, foram utilizados os recursos Macro e *UserForm* disponíveis no programa do pacote Office.

Macro é um conjunto de ações que, ao ser gravado pelo programa, pode ser repetido com um simples clique, sendo de grande utilidade quando se deseja que um comando seja realizado diversas vezes. O recurso disponibiliza um editor de códigos em que é possível programar as ações a serem executadas de acordo com as células.

Dentro do editor de Macros, por outro lado, existe o recurso *Userform*, na qual pode ser criada uma interface para aquele conjunto de ações a serem executadas. A interface foi então concebida de acordo com os elementos que o recurso disponibiliza. A interface obtida consta na Figura 366.

Figura 36 - Interface da ferramenta

Entrada de Dados Navio Petroleiro

Classe:

Comprimento = 274,5 m; Boca = 48,07 m

Cb:

Calado:  m

Velocidade de Serviço:  nós

Obter por Regressão

Área Molhada:  m<sup>2</sup>

Obter por Regressão

Área de Linha D'água:  m<sup>2</sup>

Obter por Regressão

Massa Adicional de Heave:  t

Use ponto como separador decimal

Encontrar Parâmetros

Fonte: Excel (2016). Adaptado pelo autor.

Ao clicar no botão “Encontrar Parâmetros” uma série de *loopings* e comandos são realizados, no sentido de inserir os dados do formulário na planilha e plotar os resultados para as análises de resistência ao avanço, comportamento em mar, estabilidade e capacidade de carga. Os códigos utilizados nesse processamento encontram-se disponíveis no Apêndice F.

No capítulo seguinte é possível visualizar o funcionamento da ferramenta, a partir de dados de um novo navio, com a finalidade de validação do método.

Figura 37 - Entrada de dados na Ferramenta

Classe	Panamax		
Cb	0,8		
Calado	12 m		
Área Molhada Regressão	10688,88 m <sup>2</sup>	Área Molhada Inserida	m <sup>2</sup>
Velocidade	20,00 nós		
Comprimento	228,00 m		
Boca	32,11 m		
B/T	2,68		
Regressão Área de linha d'água	6716,28 m <sup>2</sup>	Área de linha d'água Inserida	m <sup>2</sup>
Regressão Massa Adicional	28229,13 t	Massa Adicional Inserida	t
Ct	3,52		
Resistência ao Avanço	2043,59 kN		
Capacidade de Carga	32292,29 t		

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 38 - Interface de Resistência ao Avanço da Ferramenta

V [nós]	Regressão	Neurais	Holtrop
0	0	5,998329	0
1	5,829388	12,19778	4,10
2	22,32776	23,96957	15,02
3	48,21996	43,9249	32,19
4	82,51022	74,17153	55,35
5	124,4821	115,5282	84,31
6	173,6986	167,3152	118,95
7	230,0021	227,8755	159,18
8	293,5143	295,4609	204,96
9	364,6363	368,9801	256,38
10	444,0485	448,355	313,89
11	532,7108	534,5315	378,50
12	631,8625	629,3144	452,09
13	743,0222	735,1758	537,57
14	867,9877	855,1118	638,98
15	1008,837	992,5692	761,47
16	1167,925	1151,444	911,15
17	1347,89	1336,169	1094,83
18	1551,647	1551,951	1319,75
19	1782,39	1805,316	1593,53
20	2043,594	2105,229	1926,26



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 39 - Interface de Comportamento em Mar da Ferramenta

<i>Awl Área de linha d'água</i>	6716,281 m <sup>2</sup>
<i>Massa Adicional</i>	28229,128 t
<i>Volume Deslocado</i>	70282,368 m <sup>3</sup>
<i>GMt</i>	3,274 m

**Frequência Natural de Heave**

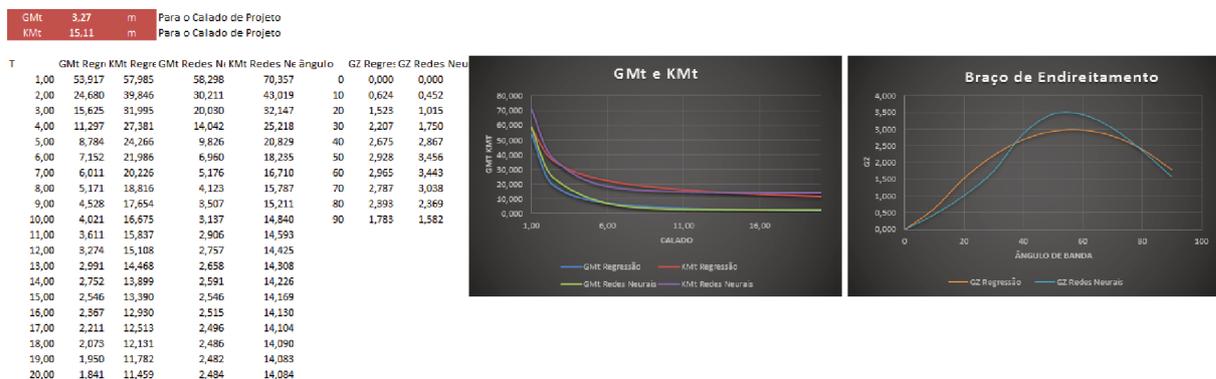
<b>Redes Neurais</b>	0,536 rad/s
<b>Regressão</b>	0,544 rad/s
<b>Análítico</b>	0,821 rad/s

**Frequência Natural de Roll**

<b>Redes Neurais</b>	0,533 rad/s
<b>Regressão</b>	0,542 rad/s
<b>Análítico</b>	0,441 rad/s

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 40 - Interface de Comportamento em Mar da Ferramenta



Fonte: elaborado pelo autor.

Importante salientar as limitações dimensionais do método e da ferramenta, conforme Tabela 6, abordada na Seção 5.1, e aqui reproduzida.

Tabela 35 - Faixa de parâmetros a que os métodos propostos atendem

Classes	$C_B$	L/B	B/T
Panamax, Aframax e Suezmax	0,8 – 0,94	5,71 (Suezmax), 5,68 (Aframax) e 7,1 (Panamax)	2,4 – 4,6

Fonte: elaborado pelo autor.

## 10. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 10.1. Validação da Ferramenta

Um novo petroleiro, com propriedades intermediárias entre as estudadas, foi concebido com a finalidade de estudar o comportamento das análises e ferramenta e, desta forma, validar os métodos empregados.

Tabela 36 - Propriedades do Navio de Validação

Classe	Aframax
Comprimento	250 m
Boca	44 m
Calado	13 m
Coeficiente de Bloco	0,85
B/T	3,39
L/B	5,68

Fonte: elaborado pelo autor.

Este navio foi então simulado nos programas do pacote *Maxsurf: Modeler, Resistance, Motions Advanced e Stability Advanced*, com a finalidade de obter os dados de resistência ao avanço, área molhada, área de linha d'água, massa adicional de *heave*, frequência natural de *heave*, frequência natural de *roll*, altura metacêntrica, KM e braço de endireitamento e, com isso, comparar os resultados obtidos com a ferramenta e os resultados de referência, simulados pelos programas.

- Comparação entre os Métodos de Área de Linha d'Água, Massa Adicional e Superfície Molhada

Tabela 37 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção de Área de Linha d'Água, Massa Adicional e Superfície Molhada para o Navio de Validação

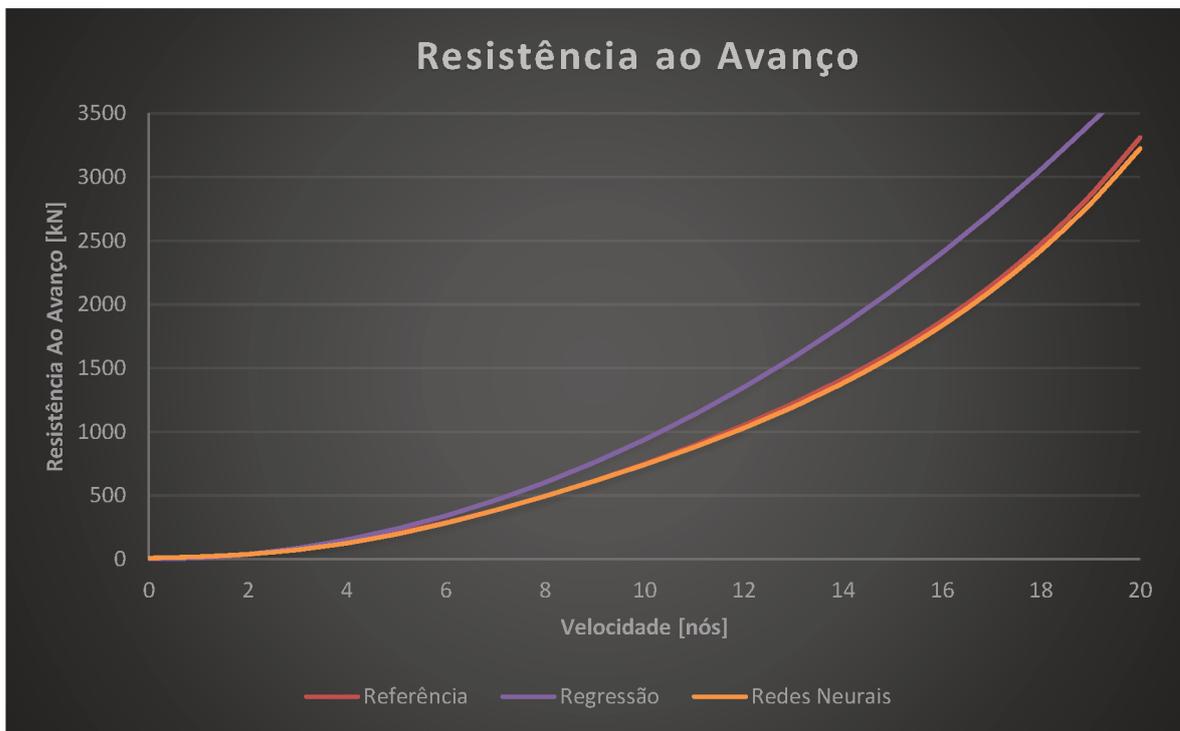
	Referência	Regressão	Erro Regressão	Redes Neurais	Erro Redes Neurais
Área de linha d'água	10340,076 m <sup>2</sup>	10336,21 m <sup>2</sup>	0,04%	10423,29 m <sup>2</sup>	0,80%

Massa Adicional	89375,176 t	101687,9 t	13,78%	56371,78 t	36,93%
Superfície Molhada	15292,566 m <sup>2</sup>	15173,59 m <sup>2</sup>	0,78%		

Fonte: elaborado pelo autor.

- Comparação entre os Métodos de Obtenção de Resistência ao Avanço

Figura 41 - Gráfico comparativo entre as resistências obtidas para o Navio de Validação



Fonte: elaborado pelo autor.

É possível observar que curvas de resistência obtidas via redes neurais coincidem satisfatoriamente com os dados de referência, obtidas pelo *Maxsurf Resistance*. Abaixo os erros obtidos pelos métodos, para cada um dos valores de calado, bem como seu valor médio.

Tabela 38 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção de Resistência ao Avanço para o Navio de Validação

Velocidade [nós]	Erro	
	Regressão	Redes Neurais

2	7,3%	8,3%
3	10,9%	6,0%
4	13,8%	6,8%
5	16,2%	4,4%
6	18,2%	1,8%
7	20,1%	0,3%
8	21,9%	0,1%
9	23,7%	0,2%
10	25,4%	0,9%
11	26,9%	1,7%
12	28,3%	2,2%
13	29,4%	2,4%
14	29,9%	2,3%
15	29,8%	2,1%
16	28,7%	1,9%
17	26,7%	1,9%
18	23,6%	2,0%
19	19,6%	2,4%
20	14,9%	2,6%
		<i>Erro Médio</i>
	20,8%	2,65%

Fonte: elaborado pelo autor.

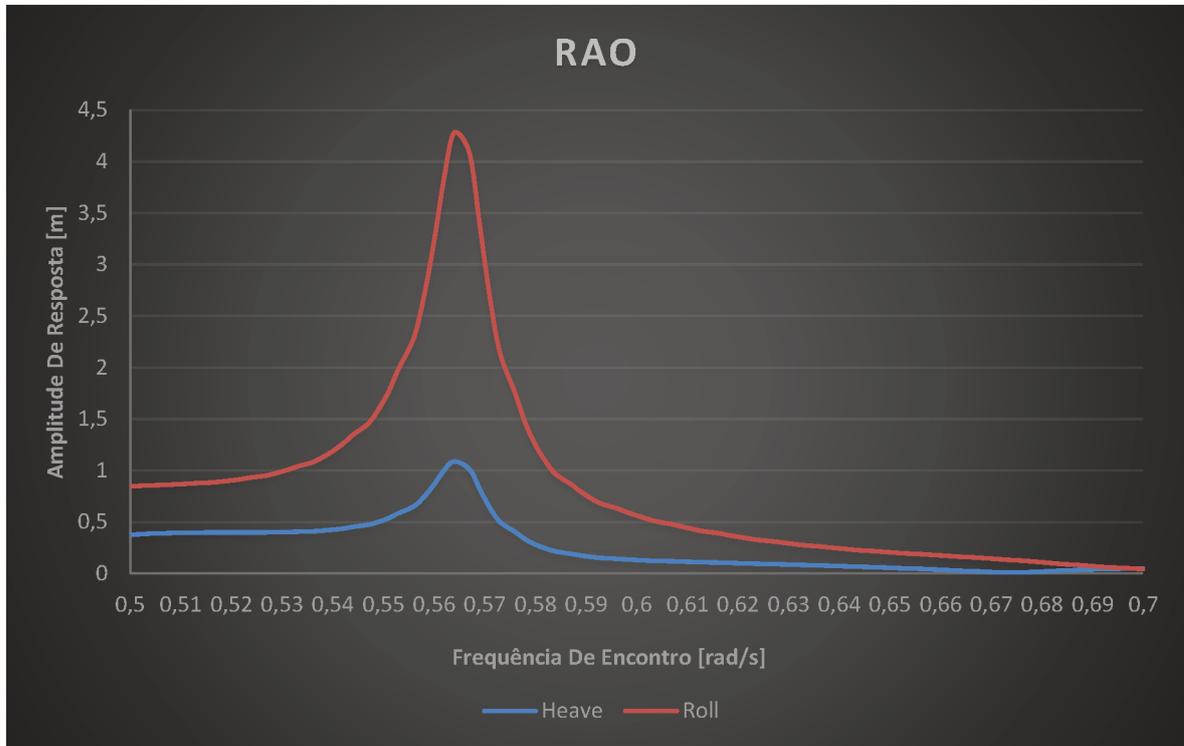
O método de regressão apresentou erros menores às menores velocidades. Apesar de o método apresentar erros consideráveis às velocidades de serviço típicas de petroleiros, a regressão matemática para este caso resultou em valores de resistência ao avanço superiores aos simuladas pelo programa, tomadas aqui como referência. Desta forma, em se utilizando os dados obtidos por regressão matemática, para este caso, estar-se-ia optando por uma abordagem mais conservadora do problema.

As simulações por redes neurais obtiveram erros consideráveis para as primeiras velocidades uma vez que seu problema trabalha por aproximações na superfície de resposta, que se inicia pelos valores médios e cujas fronteiras são aproximadas à medida em que o número de ciclos se desenvolve. Desta forma, um número maior de ciclos provavelmente solucionaria este problema de fronteira.

Entretanto, os valores de resistência ao avanço obtidos por redes neurais são considerados robustos mesmo com este problema de fronteira. Para as velocidades de serviço típicas – para as quais, de fato, a motorização é projetada – os erros assumem valores satisfatórios.

### 10.1.1. Comparação entre os Métodos de Obtenção de Comportamento em Mar

Figura 42 - Gráfico de Operador de Amplitude de Resposta para o Navio de Validação



Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores obtidos por intermédio do programa *Maxsurf Motions Advanced* para frequência natural de *heave* e *roll* do navio de validação foram coincidentes, no valor de 0,564 rad/s. Com isto, foi possível comparar os resultados obtidos pelo programa (referência) e a ferramenta proposta.

Tabela 39 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção de Frequência Natural para o Navio de Validação

Frequência Natural de <i>Heave</i>			
Referência	0,564	rad/s	Erro
Redes Neurais	0,545	rad/s	3,4%
Regressão	0,567	rad/s	0,6%
Analítico	0,678	rad/s	20,2%
Frequência Natural de <i>Roll</i>			
Referência	0,564	rad/s	

Redes Neurais	0,550	rad/s	2,5%
Regressão	0,567	rad/s	0,6%
Analítico	0,540	rad/s	4,2%

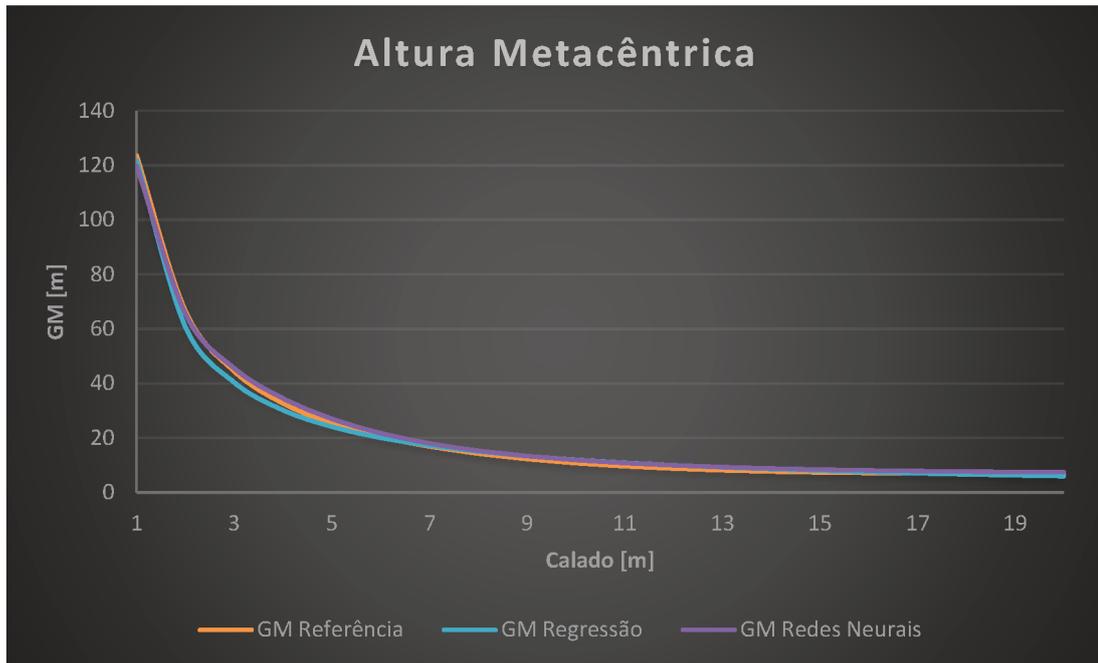
Fonte: elaborado pelo autor.

O método analítico proposto Lewis (1988), Equação 12, obteve resultado menos satisfatório entre os propostos, com erro superior a 20%. Isto se justifica no fato de que o modelo analítico é generalista e simplificado, suscetível a hipóteses de massa adicional e raio de giração. O método de regressão matemática, porém, aproximou-se muito do valor de referência, com diferença de 0,6% para ambos movimentos.

#### 10.1.2. Comparação entre os Métodos de Obtenção de Estabilidade

A altura metacêntrica, KM e o braço de endireitamento foram simulados no programa *Maxsurf Stability Advanced* com parâmetros de modelagem muito semelhantes aos das simulações realizadas neste programa, discutidas com maior precisão na seção 8. O único fator distinto entre as simulações, entretanto, foi o valor do centro vertical de gravidade, calculado pelas equações 23, 24 e 25, resultando em um VCG de 11,515 m. O gráfico abaixo ilustra os resultados obtidos nos diferentes métodos, em relação aos valores de GM, KM e GZ de referência. Os dados para os três parâmetros serão primeiramente apresentados e discutidos no final desta seção.

Figura 43 - Gráfico de Altura Metacêntrica para o Navio de Validação



Fonte: elaborado pelo autor.

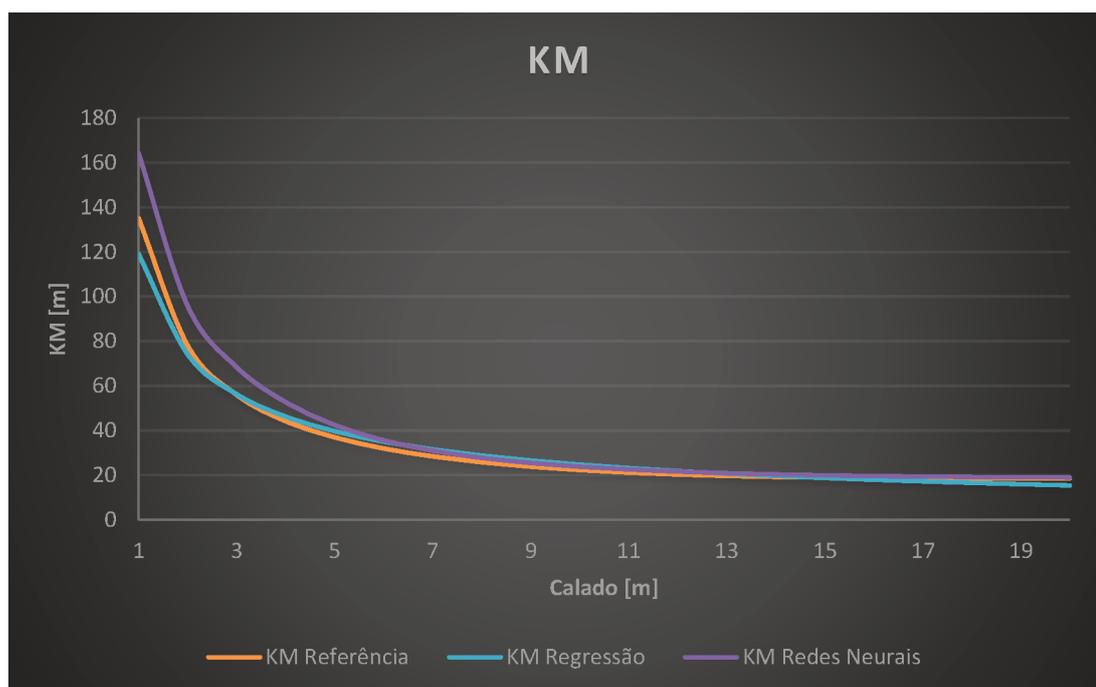
Tabela 40 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção da Altura Metacêntrica para o Navio de Validação

Erro para Altura Metacêntrica		
Calado	Regressão	Redes Neurais
1	1,4%	3,0%
2	8,8%	1,5%
3	9,2%	2,5%
4	7,5%	5,6%
5	5,2%	6,2%
6	1,7%	6,5%
7	1,8%	6,6%
8	5,4%	7,4%
9	8,7%	8,8%
10	11,4%	10,6%
11	13,2%	12,2%
12	13,8%	13,5%
13	13,2%	14,3%
14	11,3%	14,5%
15	8,4%	14,1%
16	4,6%	13,1%
17	0,1%	11,7%
18	4,9%	9,8%
19	10,1%	7,6%

20	15,4%	5,2%
	<i>Erro Médio</i>	
	7,8%	8,7%

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 44 - Gráfico de KM para o Navio de Validação



Fonte: elaborado pelo autor.

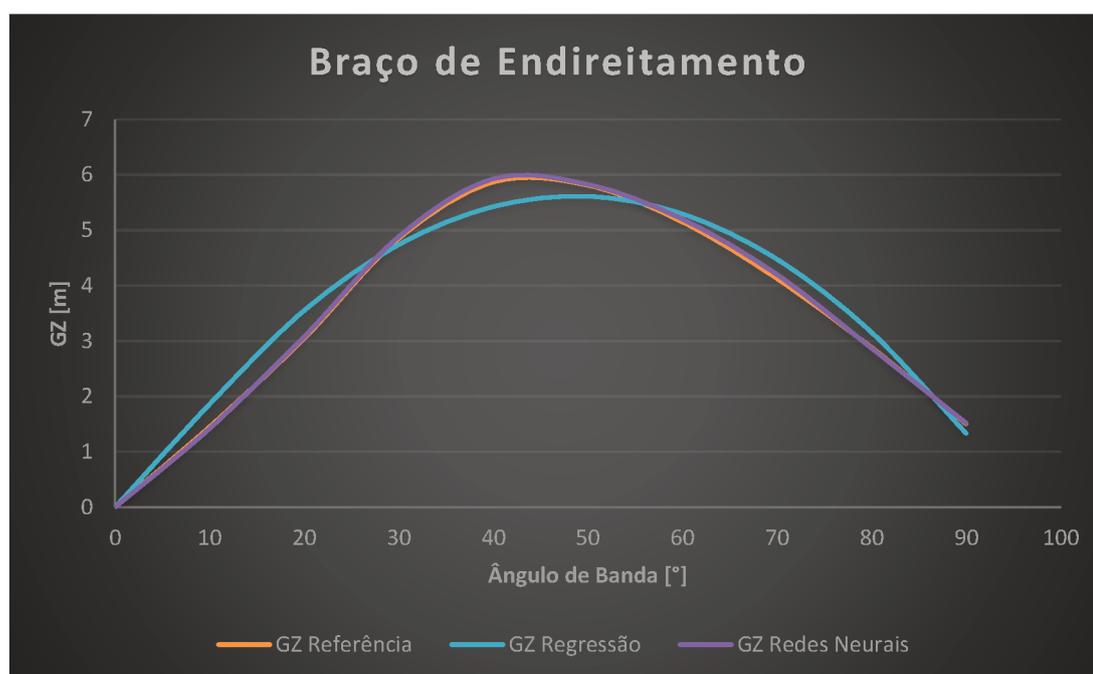
Tabela 41 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção de KM para o Navio de Validação

Calado	Erro para KM	
	Regressão	Redes Neurais
1	11,9%	21,5%
2	5,0%	22,8%
3	0,5%	22,2%
4	4,6%	19,3%
5	7,4%	14,9%
6	9,7%	11,5%
7	11,0%	9,0%
8	11,7%	7,6%
9	11,6%	6,9%
10	10,9%	6,7%
11	9,5%	6,6%
12	7,6%	6,4%

13	5,1%	6,2%
14	2,3%	5,9%
15	0,7%	5,5%
16	3,9%	4,9%
17	7,2%	4,3%
18	10,5%	3,6%
19	13,8%	2,8%
20	17,1%	1,9%
	<i>Erro Médio</i>	
	8,1%	9,5%

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 45 - Gráfico de Braço de Endireitamento para o Navio de Validação



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 42 - Comparação entre os diferentes métodos de obtenção do Braço de Endireitamento para o Navio de Validação

Erro para Braço de Endireitamento		
Ângulos de Banda	Regressão	Redes Neurais
10	28,4%	1,9%
20	16,5%	0,9%
30	2,3%	0,6%
40	7,6%	1,0%

50	3,5%	0,2%
60	2,8%	1,0%
70	8,4%	1,7%
80	9,6%	0,3%
90	11,3%	0,9%
	<i>Erro Médio</i>	
	10,0%	1,0%

Fonte: elaborado pelo autor.

Embora os erros nesta fase tenham atingido valores consideráveis, é possível observar, pelos gráficos apresentados, que os comportamentos dos métodos propostos respondem satisfatoriamente aos dados do navio de validação.

Uma ressalva importante a ser feita diz respeito à regressão matemática realizada para o braço de endireitamento. A aproximação do comportamento desta variável em função do ângulo de banda foi realizada por intermédio de uma função polinomial de segundo grau. Entretanto, é possível observar pelo gráfico que esta função não se comporta exatamente como o proposto pela regressão, haja vista o formato da curva de referência.

Porém, mesmo com esta aproximação, o método obteve erros satisfatórios para ângulos de banda entre 30°, tomado como crítico entre as normas de regulamentação para estabilidade, a exemplo de (IMO, 1993).

### 10.1.3. Comparação Final entre os Métodos

Tabela 43 - Comparativo entre os métodos, de acordo com os erros obtidos em análise para o navio de validação

	Regressão	Redes Neurais	Analítico
		Erros	
Área de Linha d'Água	0,04%	0,80%	
Massa Adicional	13,78%	36,93%	
Área Molhada	0,78%		
Resistência ao Avanço	20,80%	2,65%	
Frequência Natural de <i>Heave</i>	0,60%	3,40%	20,20%
Frequência Natural de <i>Roll</i>	0,60%	2,50%	4,20%
Altura Metacêntrica	7,80%	8,70%	
KM	8,10%	9,50%	
Braço de Endireitamento	10,00%	1,00%	
Média	6,94%	8,78%	12,20%

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Tabela 43 é possível verificar os métodos que possuem melhores resultados médios, de acordo com as análises pretendidas. Por exemplo, para a resistência ao avanço, o método de regressão proposto não apresentou valores satisfatórios. Em contrapartida, o método de redes neurais pode substituí-lo adequadamente, uma vez que sua curva de resistência apresenta resultados muito coerentes em comparação ao método do qual o programa *Maxsurf Resistance* faz uso.

Os métodos indicados para cada análise estão destacados na tabela, embora seja importante ter-se em vista que os erros disponíveis na mesma não correspondem aos erros que o usuário da ferramenta obterá nas análises que realizar para navios distintos ao estudado. Vale salientar, também, que as análises destacadas nem sempre corresponderão a resultados mais confiáveis em relação ao outro método disponível na ferramenta. A proposta da Tabela 43 é apenas de orientar o usuário, embora a escolha final do método a ser utilizado seja de responsabilidade do mesmo.

## 11. CONCLUSÃO

A atual demanda por embarcações petroleiras, que atendam ao consumo crescente de petróleo no mundo, fomenta a criação de ferramentas de projeto conceitual que conciliem praticidade e modelos matemáticos arrojados, em consonância com as capacidades de carga e dimensões atuais deste tipo de embarcação.

Inúmeros modelos empíricos propostos ao longo das últimas décadas atenderam a este problema de forma satisfatória, especialmente para navios de menor porte. Porém, em face da economia de transporte que um navio de grande porte possibilita, é importante que novas propostas sejam geradas.

O presente trabalho se destinou a criar um modelo de regressão robusto, para obtenção de características fundamentais de projeto, como resistência ao avanço, comportamento em mar e estabilidade, fundamentando-se em navios em operação com capacidades de carga superiores às embarcações utilizadas nos modelos empíricos existentes hoje para este tipo de análise.

Estas regressões lograram resultados satisfatórios, especialmente na obtenção das características associadas ao comportamento em mar, caracterizado pelas frequências naturais dos movimentos de *heave* e *roll*.

Além disto, as correlações encontradas por intermédio do método de redes neurais artificiais mostraram-se também muito eficazes, no que se refere principalmente à resistência ao avanço e braço de endireitamento – característica de estabilidade.

Na ferramenta proposta para compêndio dos métodos desenvolvidos, o usuário necessita apenas entrar dados como classe, coeficiente de bloco, calado e velocidade de serviço para que, a partir disto, os métodos de regressão e redes neurais sejam efetuados. Os resultados são então divididos em abas na ferramenta, o que possibilita um uso intuitivo por parte do usuário.

A partir dos dados obtidos na ferramenta proposta é possível, então, dar continuidade ao projeto da embarcação no que se refere, por exemplo, à motorização, propulsão, *seakeeping*, avaliação de estabilidade, etc.

Como recomendação para trabalhos futuros pode-se:

- Desenvolver modelos para a obtenção de outras características de projeto como dimensionamento de seção mestra, projeto de sistema propulsivo, estabilidade avariada, etc. por intermédio dos mesmos modelos propostos neste trabalho;
- Aumentar número de verificações
- Aumentar número de ciclos de treinamento das redes neurais
- Explorar outras geometrias e tipos de navios.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, B. L. R.; CHAVES, V. T.; TANCREDI, T. P. **Optimal Structural Design of Small Ships with Response Surface**. 2014. 11 p. Trabalho Acadêmico (Artigo) – Engenharia Naval, Laboratório de Otimização e Projeto Integrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ANDRADE, B. L. R.; TANCREDI, T. P.; VENZON, R. Z. **Hull Optimization of Semisubmersible with Multidirectional Seakeeping Criteria Evaluated with Neural Network Response Surface**. 2014. 10 p. Trabalho Acadêmico (Artigo) – Engenharia Naval, Laboratório de Otimização e Projeto Integrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

BARRASS, C. B. **Ship Design and Performance for Masters and Mates**. Oxford, Inglaterra: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

BENTLEY SYSTEMS. **Maxsurf**: User Manual. Windows Version 20. 2014. Documento eletrônico disponibilizado no ambiente Maxsurf.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Brasil Eleva em 52% Quantidade de Petróleo Exportado em 2015**. Brasília, 2015. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/11/brasil-eleva-em-52-quantidade-de-petroleo-exportado-em-2015>>. Acesso em: 29.jun.2016.

CHAME, M. E. F. **Projeto Conceitual Otimizado de Embarcações Utilizando Fórmulas Empíricas**. 2014. 100 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2014.

FONSECA, N. **Comportamento do Navio no Mar**. 2004. 98 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Arquitetura Naval, Departamento de Engenharia e Arquitetura Naval, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2004.

HOLTROP, J., MENNEN, G.G.J. **An Approximate Power Prediction Method**. International Shipbuilding Progress, v. 29, n. 335, 1982.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2015**. 2015. Disponível em: <[http://www.iea.org/bookshop/700-World\\_Energy\\_Outlook\\_2015](http://www.iea.org/bookshop/700-World_Energy_Outlook_2015)>. Acesso em: 01.jun. 2016.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered By Imo Instruments**. Estados Unidos, 1993. Disponível em <<https://imo.amsa.gov.au/secure/Assembly-18/749-18.pdf>>. Acesso em: 15.nov.2015.

JOURNÉE, J.M.J. **Verification and Validation of Ship Motions Program**. Delft University of Technology Ship, Hydromechanics Laboratory, 2001.

LABES, T. A. **Modelos Empíricos para Estimativas Preliminares dos Coeficientes de Forma de um Navio Mercante**. 2015. 85 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

LAMB, T. **Ship Design and Construction**. Michigan, Estados Unidos: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003.

LOPES, P. P. S. **Influência dos Parâmetros Geométricos de uma Plataforma Semissubmersível no Movimento de Heave**. 2015. 73 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

MARINE POLLUTION, MARPOL 73/78, Anexo I. **Regras para a Prevenção da Poluição por Óleo**. Brasília, 1978. Disponível em <[https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/marpol\\_anexo1-11ago.pdf](https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/marpol_anexo1-11ago.pdf)>. Acesso em: 05. mai. 2016.

MARINE TRAFFIC. **Vessels**. Disponível em: <<http://www.marinetraffic.com/en/ais/index/ships/all>>. Acesso em: 02. mar. 2016.

MCCULLOCH, W. S., PITTS, W. **A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity**, Bulletin of Mathematical Biology, v. 5, p. 115-133, 1943.

NEVES, C. **Seleção de um Conceito de Plataforma Offshore para Atuação na Bacia de Santos, Baseada na Análise do Movimento de Heave**. 2015. 101 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

PORTILHO, G. **Quanto Tempo Vai Durar o Petróleo no Mundo?** 2008. Disponível em: <[http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteudo\\_280677.shtml](http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteudo_280677.shtml)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

SCLAVOUNOS, P.D. et al. **A Computational Method as an Advanced Tool of Ship Hydrodynamic Design**. Transactions, Society of Naval Architects and Marine Engineers, v. 105, p. 375-397, 1997.

SILVA, D. **Rede Neural Artificial Aplicada ao Reconhecimento de Padrões usando o Método Back-Propagation**. 2000. 85 f. Monografia (Especialização), Universidade do Triângulo, Uberlândia, 2000.

TANCREDI, T. P. **Otimização Multidisciplinar Distribuída Aplicada a Projetos de Engenharia**. 2008. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Naval, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

TODD, F., **Series 60 Methodical Experiments with Models of Single Screw Ships**. TMB report 1712, DTRC, 1963.

TRINDADE, J. **Hidrodinâmica e Propulsão**. Engenharia de Máquinas Marítimas, Escola Superior Náutica Infante D. Henrique, 2012.

WATSON, D. G. M. **Practical Ship Design**. Oxford, Inglaterra: Elsevier Science, 1998.

## APÊNDICE A – BASE DE DADOS

Navio	Ano	Comprimento	Boca	DWT	Calado	Velocidade	Tipo	L/B	B/C	Froude	V/(L <sup>1/2</sup> ) (nós/m)	V/(L <sup>1/2</sup> ) (nós/pés)	Cb Barrass (8)	Cb Lamb 4	Cb Lamb 5	K	Cb Lamb 6	
<b>Suezmax</b>																		
Alaskan Legend	2006	287	50	193048	13,3	11,3	Óleo Cru	5,74	3,76	0,11	0,67	0,37	<b>0,879</b>	0,746	0,926	1,164	0,980	
Orpheas	2007	274	50	167282	12	9,3	Óleo	5,48	4,17	0,09	0,56	0,31	<b>0,898</b>	0,747	0,966	1,186	1,031	
Ridgebury Captain Drogin	2007	285,41	50,3	166467	14,7	12,6	Óleo	5,67	3,42	0,12	0,75	0,41	<b>0,864</b>	0,746	0,896	1,148	0,942	
Hrvatska	2005	280,98	48,2	166447	9	13,3	Óleo Cru	5,83	5,36	0,13	0,79	0,44	<b>0,856</b>	0,746	0,878	1,140	0,920	
Nordic Mistral	2002	274,2	50,3	164236	9,2	5,3		5,45	5,47	0,05	0,32	0,18	<b>0,942</b>	0,747	1,058	1,242	1,154	
Sanchi	2008	274	50	164160	9,5	14,6		5,48	5,26	0,14	0,88	0,49	<b>0,839</b>	0,745	0,844	1,124	0,880	
Meltemi	2004	274	50,06	163759	9,3	11		5,47	5,38	0,11	0,66	0,37	<b>0,879</b>	0,747	0,927	1,164	0,981	
Meltemi	2004	274	50,06	163759	9,3	11		5,47	5,38	0,11	0,66	0,37	<b>0,879</b>	0,747	0,927	1,164	0,981	
Besiktas Bosphorus	2005	274,18	50,04	163750	8,9	9,1	Óleo Cru	5,48	5,62	0,09	0,55	0,30	<b>0,900</b>	0,747	0,971	1,188	1,037	
Minerva Georgia	2007	274,24	50,06	163417	11,4	12,3		5,48	4,39	0,12	0,74	0,41	<b>0,865</b>	0,746	0,897	1,149	0,944	
SeaRacer	2002	274	50	162214	16,4	8,8	Óleo Cru	5,48	3,05	0,09	0,53	0,29	<b>0,903</b>	0,747	0,977	1,192	1,045	
Nordic Moon	2002	274,2	47,8	160305	7	8,1		5,74	6,83	0,08	0,49	0,27	<b>0,911</b>	0,747	0,994	1,202	1,067	
Brightway	2012	274	48,04	160095	15,9	14,3	Óleo	5,70	3,02	0,14	0,86	0,48	<b>0,843</b>	0,746	0,851	1,127	0,889	
Red Moon	2012	274	48,04	160024	15,3	6	Óleo	5,70	3,14	0,06	0,36	0,20	<b>0,934</b>	0,747	1,042	1,232	1,131	
Nordic Cosmos	2003	274,02	48	159999	14,5	12,5		5,71	3,31	0,12	0,76	0,42	<b>0,863</b>	0,746	0,892	1,147	0,938	
Minerva Doxa	2007	276,88	50,04	159438	14,9	8,7	Óleo Cru	5,53	3,36	0,09	0,52	0,29	<b>0,905</b>	0,747	0,981	1,194	1,050	
SeaVoyager	2007	274,26	48,04	159233	9,3	14,8	Óleo	5,71	5,17	0,15	0,89	0,49	<b>0,837</b>	0,745	0,840	1,122	0,875	
Sonangol Girassol	2000	274	48	159057	11,7	5,1	Óleo Cru	5,71	4,10	0,05	0,31	0,17	<b>0,944</b>	0,747	1,063	1,245	1,160	
Aegean Navigator	2007	274,48	48,04	159040	9	11,5	Óleo Cru	5,71	5,34	0,11	0,69	0,38	<b>0,874</b>	0,746	0,916	1,158	0,967	
Cap Victor	2007	274,2	48,03	159000	9,3	11,8	Óleo Cru	5,71	5,16	0,12	0,71	0,39	<b>0,870</b>	0,746	0,909	1,155	0,958	
Cap Lara	2007	274,2	48,08	159000	13	5,2	Óleo Cru	5,70	3,70	0,05	0,31	0,17	<b>0,943</b>	0,747	1,060	1,244	1,157	
Sks Segura	2007	274,27	48,05	158784	13,9	7,6	Óleo	5,71	3,46	0,08	0,46	0,25	<b>0,916</b>	0,747	1,005	1,209	1,082	
Atlanta Spirit	2011	274	48	158650	16,2	5,9		5,71	2,96	0,06	0,36	0,20	<b>0,935</b>	0,747	1,044	1,233	1,135	

Valtamed	2004	274	48,04	158609	11,9	10,8		5,70	4,04	0,11	0,65	0,36	<b>0,881</b>	0,747	0,931	1,167	0,987
Serenea	2009	274	48,04	158583	14,7	14		5,70	3,27	0,14	0,85	0,47	<b>0,846</b>	0,746	0,858	1,130	0,897
Pricimar Pride	2012	274,39	48,04	158542	13,9	12,1		5,71	3,46	0,12	0,73	0,40	<b>0,867</b>	0,746	0,902	1,151	0,950
Sonangol Namibe	2007	274	48,04	158425	15,7	10,4	Óleo Cru	5,70	3,06	0,10	0,63	0,35	<b>0,886</b>	0,747	0,941	1,172	0,998
Mare Doricum	2009	274,39	48,04	158319	9	13,6		5,71	5,34	0,13	0,82	0,45	<b>0,851</b>	0,746	0,867	1,135	0,908
Ridgebury Lessley B	2013	274	48,04	158319	16	10,4		5,70	3,00	0,10	0,63	0,35	<b>0,886</b>	0,747	0,941	1,172	0,998
Patroclus	2009	274,29	48,04	158267	9,3	7,6	Óleo	5,71	5,17	0,08	0,46	0,25	<b>0,916</b>	0,747	1,005	1,209	1,082
Maran Penelope	2009	274	48,04	158267	9,5	9,2	Óleo	5,70	5,06	0,09	0,56	0,31	<b>0,899</b>	0,747	0,968	1,187	1,033
Maran Pythia	2009	274,29	48,04	158266	14,5	8,8	Óleo	5,71	3,31	0,09	0,53	0,29	<b>0,903</b>	0,747	0,978	1,192	1,046
Scf Surgut	2009	274,34	48,04	158097	15,6	10,2	Óleo	5,71	3,08	0,10	0,62	0,34	<b>0,888</b>	0,747	0,945	1,174	1,004
Desh Shanti	2004	274	48,04	158030	9,2	12,7	Óleo Cru	5,70	5,22	0,13	0,77	0,42	<b>0,860</b>	0,746	0,888	1,144	0,933
Mikela P	2009	274,34	48,04	158007	9,3	10	Óleo Cru	5,71	5,17	0,10	0,60	0,33	<b>0,890</b>	0,747	0,950	1,177	1,010
Almi Galaxi	2011	274	48,04	157786	10,7	5,2		5,70	4,49	0,05	0,31	0,17	<b>0,943</b>	0,747	1,060	1,244	1,157
Dimitris P	2011	274,27	48,04	157740	15,6	12,6	Óleo	5,71	3,08	0,12	0,76	0,42	<b>0,862</b>	0,746	0,890	1,146	0,936
Delta Poseidon	2011	274,2	48,04	157380	9	11,5		5,71	5,34	0,11	0,69	0,38	<b>0,874</b>	0,746	0,915	1,158	0,967
Nantucket	2014	274,5	48,04	157000	9	14,6		5,71	5,34	0,14	0,88	0,49	<b>0,840</b>	0,745	0,844	1,124	0,881
Leonid Loza	2011	274,5	48,04	156630	9,1	7,7	Óleo Cru	5,71	5,28	0,08	0,46	0,26	<b>0,915</b>	0,747	1,003	1,207	1,079
Green Trader	1993	274,5	50	156105	10	10,9	Óleo Cru	5,49	5,00	0,11	0,66	0,36	<b>0,880</b>	0,747	0,929	1,166	0,984
Pegasus Voyager	2014	275,6	48	155720	16,6	10,2	Óleo Cru	5,74	2,89	0,10	0,61	0,34	<b>0,888</b>	0,747	0,946	1,174	1,005
Brasil Voyager	2013	282	49	153684	9	10,5	Óleo Cru	5,76	5,44	0,10	0,63	0,35	<b>0,886</b>	0,747	0,942	1,172	1,000
Gener8 Phoenix	1999	269	46	153015	9,1	12,6	Óleo	5,85	5,05	0,13	0,77	0,42	<b>0,860</b>	0,746	0,887	1,144	0,932
Romantic	2004	274,2	48	150249	15,2	12,2	Óleo Cru	5,71	3,16	0,12	0,74	0,41	<b>0,866</b>	0,746	0,899	1,150	0,947
Kamari	1997	270,45	44,63	149706	9	13,6	Óleo	6,06	4,96	0,14	0,83	0,46	<b>0,849</b>	0,746	0,865	1,133	0,905
Grena Knutsen	2003	278	46	148553	9,3	5,8	Óleo	6,04	4,95	0,06	0,35	0,19	<b>0,937</b>	0,747	1,047	1,235	1,139
Navarino	1994	274	44,44	147048	16,7	12	Óleo	6,17	2,66	0,12	0,72	0,40	<b>0,868</b>	0,746	0,904	1,152	0,952
Cap Romuald	1998	274,06	47,85	146640	15,5	5,9	Óleo Cru	5,73	3,09	0,06	0,36	0,20	<b>0,935</b>	0,747	1,044	1,233	1,135
Catherine Knutsen	1992	274,3	43,2	141720	14,7	11,2	Óleo Cru	6,35	2,94	0,11	0,68	0,37	<b>0,877</b>	0,746	0,922	1,162	0,975
Elisabeth Knutsen	1997	265	43	124768	9,7	10,5	Óleo	6,16	4,43	0,11	0,65	0,36	<b>0,883</b>	0,747	0,934	1,168	0,990

<i>Valores mínimos</i>	1992	265	43	124768	7	5,1	0	5,45	2,66	0,05	0,31	0,17	0,84	0,75	0,84	0,88
<i>Valores máximos</i>	2014	287	50,3	193048	16,7	14,8	0	6,35	6,83	0,15	0,89	0,49	0,94	0,75	1,06	1,16

## Aframax

Kaimon Maru	2013	246,8	44	120015	13,7	12,9	Óleo Cru	5,61	3,21	0,13	0,82	0,45	0,851	0,746	0,867	1,135	0,908
Sks Dee	2010	249,99	45,4	119459	8,6	10,3	Óleo	5,51	5,28	0,11	0,65	0,36	0,881	0,747	0,932	1,167	0,987
Four Wind	2009	248,97	43,84	115728	14,7	11,1	Óleo Cru	5,68	2,98	0,12	0,70	0,39	0,872	0,746	0,912	1,156	0,962
SeaQueen	2004	249,87	43,8	115639	8,5	11,3	Óleo	5,70	5,15	0,12	0,71	0,39	0,870	0,746	0,908	1,154	0,957
Alqadisia	2004	243,8	42,04	115577	14,8	9,8		5,80	2,84	0,10	0,63	0,35	0,886	0,747	0,941	1,172	0,998
Dubai Charm	2010	250	44,26	115514	8,7	13,4	Óleo Cru	5,65	5,09	0,14	0,85	0,47	0,846	0,746	0,857	1,130	0,896
Dubai Angel	2010	250	44	115502	8,3	8,9		5,68	5,30	0,09	0,56	0,31	0,898	0,747	0,966	1,185	1,030
Iasonas	2008	250	44,03	115501	10,6	13,1	Óleo Cru	5,68	4,15	0,14	0,83	0,46	0,849	0,746	0,864	1,133	0,905
LR2 Polaris	2008	243,8	42,04	115273	13,6	9,4	Óleo Cru	5,80	3,09	0,10	0,60	0,33	0,890	0,747	0,951	1,177	1,011
Front Cheetah		250	44	115000	8	6,5	Óleo Cru	5,68	5,50	0,07	0,41	0,23	0,925	0,747	1,023	1,220	1,106
Stealth Skyros	2011	249,9	44	115000	8,7	6,5	Óleo Cru	5,68	5,06	0,07	0,41	0,23	0,925	0,747	1,023	1,220	1,106
Gulf Valour	2013	249	48	114900	11,8	13		5,19	4,07	0,14	0,82	0,45	0,850	0,746	0,866	1,134	0,907
Sti Winnie	2015	255,9	43	114900	9,9	9,7	Óleo Cru	5,95	4,34	0,10	0,61	0,33	0,890	0,747	0,949	1,176	1,009
Ligovsky Prospect	2003	249,9	44	114639	11,5	8,9	Óleo Cru	5,68	3,83	0,09	0,56	0,31	0,898	0,747	0,966	1,185	1,030
FPMC P Hero	2011	243,8	42,04	114380	13,9	10,3	Óleo	5,80	3,02	0,11	0,66	0,36	0,880	0,747	0,929	1,165	0,983
Pacific London	1999	249	44,04	113333	8,2	11,4	Óleo	5,65	5,37	0,12	0,72	0,40	0,869	0,746	0,905	1,153	0,953
Southern Spirit	2009	250	44,04	113043	13,3	9,6	Óleo	5,68	3,31	0,10	0,61	0,34	0,889	0,747	0,949	1,176	1,008
Kalahari	2009	250	44,04	112827	8	10,8	Óleo	5,68	5,51	0,11	0,68	0,38	0,876	0,746	0,920	1,160	0,972
Overseas Redwood	2013	250	44,04	112792	7	12,6	Tanque	5,68	6,29	0,13	0,80	0,44	0,855	0,746	0,876	1,139	0,919
Deep Blue	2004	249	44,07	111808	14,01	11,7		5,65	3,15	0,12	0,74	0,41	0,865	0,746	0,898	1,149	0,944
Pelagos	2004	249,99	44,07	111766	6,7	6,8		5,67	6,58	0,07	0,43	0,24	0,922	0,747	1,016	1,215	1,097
Delta Sailor	2005	250	44,04	111004	12,4	11,5	Óleo Cru	5,68	3,55	0,12	0,73	0,40	0,868	0,746	0,903	1,152	0,951
Yasa Golden Dardanelles	2008	245	42	110828	12,2	11,9		5,83	3,44	0,12	0,76	0,42	0,862	0,746	0,890	1,146	0,936
Sti Alexis	2015	256	43	109999	13,3	8,3	Óleo Cru	5,95	3,23	0,09	0,52	0,29	0,906	0,747	0,982	1,195	1,052

LR Aldebaran	2007	244,6	42,03	109672	13,9	10,2	Óleo Cru	5,82	3,02	0,11	0,65	0,36	0,881	0,747	0,932	1,167	0,987
Sc Champion XLV	2001	245	42	109325	8,5	12,1	Óleo	5,83	4,94	0,13	0,77	0,43	0,859	0,746	0,886	1,143	0,930
Totono Bottiglieri	2010	243	42	108871	12,7	7,3	Óleo	5,79	3,31	0,08	0,47	0,26	0,915	0,747	1,002	1,206	1,077
Eagle Texas	2011	243,8	42,03	107481	9,5	5,5	Óleo Cru	5,80	4,42	0,06	0,35	0,19	0,936	0,747	1,046	1,234	1,137
Minerva Emma	2003	246,8	42,03	107197	8,3	5,8	Óleo Cru	5,87	5,06	0,06	0,37	0,20	0,933	0,747	1,039	1,230	1,128
New Paros	1998	246,8	42	107181	8,5	9,3	Óleo Cru	5,88	4,94	0,10	0,59	0,33	0,892	0,747	0,954	1,179	1,016
PavinoSpirit	1997	247	42	107169	13,9	7,4	Óleo Cru	5,88	3,02	0,08	0,47	0,26	0,914	0,747	1,001	1,206	1,076
Afra Oak	2003	240,5	42,03	106395	14,6	12		5,72	2,88	0,13	0,77	0,43	0,859	0,746	0,885	1,143	0,930
Mastera	2003	252	44,05	106208	9,6	13,6		5,72	4,59	0,14	0,86	0,47	0,844	0,746	0,854	1,128	0,892
Album	2003	244	42,03	105857	13,5	13,5	Óleo Cru	5,81	3,11	0,14	0,86	0,48	0,843	0,746	0,851	1,127	0,888
Ns Concept	2005	244	42,03	105844	12,4	7,9	Óleo	5,81	3,39	0,08	0,51	0,28	0,908	0,747	0,987	1,198	1,058
Minerva Concert	2003	241	42	105817	8	12,4	Óleo Cru	5,74	5,25	0,13	0,80	0,44	0,855	0,746	0,876	1,139	0,918
Glory Crescent	2013	243,99	42	105405	8,5	14,7		5,81	4,94	0,15	0,94	0,52	0,829	0,745	0,822	1,114	0,854
Sakura Princess	2007	228	42	105365	12,4	7,4		5,43	3,39	0,08	0,49	0,27	0,911	0,747	0,993	1,201	1,066
Bunga Kelana 7	2004	243,8	42,04	105194	10,1	13,7	Óleo Cru	5,80	4,16	0,14	0,88	0,48	0,840	0,745	0,846	1,125	0,883
Aspasia Lemos	2009	243,96	42,04	105188	8,5	12,1		5,80	4,95	0,13	0,77	0,43	0,859	0,746	0,885	1,143	0,929
Al Marzoqah	1999	243,55	42,02	105084	14,7	9,1		5,80	2,86	0,10	0,58	0,32	0,894	0,747	0,958	1,181	1,020
Zaruma	2009	238	42,04	105073	8,5	12,3	Óleo Cru	5,66	4,95	0,13	0,80	0,44	0,855	0,746	0,876	1,139	0,919
Haima	2008	245,5	42,03	104991	14,4	7,7		5,84	2,92	0,08	0,49	0,27	0,911	0,747	0,993	1,201	1,066
Phoenix Beta	2003	248	43,04	104707	14,6	5,3	Óleo Cru	5,76	2,95	0,06	0,34	0,19	0,939	0,747	1,052	1,238	1,145
Green Warrior	2011	228,6	42,04	104626	12,8	8,2		5,44	3,28	0,09	0,54	0,30	0,901	0,747	0,973	1,190	1,040
Yare	2011	228	42	104579	9,3	5,8	Óleo Cru	5,43	4,52	0,06	0,38	0,21	0,930	0,747	1,034	1,226	1,120
Minerva Ellie	2005	243,57	42,04	103194	8,2	9	Óleo Cru	5,79	5,13	0,09	0,58	0,32	0,895	0,747	0,960	1,182	1,023
Santa Cruz 1	1995	244,3	39,4	101605	7,2	10,1	Óleo Cru	6,20	5,47	0,11	0,65	0,36	0,882	0,747	0,934	1,168	0,990
Maharshi Parashuram	2002	237,63	38	93322	9,8	7,5		6,25	3,88	0,08	0,49	0,27	0,911	0,747	0,995	1,202	1,068
Asia Endeavour	2015	285	44	82435	9,4	5,5	LNG	6,48	4,68	0,05	0,33	0,18	0,941	0,747	1,056	1,241	1,151
Golar Seal	2013	281	43	82048	9,3	10,5	LNG	6,53	4,62	0,10	0,63	0,35	0,886	0,747	0,941	1,172	0,999
<b>Valores mínimos</b>	1995	228	38	82048	6,7	5,3		5,19	2,84	0,05	0,33	0,18	0,83	0,74	0,82	1,11	0,85

<i>Valores máximos</i>	2015	285	48	120015	14,8	14,7		6,53	6,58	0,15	0,94	0,52	0,94	0,75	1,06	1,24	1,15
<b>Panamax</b>																	
Bw Columbia	2007	228,6	32,29	76604	9,5	8,7	Óleo	7,08	3,40	0,09	0,58	0,32	0,895	0,747	0,961	1,183	1,024
Bw Orinoco	2007	228,6	32,29	76580	13,5	7	Óleo Cru	7,08	2,39	0,08	0,46	0,26	0,916	0,747	1,004	1,208	1,080
Bw Danube	2007	228,6	32,29	76543	8,4	11,2	Óleo	7,08	3,84	0,12	0,74	0,41	0,865	0,746	0,898	1,149	0,945
Cordula Jacob	2012	228,6	32,26	75618	8	12,6	Óleo	7,09	4,03	0,14	0,83	0,46	0,848	0,746	0,863	1,132	0,902
Jing Yu Zuo	2010	228,6	32,29	75577	8,2	16	Óleo	7,08	3,94	0,17	1,06	0,58	0,807	0,744	0,777	1,096	0,804
Hai Tan Zuo	2010	228,6	32,3	75571	12,8	7,9	Óleo	7,08	2,52	0,09	0,52	0,29	0,905	0,747	0,981	1,194	1,050
Gulf Crystal	2009	228,48	32,25	74999	11,8	8,7		7,08	2,73	0,09	0,58	0,32	0,895	0,747	0,961	1,183	1,024
Okyroe	2004	228,19	32,2	74999	8	12,7		7,09	4,03	0,14	0,84	0,46	0,847	0,746	0,860	1,131	0,899
Fortune Victoria	2007	228	32,29	74998	7,4	7,3	Óleo	7,06	4,36	0,08	0,48	0,27	0,912	0,747	0,996	1,203	1,070
Hafnia Europe	2006	228,49	32	74997	8,2	12,7	Óleo	7,14	3,90	0,14	0,84	0,46	0,847	0,746	0,860	1,131	0,899
Marika	2008	228,6	32,25	74996	8,3	6	Óleo	7,09	3,89	0,07	0,40	0,22	0,928	0,747	1,029	1,223	1,114
Marika	2008	228,6	32,25	74996	12,4	12,3	Óleo	7,09	2,60	0,13	0,81	0,45	0,852	0,746	0,870	1,136	0,911
Advance Victoria	2006	228	32	74995	7,6	12,8		7,13	4,21	0,14	0,85	0,47	0,846	0,746	0,857	1,130	0,896
Classy Victoria	2004	228,49	32,23	74993	13,5	13,2		7,09	2,39	0,14	0,87	0,48	0,841	0,745	0,847	1,125	0,884
Fukham Road	2013	228	32,26	74986	10,1	14,3		7,07	3,19	0,16	0,95	0,52	0,828	0,745	0,819	1,113	0,852
Arctic Flounder	2009	228,59	32,27	74925	12,4	13	Óleo	7,08	2,60	0,14	0,86	0,47	0,844	0,746	0,852	1,128	0,890
Bani Yas	2010	228	32,28	74913	8,5	14,8	Óleo Cru	7,06	3,80	0,16	0,98	0,54	0,822	0,745	0,807	1,108	0,838
Jag Aabha	2008	228	32,26	74841	10,5	13,5	Óleo Cru	7,07	3,07	0,15	0,89	0,49	0,837	0,745	0,839	1,122	0,875
Nave Atropos	2013	228	32	74695	8,5	12,6	Óleo	7,13	3,76	0,14	0,83	0,46	0,848	0,746	0,862	1,132	0,902
Scf Plymouth	2010	228,48	32,25	74606	12,6	8,9		7,08	2,56	0,10	0,59	0,33	0,893	0,747	0,956	1,180	1,017
Scf Pioneer	2010	228,48	32,24	74552	12,8	5,3	LNG	7,09	2,52	0,06	0,35	0,19	0,936	0,747	1,046	1,234	1,138
Hafnia Africa	2010	228	32	74539	8	10,7	Óleo	7,13	4,00	0,12	0,71	0,39	0,871	0,746	0,910	1,155	0,960
Norstar Integrity	2006	228,6	32	74065	8,4	14,4	Óleo Cru	7,14	3,81	0,16	0,95	0,53	0,827	0,745	0,817	1,112	0,850
Aramon	2010	229,11	32,26	74059	8,8	12	Químico	7,10	3,67	0,13	0,79	0,44	0,856	0,746	0,878	1,140	0,921
Overseas Leyte	2011	229,11	32,26	73944	8,5	6,2	Óleo	7,10	3,80	0,07	0,41	0,23	0,925	0,747	1,024	1,220	1,107
New Constellation	2006	228,6	32,26	73911	8,3	14		7,09	3,89	0,15	0,93	0,51	0,831	0,745	0,827	1,117	0,861

King Duncan	2008	228,6	32,29	73720	7,8	7,5	Óleo/Químico	7,08	4,14	0,08	0,50	0,27	0,910	0,747	0,991	1,200	1,063
Lorelei	2007	228	32,24	73673	13,3	12,8		7,07	2,42	0,14	0,85	0,47	0,846	0,746	0,857	1,130	0,896
Loengo	2007	228,6	32,26	73626	8	10,4	Óleo Cru	7,09	4,03	0,11	0,69	0,38	0,875	0,746	0,918	1,160	0,970
Lake Trout	2007	228	32,29	73579	12,5	11,1		7,06	2,58	0,12	0,74	0,41	0,866	0,746	0,900	1,150	0,947
Uacc Ibn Sina	2008	228,6	32,57	73338	13,1	11,5		7,02	2,49	0,12	0,76	0,42	0,862	0,746	0,890	1,146	0,936
Ocean Schooner	1999	228,5	32,3	73083	8,3	12,9		7,07	3,89	0,14	0,85	0,47	0,845	0,746	0,855	1,129	0,893
Theo T	2003	227,28	32,24	73021	7	12,9	Óleo Cru	7,05	4,61	0,14	0,86	0,47	0,844	0,746	0,854	1,128	0,892
Jill Jacob	2003	227,5	32,24	72909	9,2	7,7		7,06	3,50	0,08	0,51	0,28	0,907	0,747	0,986	1,197	1,056
Sn Azurra	2003	228,64	32,26	72344	7,8	15,6		7,09	4,14	0,17	1,03	0,57	0,812	0,744	0,787	1,100	0,815
Despina	2006	228,6	32,29	72247	12,2	11,9	Óleo	7,08	2,65	0,13	0,79	0,43	0,857	0,746	0,880	1,141	0,923
Ice Fighter	2006	228,56	32	70374	10,3	8,1	Óleo Cru	7,14	3,11	0,09	0,54	0,30	0,902	0,747	0,976	1,191	1,043
Skopelos	2003	228,08	32,23	70146	11,2	7,5		7,08	2,88	0,08	0,50	0,27	0,910	0,747	0,991	1,200	1,063
Overseas Reyamar	2004	228	32,22	69636	10,5	12,4		7,08	3,07	0,13	0,82	0,45	0,851	0,746	0,867	1,135	0,908
Cabo Virgenes	2002	228	32	69554	12,4	12,2	Óleo	7,13	2,58	0,13	0,81	0,45	0,853	0,746	0,872	1,137	0,914
San Julian	2003	228	32,23	69554	13,6	8,3	Óleo	7,07	2,37	0,09	0,55	0,30	0,900	0,747	0,971	1,188	1,036
Strofades	2006	228	32,22	69431	7,5	13,2	Óleo Cru	7,08	4,30	0,14	0,87	0,48	0,841	0,745	0,847	1,125	0,884
Inca	2003	228,54	32,23	68439	8,4	6,3		7,09	3,84	0,07	0,42	0,23	0,924	0,747	1,021	1,218	1,103
Sporades	1993	228	32,4	66895	8,3	8,5		7,04	3,90	0,09	0,56	0,31	0,898	0,747	0,966	1,185	1,030
Velopoula	1993	228	32,4	66895	13,2	5,7		7,04	2,45	0,06	0,38	0,21	0,931	0,747	1,036	1,228	1,124
Cotopaxi	1999	228,18	32,2	66160	8,8	8,1		7,09	3,66	0,09	0,54	0,30	0,902	0,747	0,976	1,191	1,043
Chantal	2009	228,13	32,56	74329	11,8	12,7	Óleo	7,01	2,76	0,14	0,84	0,46	0,847	0,746	0,860	1,131	0,899
Ice Base	2008	228,02	32,23	63605	11,7	12	Óleo Cru	7,07	2,75	0,13	0,79	0,44	0,855	0,746	0,877	1,139	0,920
Chemtrans Sky	2000	228,6	32,2	63381	8,1	5,7	Óleo Cru	7,10	3,98	0,06	0,38	0,21	0,931	0,747	1,036	1,228	1,124
Kobai	2009	225	36	58811	8,1	15,8	LPG	6,25	4,44	0,17	1,05	0,58	0,808	0,744	0,779	1,097	0,806
Cape Taft	2008	228,6	32,57	42010	13,2	6,5	Químico	7,02	2,47	0,07	0,43	0,24	0,922	0,747	1,016	1,215	1,097
<b>Valores mínimos</b>	1993	225	32	42010	7	5,3		6,25	2,37	0,06	0,35	0,19	0,81	0,74	0,78	1,10	0,80
<b>Valores máximos</b>	2013	229,11	36	76604	13,6	16		7,14	4,61	0,17	1,06	0,58	0,94	0,75	1,05	1,23	1,14

---

*Tankers de menor porte*

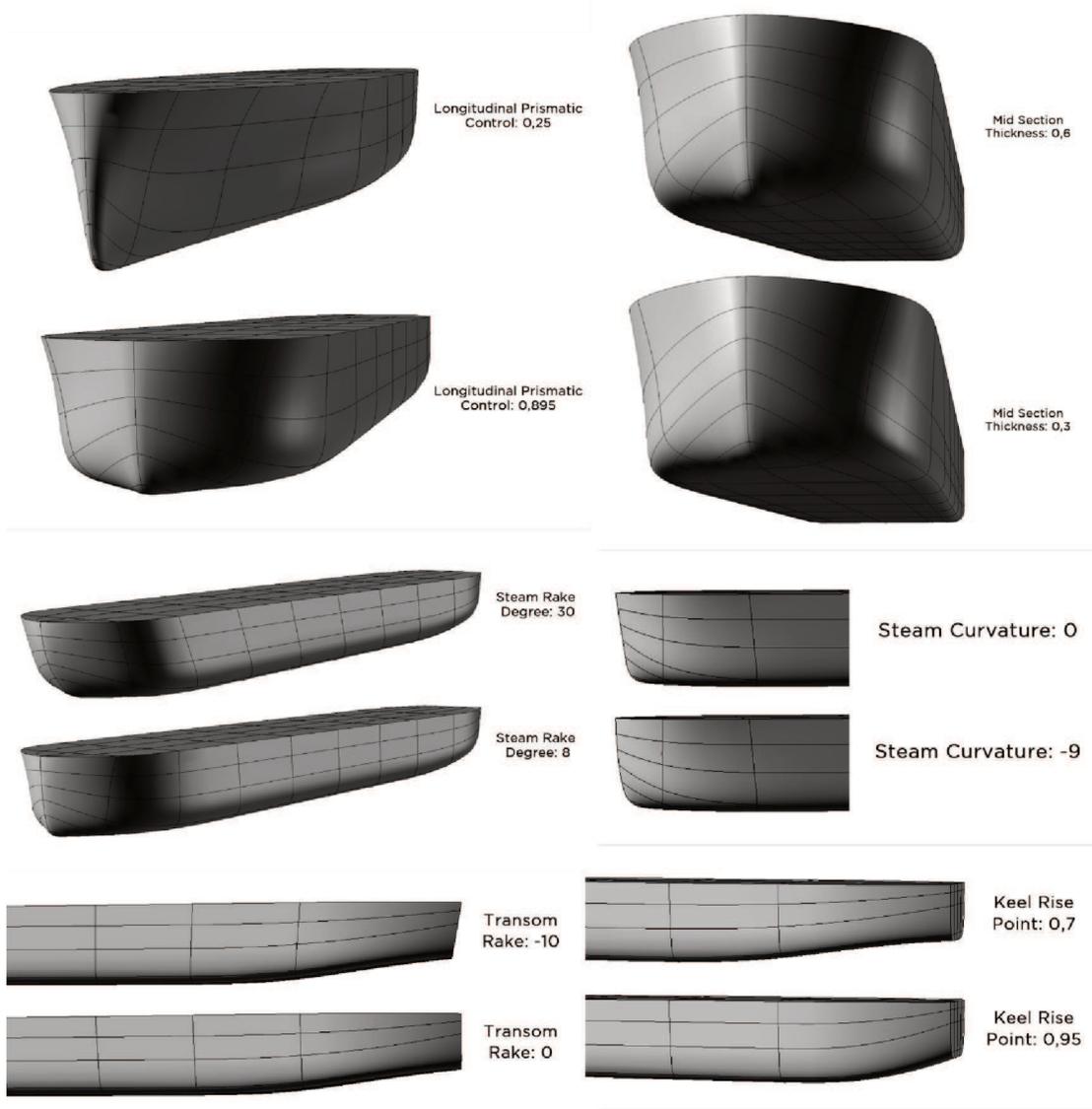
---

Ainazi	2008	195,15	32,23	52606	8,1	8,5	Químico	6,05	3,98	0,10	0,61	0,34	0,889	0,747	0,948	1,176	1,008
Kastos	2010	183,21	32,26	51589	12	12,1	Químico	5,68	2,69	0,15	0,89	0,49	0,837	0,745	0,839	1,122	0,875
Quartz	2015	183	34	49990	8	14,3	Óleo/Químico	5,38	4,25	0,17	1,06	0,58	0,794	0,744	0,777	1,097	0,805
Ns Stella	2005	183	32	47197	7,8	12,5	Óleo/Químico	5,72	4,10	0,15	0,92	0,51	0,820	0,745	0,828	1,117	0,862
Aliakmon	2006	183	32,23	46792	7,5	12,1	Óleo/Químico	5,68	4,30	0,15	0,89	0,49	0,826	0,745	0,839	1,122	0,875
Tinto Mara	2003	182,9	32,22	46764	10,8	6,1	Óleo/Químico	5,68	2,98	0,07	0,45	0,25	0,912	0,747	1,008	1,210	1,086
Overseas Chinook	2010	183	32,19	46666	7,8	14,3	Óleo/Químico	5,68	4,13	0,17	1,06	0,58	0,794	0,744	0,777	1,097	0,805
Mutriba	2014	187	32	46500	7,5	8,9	Químico	5,84	4,27	0,11	0,65	0,36	0,873	0,747	0,932	1,167	0,987
NCC Abha	2006	183,02	32,22	45958	8,3	6,1	Óleo/Químico	5,68	3,88	0,07	0,45	0,25	0,912	0,747	1,008	1,210	1,086
Nancy P	2015	182,99	32	44999	8,5	9,2	Óleo/Químico	5,72	3,76	0,11	0,68	0,38	0,867	0,746	0,921	1,161	0,973
Maria M	2006	176	31,03	40057	7,5	13	Óleo/Químico	5,67	4,14	0,16	0,98	0,54	0,809	0,745	0,807	1,108	0,838
Atlas	2013	183,2	27,43	37866	9,4	10,4	Óleo/Químico	6,68	2,92	0,13	0,77	0,42	0,850	0,746	0,887	1,144	0,932
Alkviadis	2006	184,02	27,04	37623	7	13,6	Óleo/Químico	6,81	3,86	0,16	1,00	0,55	0,805	0,744	0,798	1,105	0,828
Navig8 Adamite	2015	184,06	27,44	37596	8,4	12,1	Óleo/Químico	6,71	3,27	0,15	0,89	0,49	0,826	0,745	0,840	1,122	0,876
Seychelles Progress	2005	184,96	28,04	37557	10,5	11,7	Químico	6,60	2,67	0,14	0,86	0,47	0,832	0,746	0,852	1,128	0,890
Furevik	2005	185,6	31	37082	10,5	7,8	Óleo/Químico	5,99	2,95	0,09	0,57	0,32	0,888	0,747	0,962	1,183	1,025
Baltic Force	2006	182,6	27,37	37039	10,5	12	Óleo/Químico	6,67	2,61	0,15	0,89	0,49	0,827	0,745	0,842	1,123	0,878
King Ernest	2004	182,55	27,62	36997	10,8	12	Óleo/Químico	6,61	2,56	0,15	0,89	0,49	0,827	0,745	0,842	1,123	0,878
Clipper Jupiter	2015	199	33	36900	10,6	13,8	LPG	6,03	3,11	0,16	0,98	0,54	0,809	0,745	0,807	1,108	0,838
Gas Grouper	2009	174,2	28,02	26416	10,5	13,1		6,22	2,67	0,16	0,99	0,55	0,806	0,744	0,802	1,106	0,832
Stolt Basuto	2006	158,5	25,63	25197	9,4	7,1	Óleo/Químico	6,18	2,73	0,09	0,56	0,31	0,890	0,747	0,965	1,185	1,029
Navigator Neptune	2000	169,95	24,24	23495	9,6	7,6	LNG	7,01	2,53	0,10	0,58	0,32	0,886	0,747	0,958	1,181	1,020
Atalanta	2014	155	36	23000	5,5	8,8	Óleo	4,31	6,55	0,12	0,71	0,39	0,862	0,746	0,911	1,156	0,961
Shamrock Mercury	2010	145,53	23,73	19998	5,7	13,3	Químico	6,13	4,16	0,18	1,10	0,61		0,743	0,760	1,090	0,786
Johann Schulte	1998	156	23	18111	6,4	8,7	LNG	6,78	3,59	0,11	0,70	0,38		0,746	0,915	1,158	0,966
Lido	2010	147,5	22,4	17999	8	7,9	Óleo/Químico	6,58	2,80	0,11	0,65	0,36		0,747	0,932	1,167	0,987
Selandia Swan	2007	147,5	22,43	17998	6,2	8,6	Químico	6,58	3,62	0,12	0,71	0,39		0,746	0,910	1,156	0,960
Sulphur Enterprise	1994	159,71	27,43	16771	10,7	11,5	Químico	5,82	2,56	0,15	0,91	0,50		0,745	0,833	1,119	0,868

Navigator Grace	2010	154	26	16687	7	15,4	LPG	5,92	3,71	0,20	1,24	0,69	0,738	0,707	1,073	0,730	
Ocean Progress	2012	144,27	23	16613	6,2	10,7	Óleo/Químico	6,27	3,71	0,15	0,89	0,49	0,745	0,841	1,122	0,877	
Birgit Knutsen	2010	144,14	23,17	16536	9,2	12,6	Óleo/Químico	6,22	2,52	0,17	1,05	0,58	0,744	0,780	1,098	0,808	
Frank	2000	137,79	22	14895	6,4	8,4	Químico	6,26	3,44	0,12	0,72	0,40	0,746	0,907	1,154	0,957	
Lama	1999	120	21,03	14369	9,8	12,3	Óleo/Químico	5,71	2,15	0,18	1,12	0,62	0,742	0,752	1,087	0,778	
Sun Neptune	2007	121,52	20,62	12909	8	13,3	Químico	5,89	2,58	0,20	1,21	0,67	0,740	0,720	1,077	0,744	
Golden Resolution	2014	126,8	21	12702	8,9	12,2	Químico	6,04	2,36	0,18	1,08	0,60	0,743	0,767	1,093	0,794	
Lacanau	2007	114	20	11673	5,1	12,4	Óleo/Químico	5,70	3,92	0,19	1,16	0,64	0,741	0,738	1,082	0,762	
<b>Valores mínimos</b>	1994	114	20	11673	5,1	6,1		4,31	2,15	0,07	0,45	0,25	0,79	0,74	0,71	1,07	0,73
<b>Valores máximos</b>	2015	199	36	52606	12	15,4		7,01	6,55	0,20	1,24	0,69	0,91	0,75	1,01	1,21	1,09







## APÊNDICE C – RESISTÊNCIA AO AVANÇO DOS MODELOS

Resistências Totais ao Avanço [kN]																						
Modelo	Método	1	2	3	4	5	6	7	8	8,5	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20 <sup>9</sup>
1	Holtrop	16,6	63	137,5	238,9	366,2	518,6	695,1	894,9	1003,4	1117,4	1361,8	1627,7	1915	2224,2	2557,2	2917	3308,4	3738	4214,6	4748,6	5352
2	Holtrop	10,5	39,6	85,7	147,9	225,7	318,2	425,1	545,5	610,7	679,2	825,6	984,7	1156,6	1342,6	1544,7	1766,2	2011,9	2288	2602,1	2963	3380,2
3	Holtrop	7,7	28,6	61,4	105,5	160,3	225,4	300,4	385	430,7	478,7	581,4	693,3	815,1	948,4	1095,7	1260,7	1448,3	1664,8	1917,1	2213,2	2561,4
4	Holtrop	13,4	51,1	111,3	193,2	295,9	418,6	560,6	721,4	808,5	900,1	1096,4	1309,9	1541	1790,7	2061,4	2357	2682,9	3046,9	3458,3	3928	4469,1
5	Holtrop	8,5	31,6	68,3	117,8	179,4	252,8	337,3	432,6	484,1	538,2	653,9	779,9	916,6	1065,8	1230	1413,3	1621,1	1860,2	2138,7	2465,7	2851,3
6	Holtrop	6,2	22,7	48,7	83,6	126,9	178,4	237,7	304,5	340,6	378,6	460,1	549,3	647,2	755,8	877,8	1017,5	1180	1371,5	1599	1869,9	2192
7	Holtrop	6,7	25,2	54,5	94,2	143,6	202,5	270,4	347	388,5	432,1	525,6	628	740,3	864,3	1002,8	1159,5	1338,9	1546,2	1787	2068	2394,8
8	Holtrop	4,2	15,5	33,2	56,9	86,4	121,4	161,8	207,3	232,1	258,1	314,4	376,8	446,8	526,4	618,3	725,8	852,6	1002,9	1180,7	1390,4	1637,3
9	Holtrop	3,5	13	27,8	47,9	72,9	103	137,8	177,6	199,4	222,5	273,1	330,5	396,5	473,4	564,3	672,3	801,1	954,3	1135,3	1348,3	1596,5
10	Holtrop	17,8	67,5	147,1	255,4	391,2	553,6	741,8	954,9	1070,5	1192,1	1452,7	1736,5	2043,6	2375,1	2733,8	3124	3552,6	4028,5	4563,5	5171,3	5868,4
11	Holtrop	11,7	43,7	94,5	163	248,6	350,4	468	600,7	672,5	747,9	909,4	1085,1	1275,5	1482,2	1708	1957,2	2235,7	2551,2	2912,9	3331,1	3818,2
12	Holtrop	8,3	30,8	66,1	113,5	172,6	242,7	323,6	414,7	464	515,7	626,6	747,7	879,7	1024,5	1185,1	1365,7	1571,8	1810,2	2088,7	2415,7	2801
13	Holtrop	14,5	54,9	119,5	207,2	317,1	448,5	600,5	772,5	865,8	963,8	1174	1402,9	1651,2	1920,6	2214,5	2538,1	2899,2	3307,5	3775,2	4317	4946,5
14	Holtrop	9,5	35,2	76	131	199,5	281	375	481	538,3	598,6	727,6	868,2	1021,5	1189,3	1375,1	1583,7	1821,8	2097,2	2419,4	2799,2	3246,2
15	Holtrop	6,9	25,3	54,3	93,1	141,5	198,9	265,1	339,7	380,1	422,6	513,9	614	724,2	846,9	985,4	1144,6	1330,4	1549,9	1810,9	2122,5	2491,3
16	Holtrop	7,3	27,5	59,4	102,4	156,1	220,1	293,9	377,2	422,3	469,7	571,7	683,5	806,7	943,5	1097,2	1272,4	1474,2	1708,8	1982,9	2302,1	2678,2
17	Holtrop	4,7	17,2	36,9	63,4	96,2	135,3	180,3	231,2	258,8	287,9	351	421,2	500,3	590,7	695,5	818,7	964,6	1137,8	1343,3	1584,6	1871
18	Holtrop	4,1	15	32,1	55,3	84,2	118,9	159,1	205,1	230,2	257	315,7	382,5	459,7	550	657	784,4	936,3	1116,8	1330,1	1578	1870
19	Holtrop	19,7	74,4	161,8	280,5	429,4	607,4	813,6	1047,1	1173,9	1307,2	1593,1	1904,6	2241,9	2606,7	3001,9	3432,9	3907,4	4435,8	5031,1	5708,8	6486,8
20	Holtrop	12,7	47,5	102,5	176,8	269,6	380	507,5	651,5	729,5	811,4	986,8	1177,8	1385,1	1610,4	1856,8	2129,1	2433,8	2779,4	3175,8	3634,4	4168

<sup>9</sup> Velocidades em nós

21	Holtrop	9,3	34,4	73,8	126,8	192,7	271,1	361,4	463,3	518,5	576,5	700,9	836,7	985,2	1148,3	1329,6	1533,8	1767,2	2037,4	2353,1	2723,7	3159,8
22	Holtrop	16	60,4	131,1	227,1	347,4	491,1	657,4	845,6	947,7	1055,1	1285,3	1536,3	1808,8	2104,9	2428,5	2785,8	3185,2	3638	4157,6	4759,6	5462,3
23	Holtrop	10,2	38	81,9	141,1	214,9	302,6	403,9	518,1	580	645	784,2	936,1	1101,8	1283,4	1484,6	1710,8	1968,9	2267,5	2616,9	3028,1	3513
24	Holtrop	7,4	27,3	58,5	100,3	152,4	214,3	285,6	366,1	409,8	455,6	554,2	662,5	781,8	914,7	1065	1237,9	1439,8	1678,3	1961,8	2299,6	2700,1
25	Holtrop	8	29,9	64,5	111,2	169,5	238,9	319	409,4	458,5	510	620,9	742,8	877,3	1026,9	1195,6	1388,1	1610,4	1869	2171,4	2523,9	2936
26	Holtrop	5	18,4	39,4	67,5	102,6	144,2	192,3	246,6	276,1	307,2	374,6	449,8	534,5	631,5	744	876,3	1033	1219	1439,5	1698	2003,4
27	Holtrop	4,3	15,7	33,6	57,9	88,2	124,5	166,7	214,8	241,2	269,2	330,6	400,6	481,2	575,5	686,9	819,4	977,2	1164,4	1385,3	1642	1943,6

## APÊNDICE D – COEFICIENTE DE RESISTÊNCIA DOS MODELOS

Modelo	Coeficiente de Resistência (Ct)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	5,965	5,660	5,490	5,365	5,264	5,176	5,097	5,025	4,957	4,893	4,834	4,779	4,729	4,688	4,659	4,644	4,648	4,674	4,727	4,808
2	4,475	4,219	4,058	3,939	3,847	3,767	3,697	3,632	3,573	3,518	3,468	3,423	3,385	3,359	3,345	3,349	3,374	3,422	3,498	3,601
3	3,587	3,331	3,178	3,072	2,987	2,917	2,856	2,802	2,753	2,709	2,669	2,637	2,614	2,604	2,610	2,636	2,684	2,757	2,856	2,983
4	5,788	5,518	5,341	5,215	5,112	5,022	4,941	4,868	4,800	4,735	4,676	4,622	4,576	4,543	4,524	4,526	4,554	4,610	4,700	4,826
5	4,364	4,056	3,896	3,780	3,684	3,605	3,534	3,470	3,411	3,357	3,309	3,268	3,238	3,222	3,225	3,251	3,305	3,389	3,507	3,660
6	3,460	3,167	3,019	2,916	2,832	2,765	2,707	2,655	2,608	2,567	2,533	2,508	2,496	2,499	2,523	2,572	2,648	2,754	2,890	3,058
7	4,434	4,169	4,007	3,896	3,801	3,722	3,652	3,588	3,530	3,478	3,434	3,402	3,384	3,386	3,410	3,461	3,540	3,650	3,791	3,962
8	3,253	3,002	2,857	2,755	2,677	2,612	2,558	2,509	2,468	2,435	2,412	2,403	2,413	2,444	2,499	2,580	2,688	2,823	2,983	3,171
9	3,072	2,852	2,711	2,628	2,559	2,511	2,468	2,436	2,411	2,397	2,397	2,417	2,459	2,527	2,622	2,747	2,898	3,075	3,278	3,503
10	6,049	5,735	5,554	5,425	5,318	5,226	5,145	5,070	5,001	4,937	4,877	4,823	4,776	4,740	4,718	4,716	4,737	4,787	4,868	4,986
11	4,729	4,416	4,244	4,118	4,019	3,934	3,861	3,794	3,732	3,676	3,625	3,580	3,545	3,522	3,516	3,530	3,568	3,634	3,730	3,858
12	3,749	3,478	3,317	3,204	3,118	3,045	2,983	2,926	2,875	2,830	2,791	2,759	2,738	2,731	2,741	2,773	2,829	2,912	3,022	3,163
13	5,914	5,598	5,416	5,282	5,173	5,081	4,998	4,923	4,853	4,788	4,729	4,677	4,635	4,608	4,601	4,619	4,668	4,752	4,877	5,044
14	4,608	4,269	4,096	3,971	3,871	3,786	3,712	3,646	3,585	3,529	3,480	3,441	3,414	3,403	3,414	3,452	3,520	3,622	3,761	3,937
15	3,643	3,339	3,185	3,072	2,988	2,917	2,856	2,802	2,754	2,713	2,679	2,655	2,646	2,654	2,686	2,744	2,831	2,951	3,104	3,288
16	4,525	4,261	4,091	3,967	3,870	3,790	3,718	3,653	3,594	3,544	3,501	3,472	3,460	3,470	3,505	3,569	3,665	3,793	3,953	4,150
17	3,431	3,139	2,993	2,893	2,809	2,744	2,686	2,637	2,595	2,562	2,541	2,536	2,552	2,590	2,656	2,751	2,874	3,027	3,204	3,415
18	3,369	3,082	2,931	2,840	2,768	2,714	2,668	2,634	2,608	2,595	2,598	2,624	2,675	2,755	2,865	3,006	3,176	3,374	3,592	3,842
19	6,264	5,915	5,717	5,575	5,462	5,365	5,280	5,203	5,132	5,066	5,005	4,951	4,905	4,870	4,852	4,854	4,881	4,938	5,029	5,157
20	4,847	4,532	4,346	4,217	4,115	4,028	3,953	3,885	3,823	3,766	3,715	3,671	3,636	3,615	3,611	3,628	3,670	3,741	3,842	3,977
21	3,940	3,643	3,474	3,357	3,265	3,190	3,125	3,067	3,015	2,969	2,929	2,898	2,878	2,874	2,888	2,924	2,987	3,077	3,196	3,346
22	6,124	5,780	5,576	5,433	5,319	5,222	5,135	5,057	4,986	4,920	4,860	4,808	4,768	4,743	4,739	4,763	4,818	4,912	5,047	5,227

23	4,673	4,352	4,169	4,040	3,938	3,851	3,776	3,709	3,648	3,593	3,544	3,505	3,479	3,470	3,483	3,523	3,594	3,700	3,843	4,023
24	3,778	3,484	3,318	3,200	3,112	3,039	2,976	2,920	2,872	2,829	2,795	2,772	2,763	2,774	2,809	2,871	2,965	3,091	3,252	3,446
25	4,726	4,416	4,234	4,106	4,006	3,921	3,846	3,779	3,720	3,668	3,627	3,599	3,590	3,604	3,645	3,717	3,821	3,960	4,131	4,337
26	3,535	3,252	3,095	2,983	2,902	2,832	2,775	2,724	2,682	2,649	2,628	2,624	2,642	2,684	2,754	2,853	2,982	3,141	3,326	3,541
27	3,398	3,102	2,950	2,860	2,788	2,733	2,688	2,652	2,626	2,612	2,616	2,641	2,691	2,769	2,878	3,016	3,184	3,379	3,594	3,840

**APÊNDICE E – PLANILHA DE ENTRADA DE SIMULAÇÃO DE REDES NEURAIS  
ARTIFICIAIS PARA RESISTÊNCIA DO MODELO 1**

Cb	L	B	T	S	V	Rt
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	0,5	4,4
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	1	16,6
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	1,5	36,2
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	2	63
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	2,5	96,8
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	3	137,5
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	3,5	184,9
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	4	238,9
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	4,5	299,4
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	5	366,2
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	5,5	439,3
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	6	518,6
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	6,5	603,8
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	7	695,1
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	7,5	792,1
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	8	894,9
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	8,5	1003,4
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	9	1117,4
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	9,5	1236,9
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	10	1361,8
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	10,5	1492,1
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	11	1627,7
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	11,5	1768,6
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	12	1915
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	12,5	2066,8
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	13	2224,2
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	13,5	2387,6
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	14	2557,2
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	14,5	2733,5
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	15	2917
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	15,5	3108,4
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	16	3308,4
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	16,5	3517,9
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	17	3738
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	17,5	3969,8
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	18	4214,6
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	18,5	4473,7
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	19	4748,6
0,8	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	19,5	5040,9

---

<b>0,8</b>	274,5	48,07356	20,03065	20521,1	20	5352
------------	-------	----------	----------	---------	----	------

---

## APÊNDICE F – CÓDIGO UTILIZADO PARA ELABORAÇÃO DA FERRAMENTA

```

Private Sub Botao_Click()
'Copy input values to sheet.
  Dim IRow As Long
  Dim ws As Worksheet
  Set ws = Worksheets("Entrada de Dados")
  IRow = ws.Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Offset(1, 0).row
  With ws
    .Cells(1, 2).Value = Me.Classe.Text
    .Cells(2, 2).Value = Me.Cb.Value
    .Cells(3, 2).Value = Me.Calado.Value
    .Cells(4, 5).Value = Me.S.Value
    .Cells(5, 2).Value = Me.V.Value
    .Cells(9, 5).Value = Me.Awl.Value
    .Cells(10, 5).Value = Me.Ma.Value
  End With
Unload Me

For i = 2 To 22
  Worksheets("Entrada de Dados").Cells(5, 2).Value = Worksheets("Resistência").Cells(i, 1)
  Worksheets("Resistência").Cells(i, 2).Value = Worksheets("Entrada de Dados").Cells(12, 2)

  Next i
For j = 2 To 22
  Worksheets("Synapse Resistência").Cells(7, 2).Value = Worksheets("Resistência").Cells(j, 1)
  Worksheets("Resistência").Cells(j, 3).Value = Worksheets("Synapse Resistência").Cells(2, 4)

  Next j

If Worksheets("Entrada de Dados").Cells(1, 2) = "Suezmax" Then

  For i = 5 To 24
    Worksheets("GMt").Cells(61, 14).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 1)
    Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 2).Value = Worksheets("GMt").Cells(60, 20)
    Worksheets("KMt").Cells(61, 14).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 1)
    Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 3).Value = Worksheets("KMt").Cells(60, 20)
  Next i
  For j = 6 To 14
    Worksheets("GZ2").Cells(62, 17).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(j, 6)
    Worksheets("Estabilidade").Cells(j, 7).Value = Worksheets("GZ2").Cells(61, 24)
  Next j

Elseif Worksheets("Entrada de Dados").Cells(1, 2) = "Aframax" Then
  For i = 5 To 24
    Worksheets("GMt").Cells(61, 14).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 1)
    Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 2).Value = Worksheets("GMt").Cells(61, 20)
    Worksheets("KMt").Cells(61, 14).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 1)
    Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 3).Value = Worksheets("KMt").Cells(61, 20)
  Next i
  For j = 6 To 14
    Worksheets("GZ2").Cells(62, 17).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(j, 6)
    Worksheets("Estabilidade").Cells(j, 7).Value = Worksheets("GZ2").Cells(62, 24)
  Next j

Elseif Worksheets("Entrada de Dados").Cells(1, 2) = "Panamax" Then
  For i = 5 To 24
    Worksheets("GMt").Cells(61, 14).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 1)
    Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 2).Value = Worksheets("GMt").Cells(62, 20)

```

```

Worksheets("KMt").Cells(61, 14).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 1)
Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 3).Value = Worksheets("KMt").Cells(62, 20)
Next i
For j = 6 To 14
Worksheets("GZ2").Cells(62, 17).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(j, 6)
Worksheets("Estabilidade").Cells(j, 7).Value = Worksheets("GZ2").Cells(63, 24)
Next j
End If

For i = 5 To 24
Worksheets("Synapse GMt KMt").Cells(5, 2).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 1)
Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 4).Value = Worksheets("Synapse GMt KMt").Cells(2, 4)
Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 5).Value = Worksheets("Synapse GMt KMt").Cells(3, 4)

Next i

For i = 5 To 14
Worksheets("Synapse GZ").Cells(6, 2).Value = Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 6)
Worksheets("Estabilidade").Cells(i, 8).Value = Worksheets("Synapse GZ").Cells(2, 4)

Next i

End Sub

Private Sub Regressao_Change()

If Regressao.Value = True Then
Me.S.Enabled = False
ElseIf CheckBox1.Value = False Then
Me.S.Enabled = True
End If

End Sub

Private Sub Cb_AfterUpdate()
If Me.Cb.Text < "0.8" Or Me.Cb.Text > "0.9" Then
MsgBox "Valor para Coeficiente de Bloco fora da faixa"
End If

End Sub

Private Sub Calado_AfterUpdate()
If Me.Classe.Text = "Panamax" Then
If Me.Calado.Text < 6.97 Or Me.Calado.Text > 13.4 Then
MsgBox "Valor para Calado fora da faixa"
End If
ElseIf Me.Classe.Text = "Aframax" Then
If Me.Calado.Text < 9.56 Or Me.Calado.Text > 18.4 Then
MsgBox "Valor para Calado fora da faixa"
End If
ElseIf Me.Classe.Text = "Suezmax" Then
If Me.Calado.Text < 10.5 Or Me.Calado.Text > 20.1 Then
MsgBox "Valor para Calado fora da faixa"
End If

End If

End Sub

Private Sub Classe_Change()

```

```
If Me.Classe.Text = "Aframax" Then
Me.Lblsuez.Visible = False
Me.Lblpana.Visible = False
Me.Lblafra.Visible = True
Elseif Me.Classe.Text = "Suezmax" Then
Me.Lblsuez.Visible = True
Me.Lblpana.Visible = False
Me.Lblafra.Visible = False
Elseif Me.Classe.Text = "Panamax" Then
Me.Lblsuez.Visible = False
Me.Lblpana.Visible = True
Me.Lblafra.Visible = False
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub maregressao_Click()
If maregressao.Value = True Then
Me.Ma.Enabled = False
Elseif maregressao.Value = False Then
Me.Ma.Enabled = True
End If
End Sub
```

```
Private Sub Regresso_Change()
```

```
If Regresso.Value = True Then
Me.S.Enabled = False
Elseif Regresso.Value = False Then
Me.S.Enabled = True
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub awlregressao_change()
```

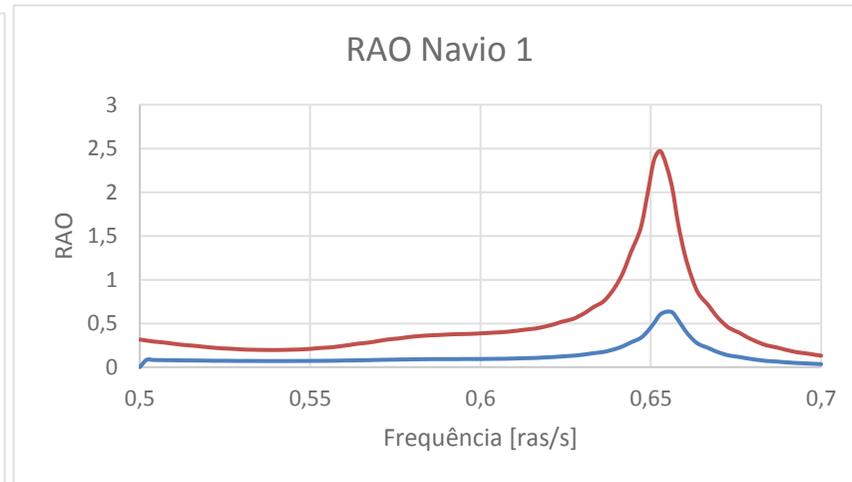
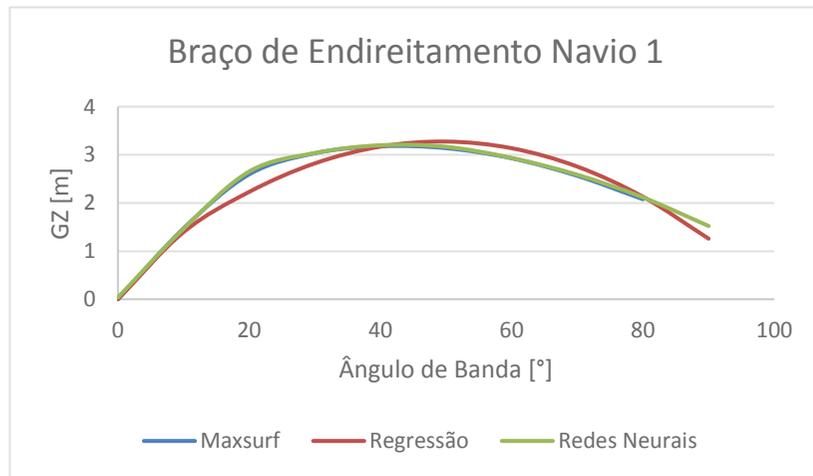
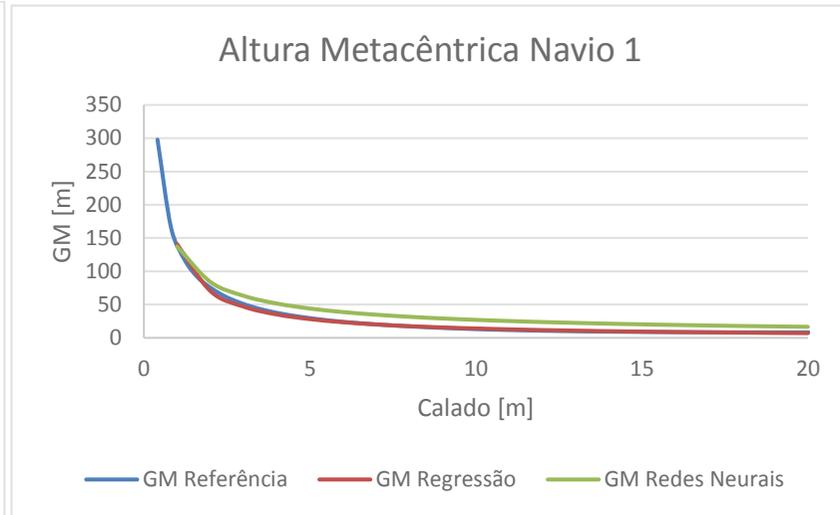
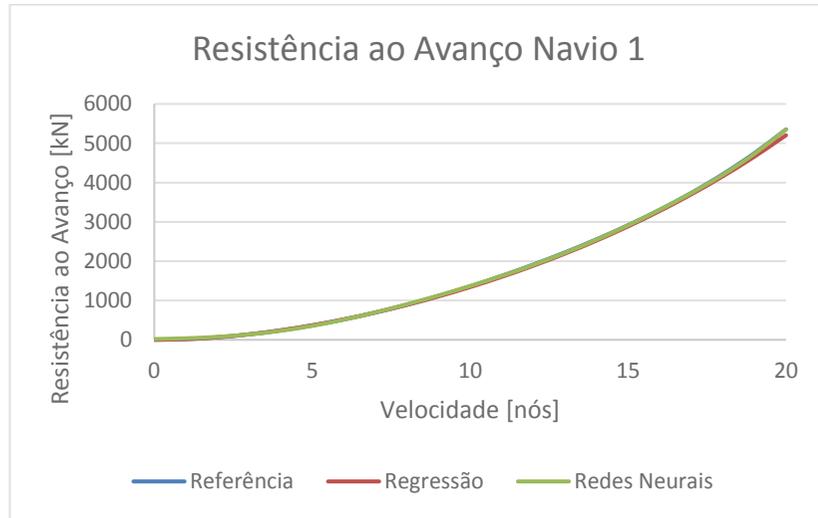
```
If awlregressao.Value = True Then
Me.Awl.Enabled = False
Elseif awlregressao.Value = False Then
Me.Awl.Enabled = True
End If
```

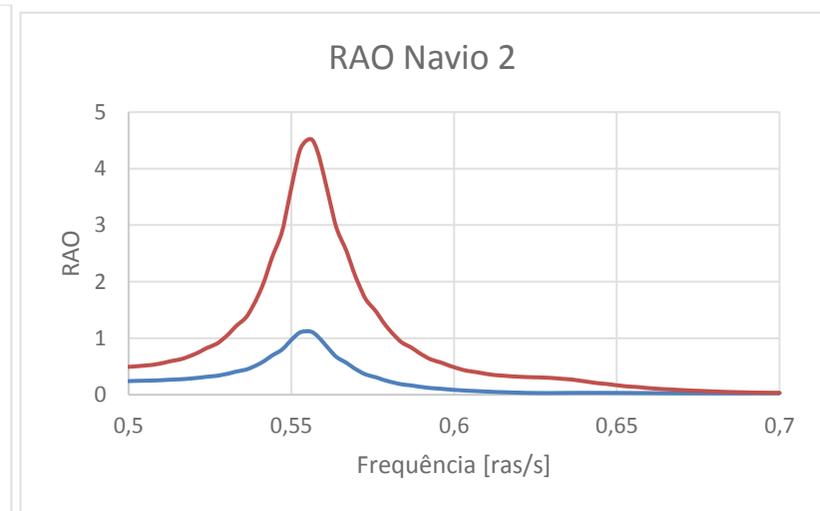
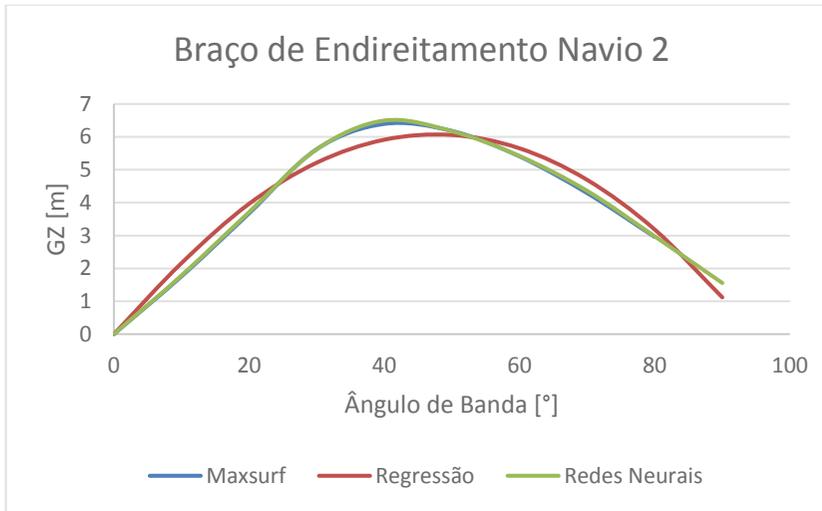
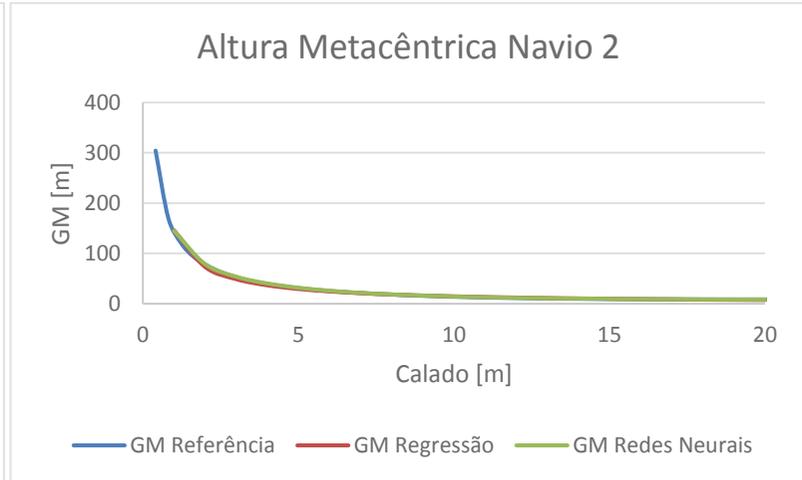
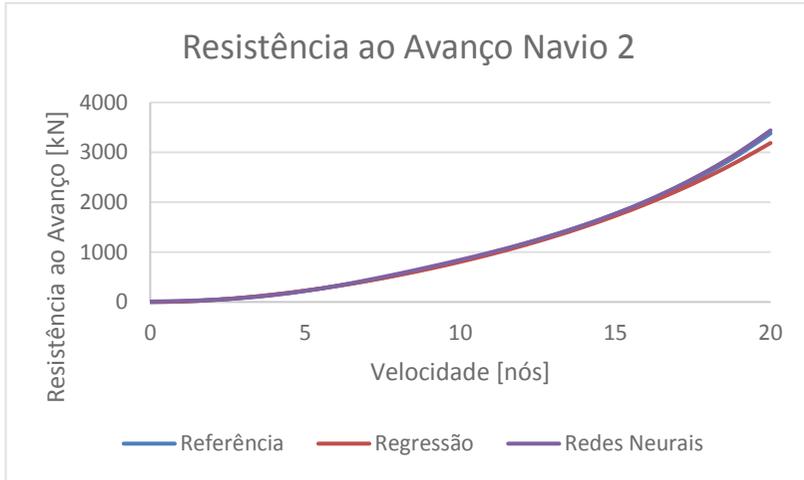
```
End Sub
```

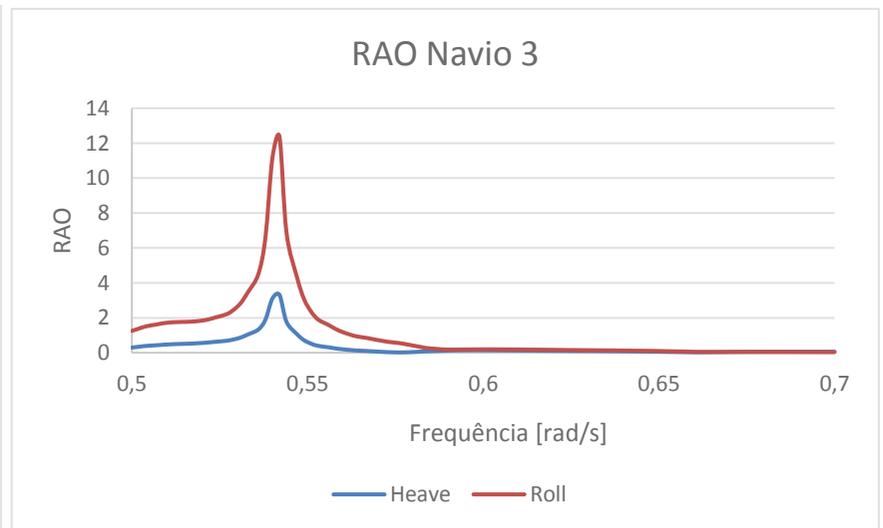
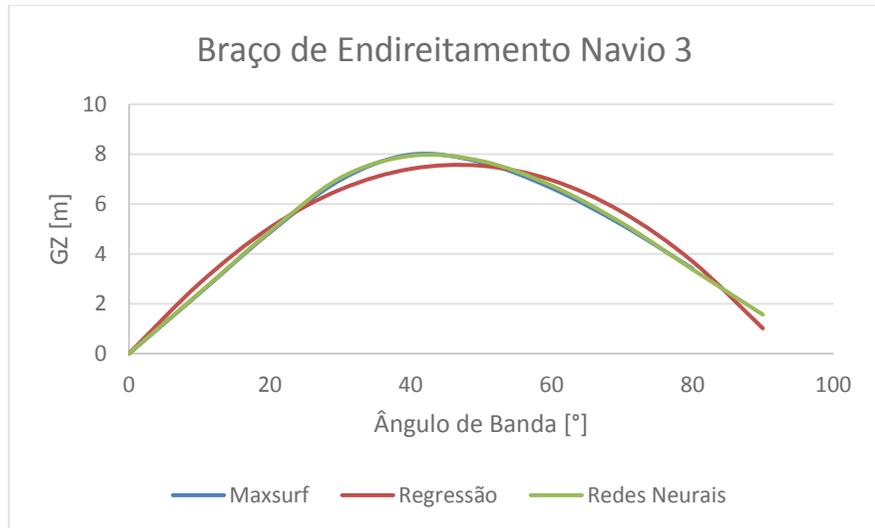
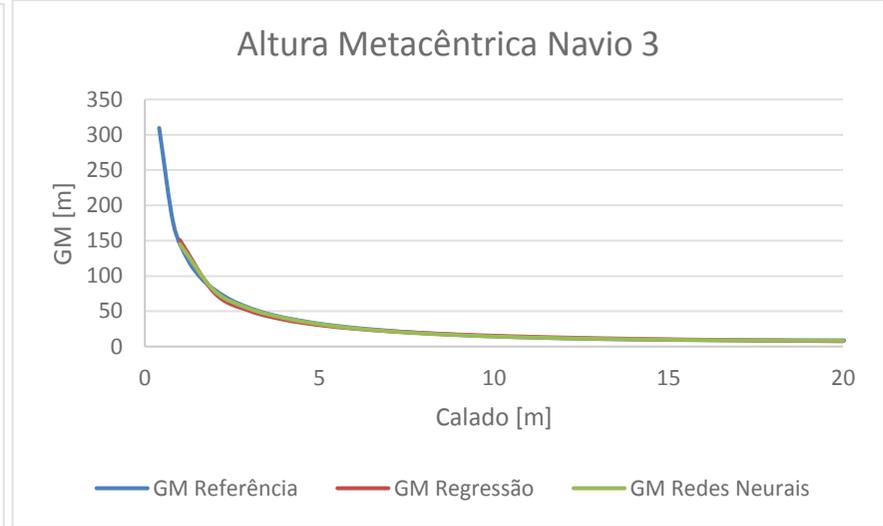
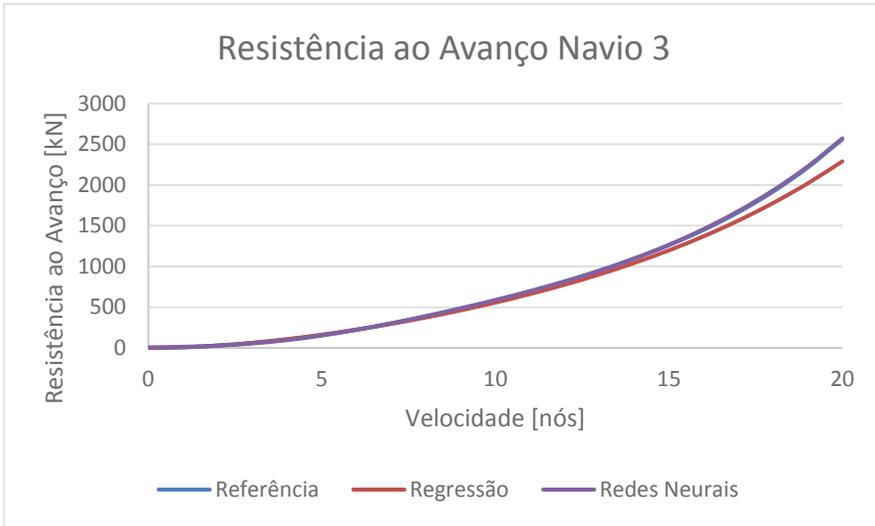
```
Private Sub UserForm_Click()
```

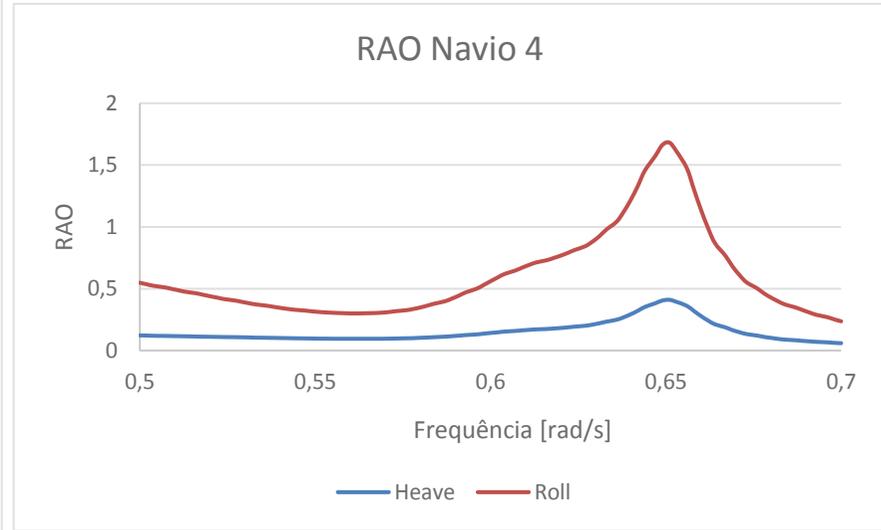
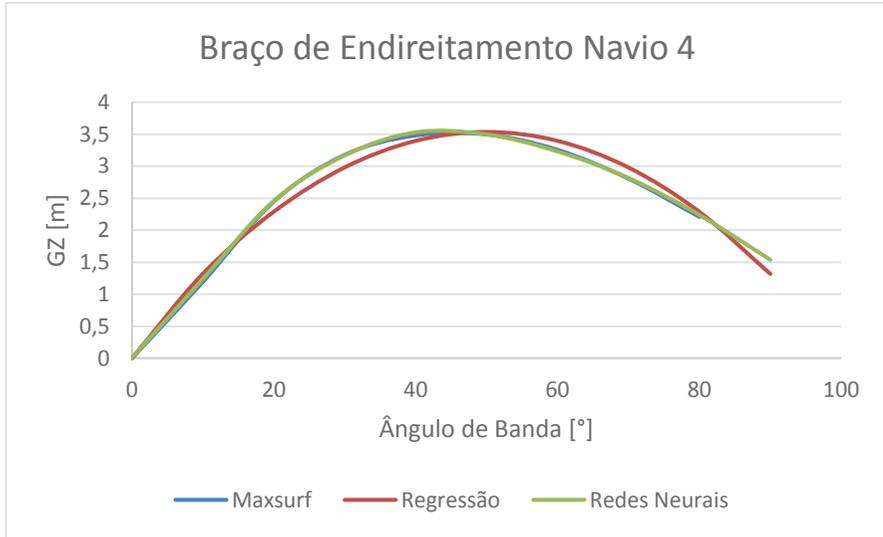
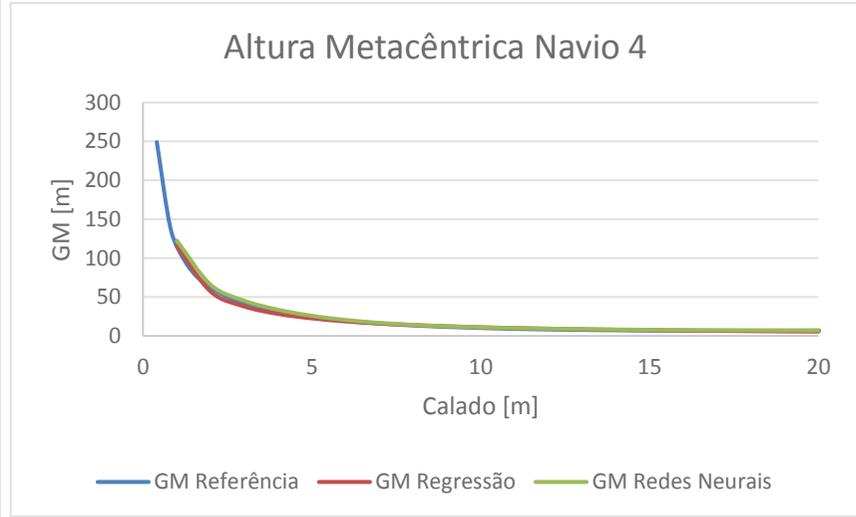
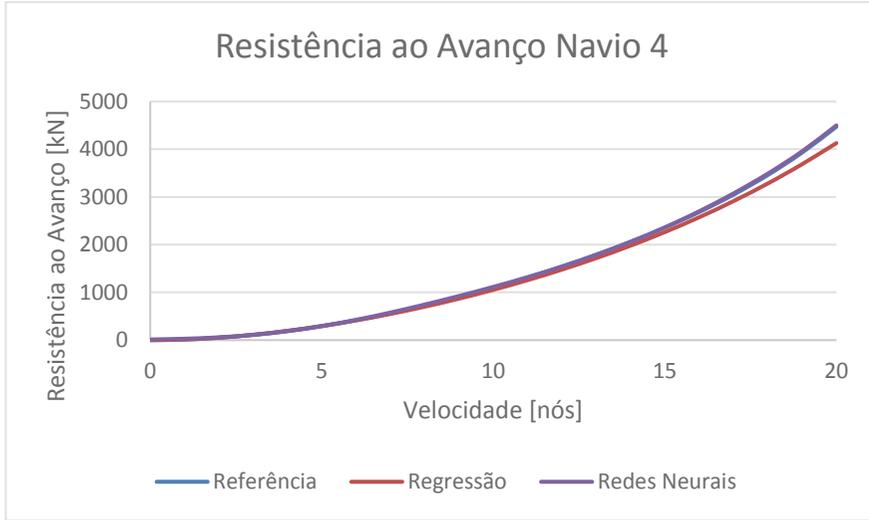
```
End Sub
```

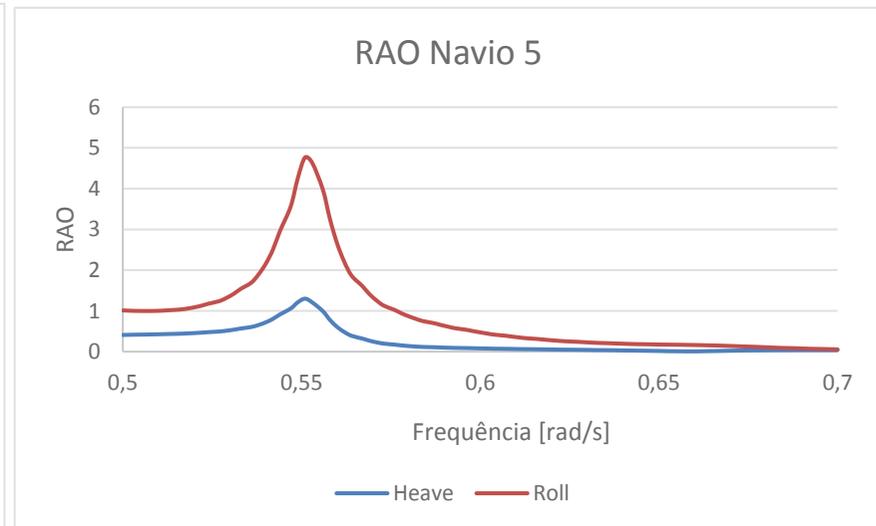
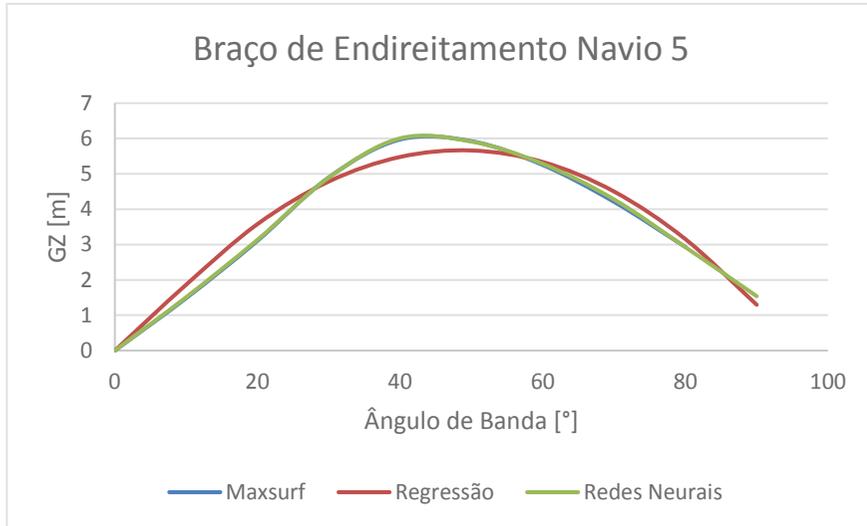
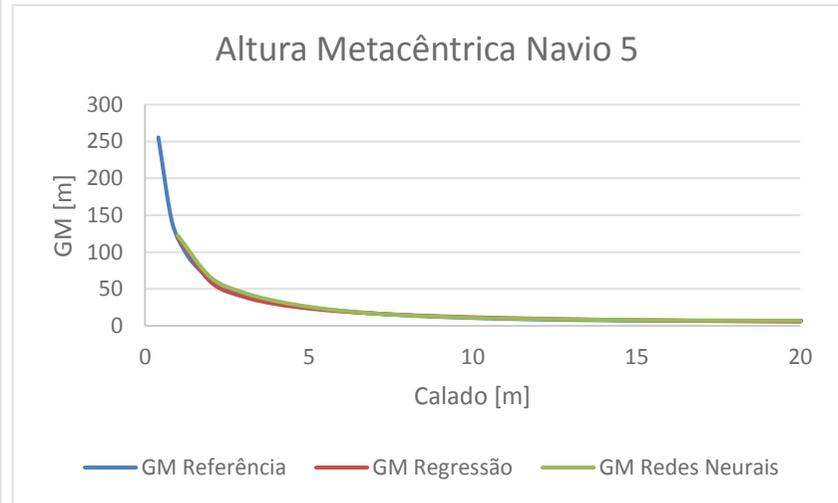
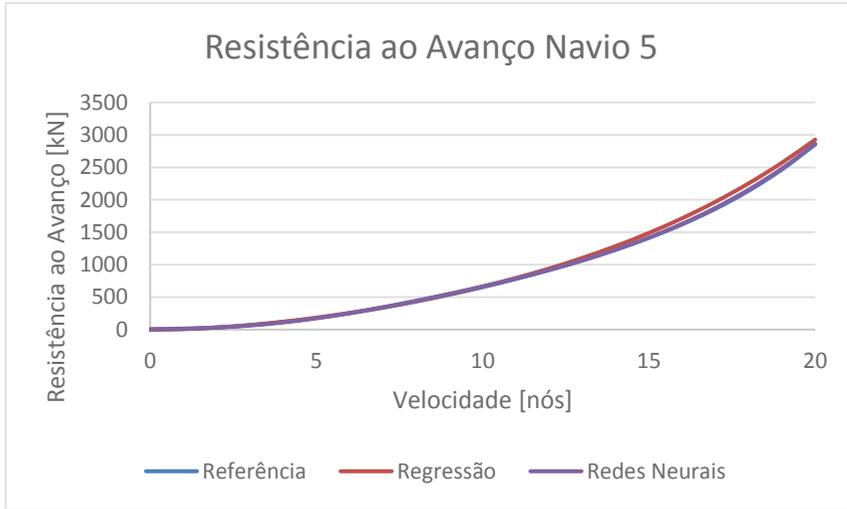
### APÊNDICE G – PARÂMETROS DOS MODELOS

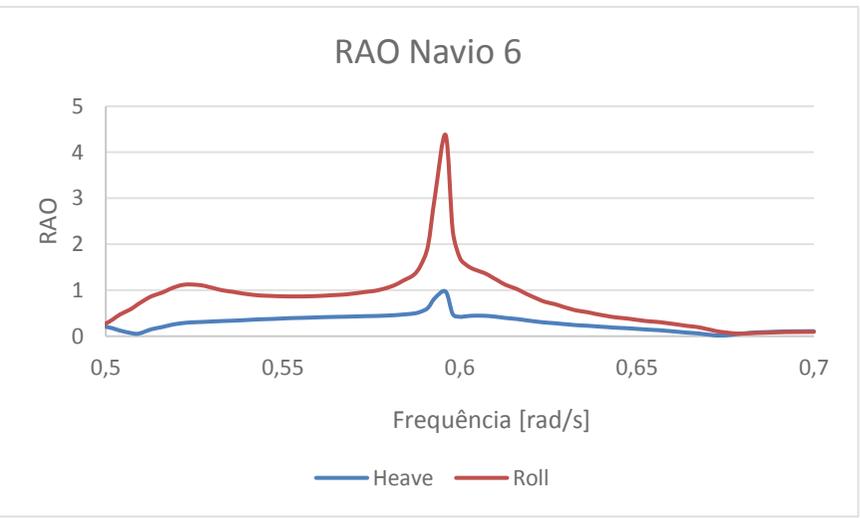
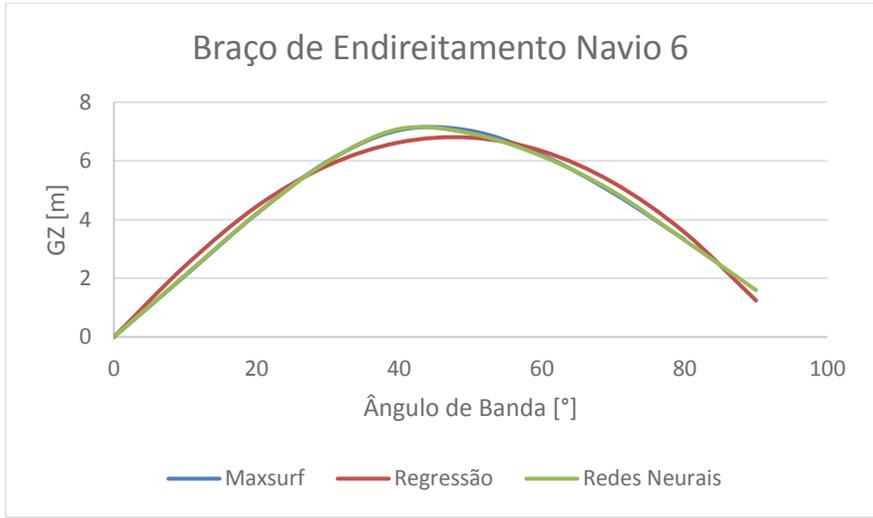
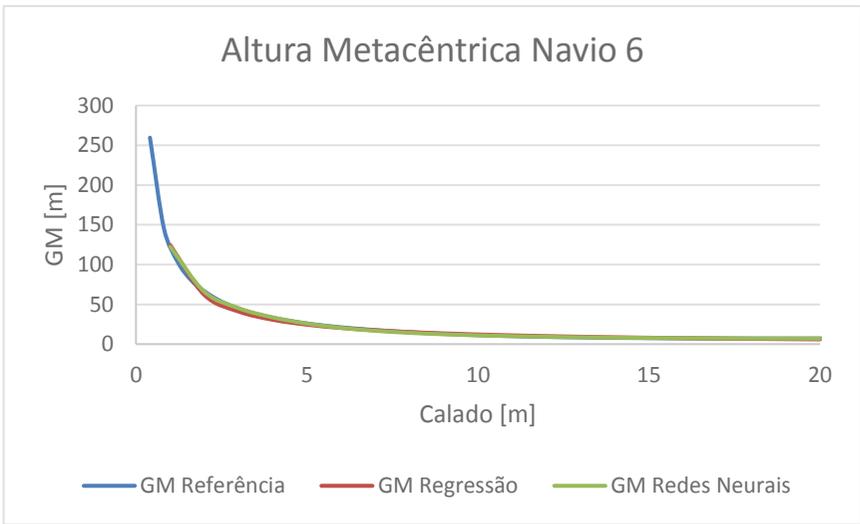
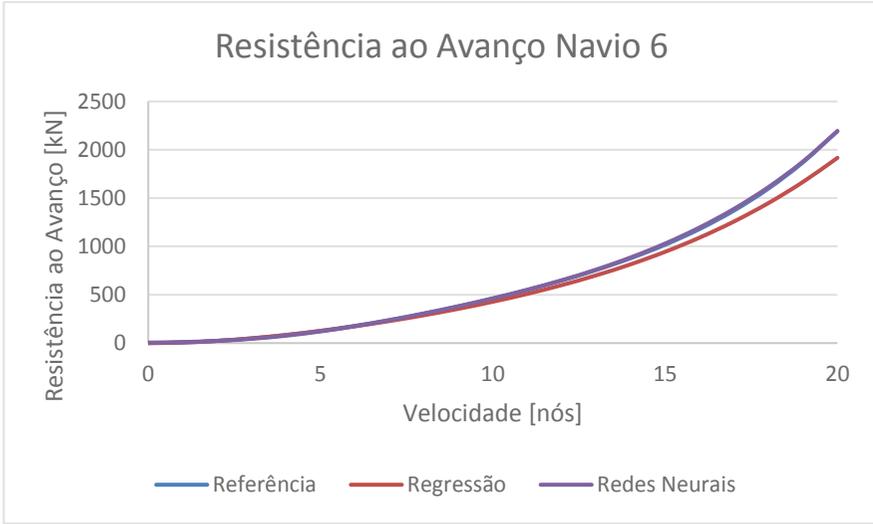


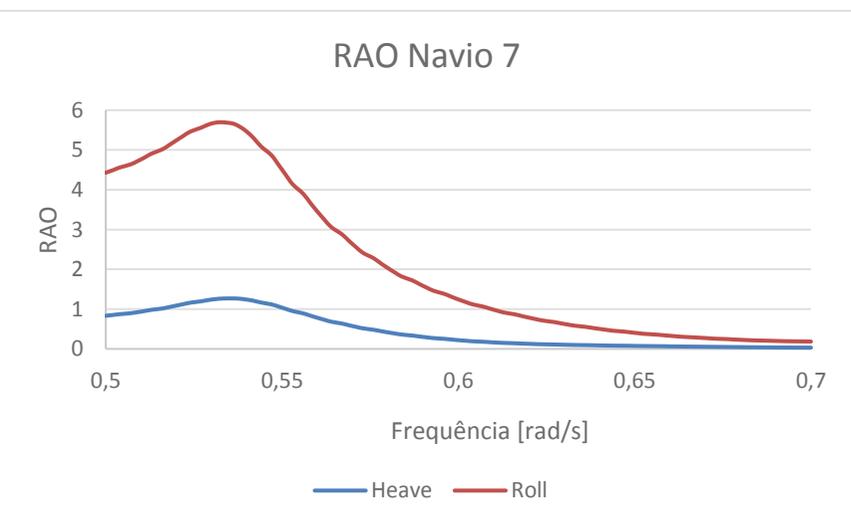
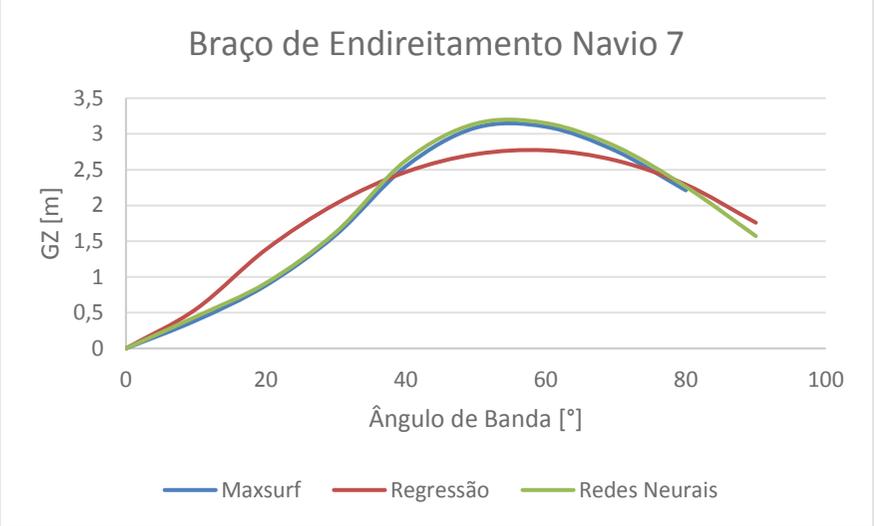
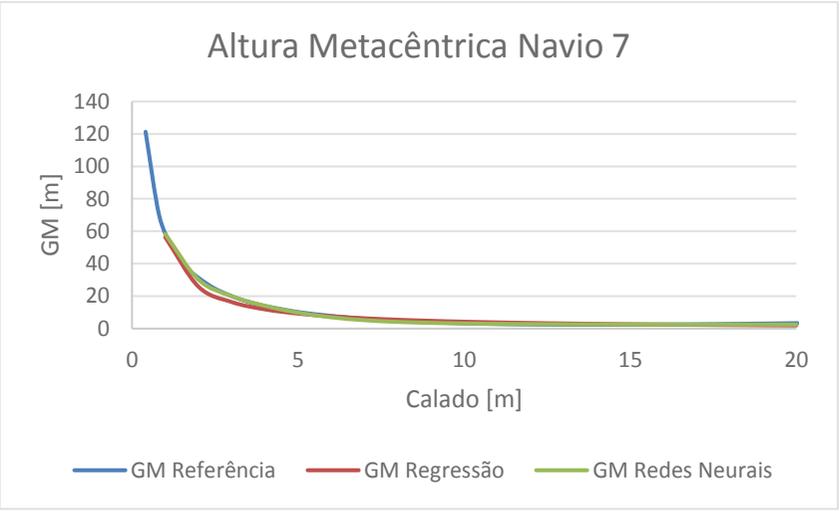
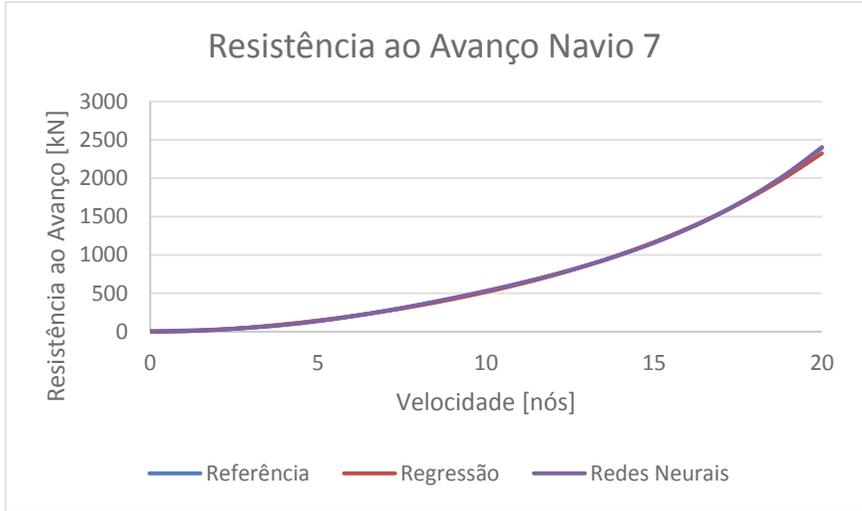


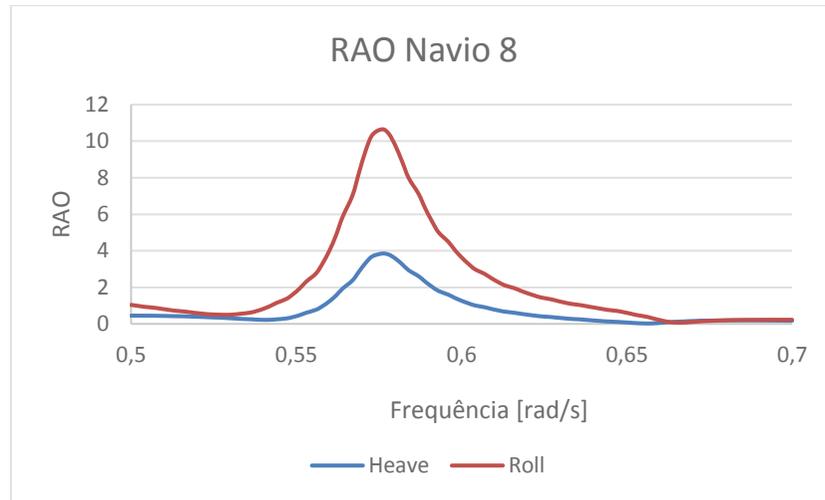
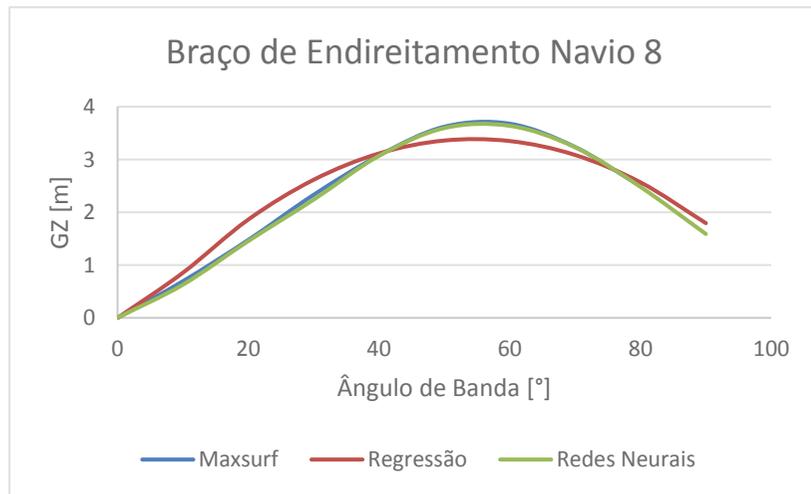
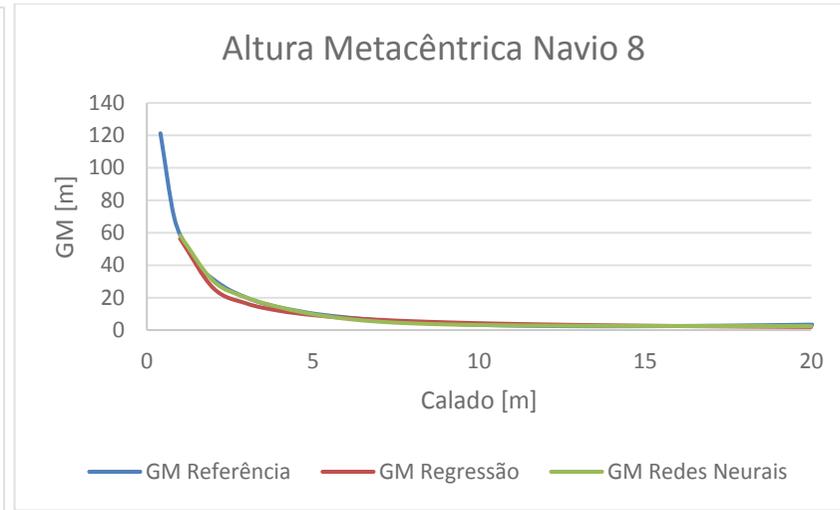
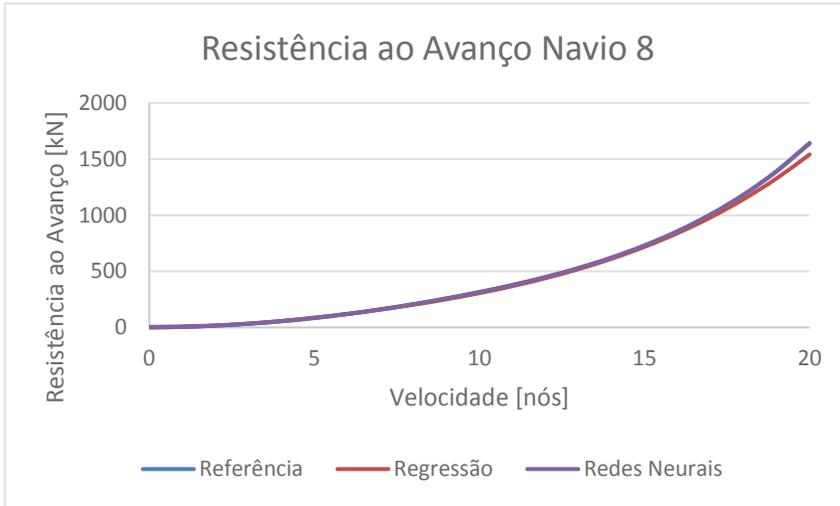


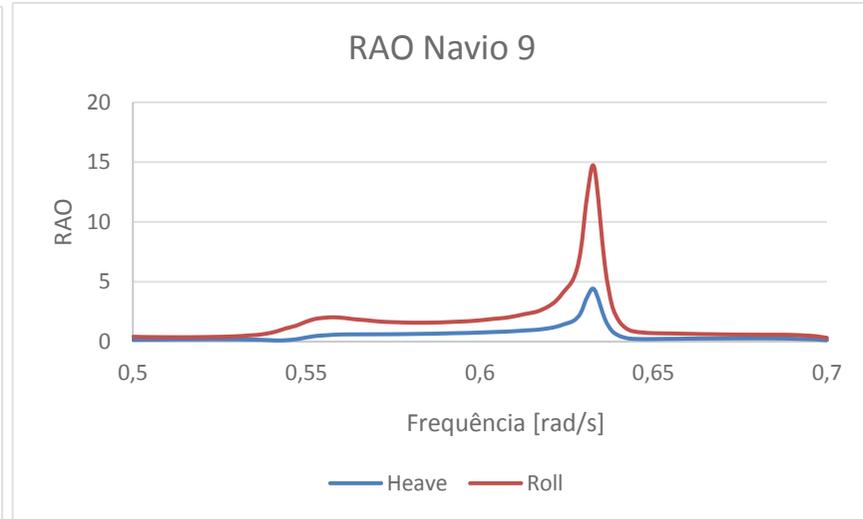
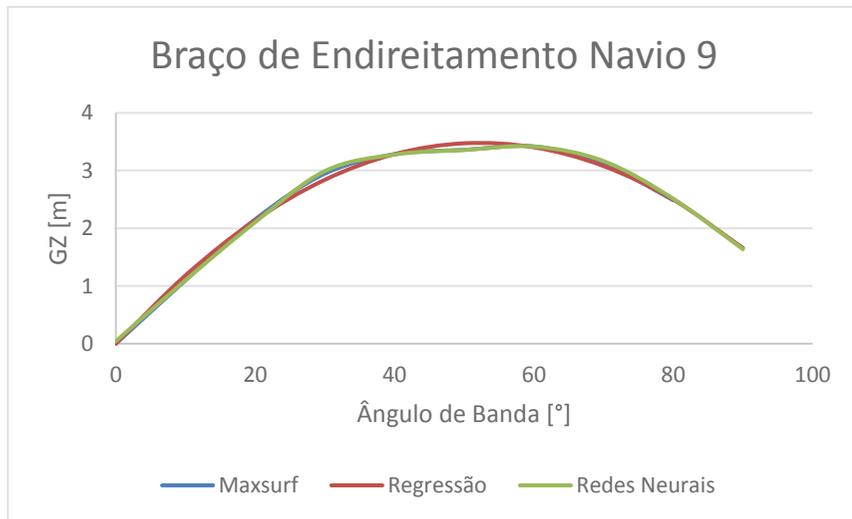
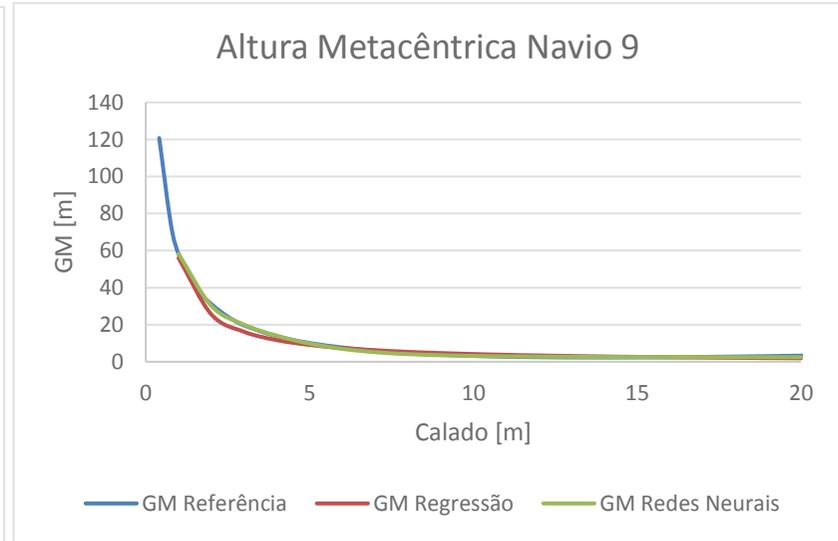
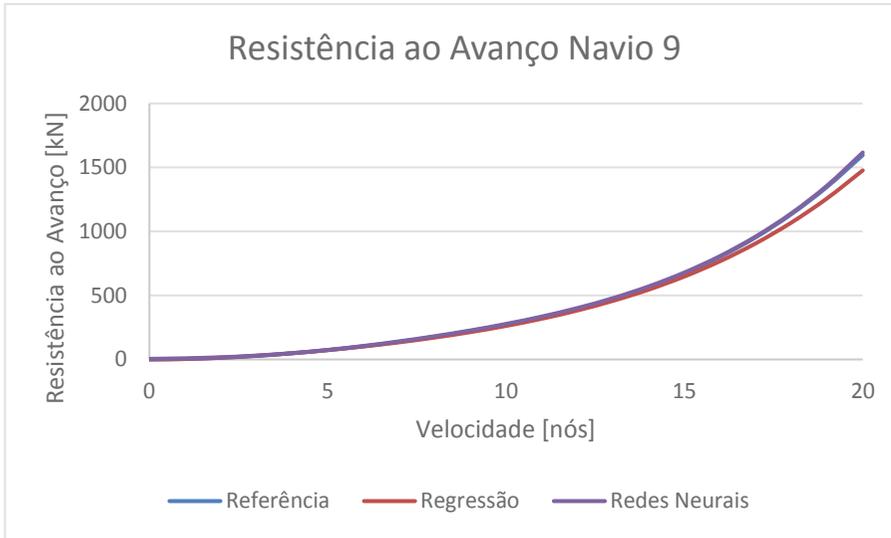


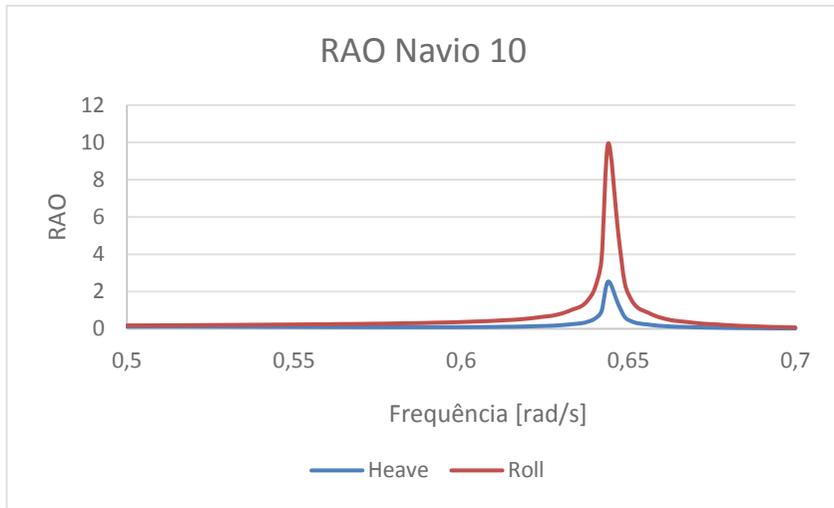
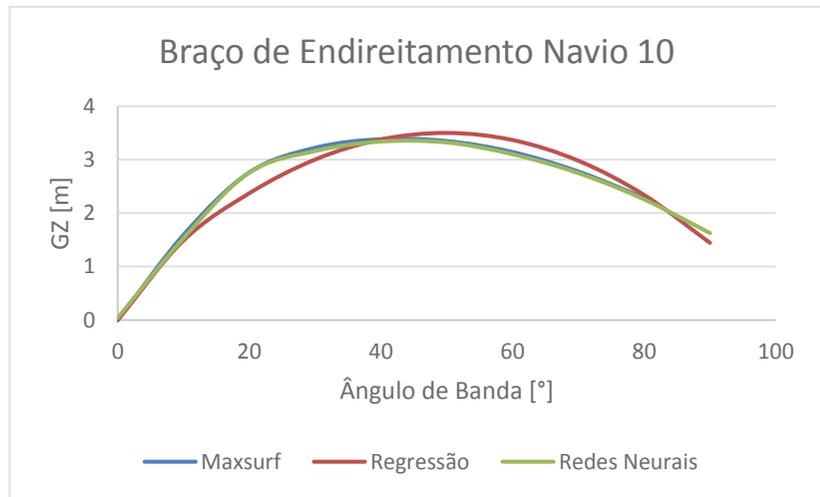
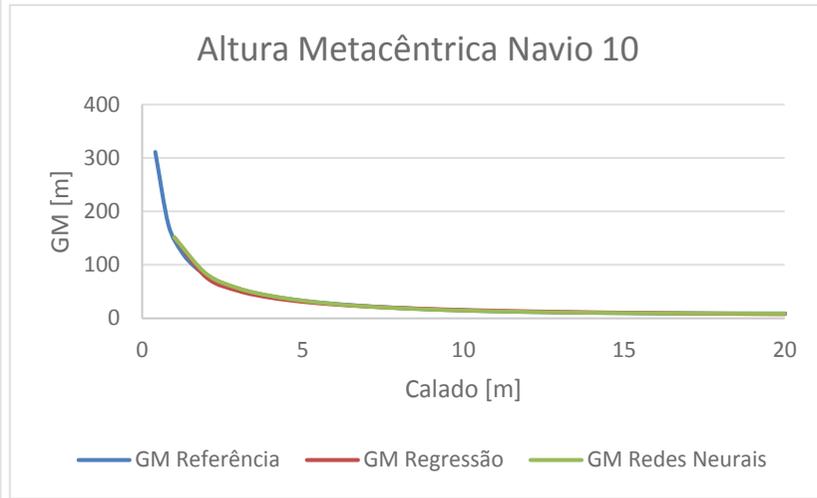
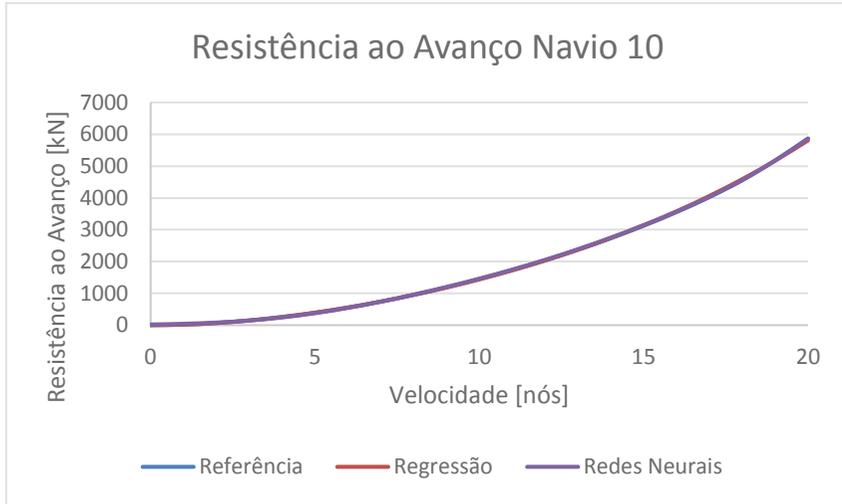


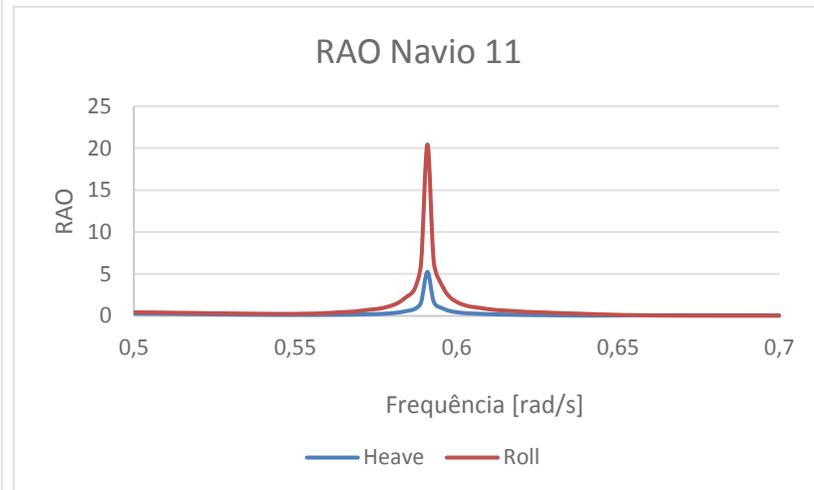
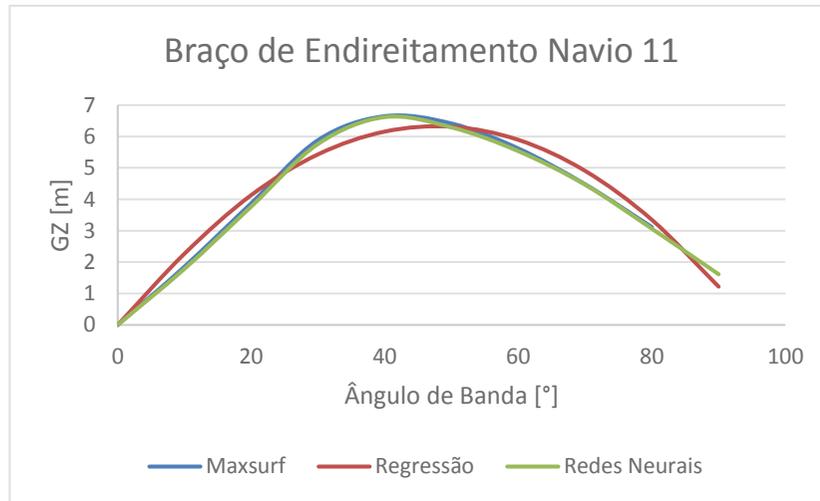
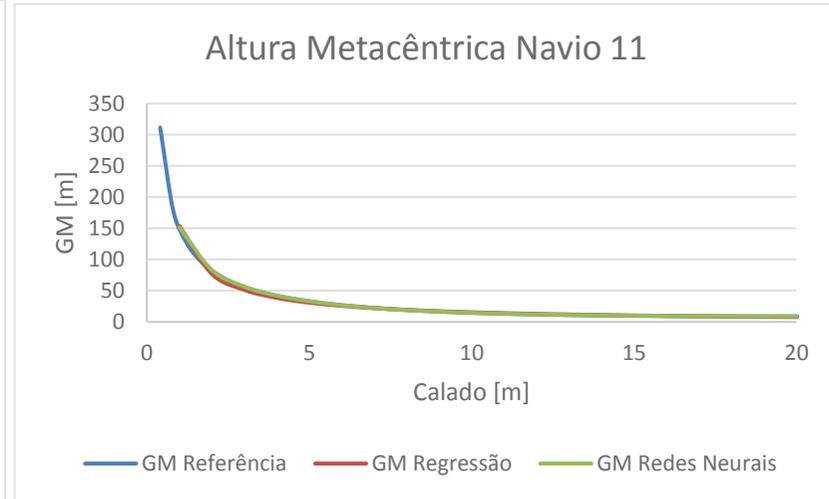
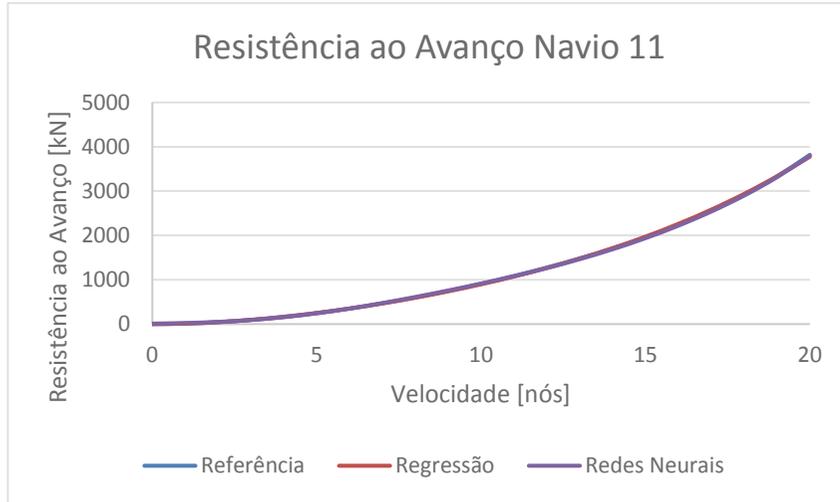


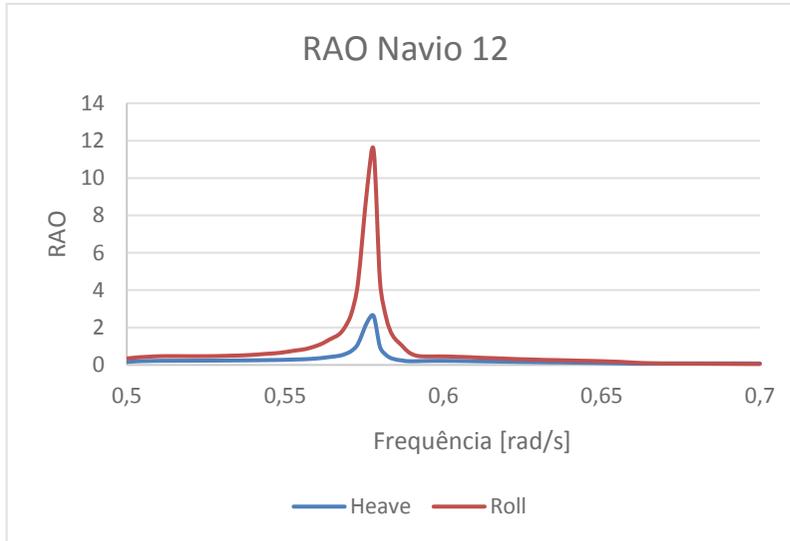
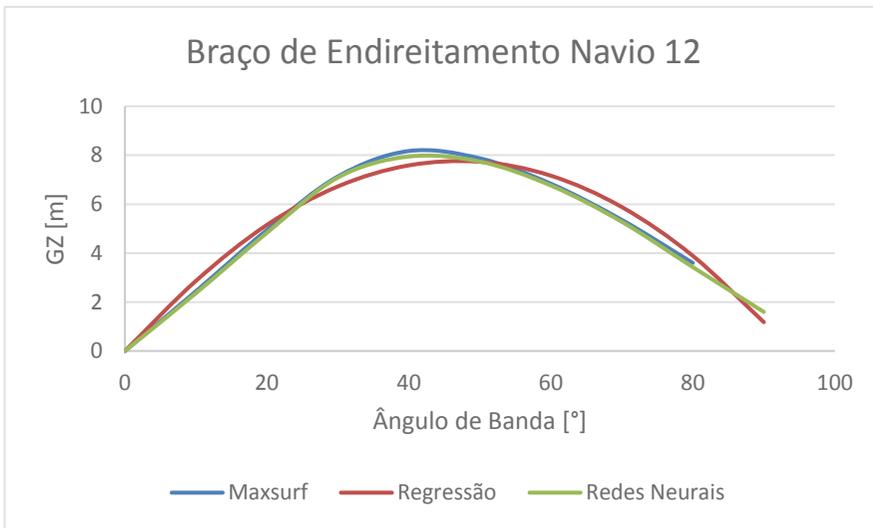
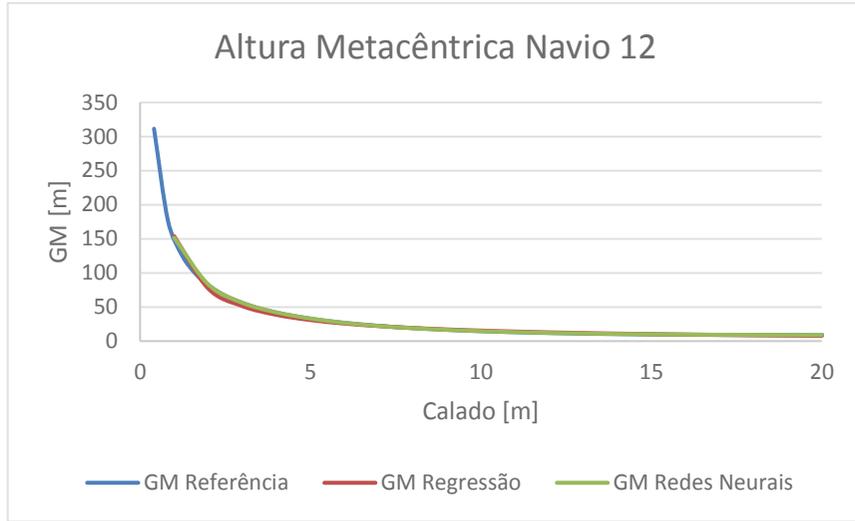
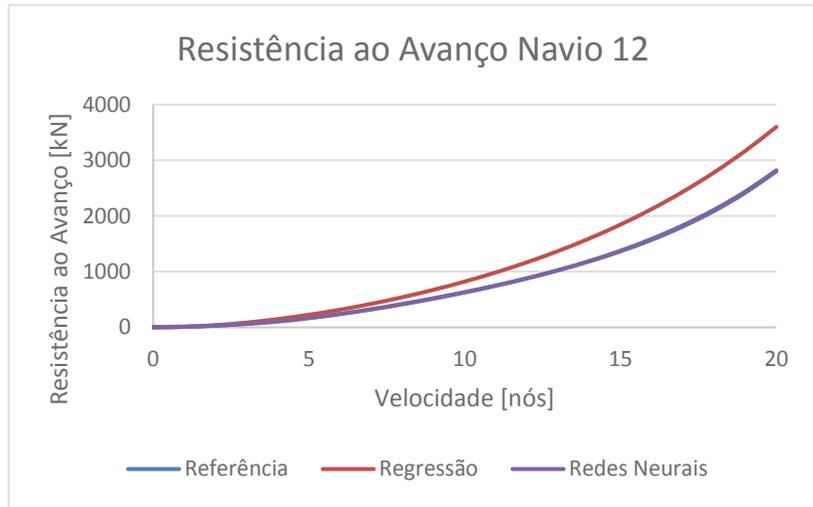


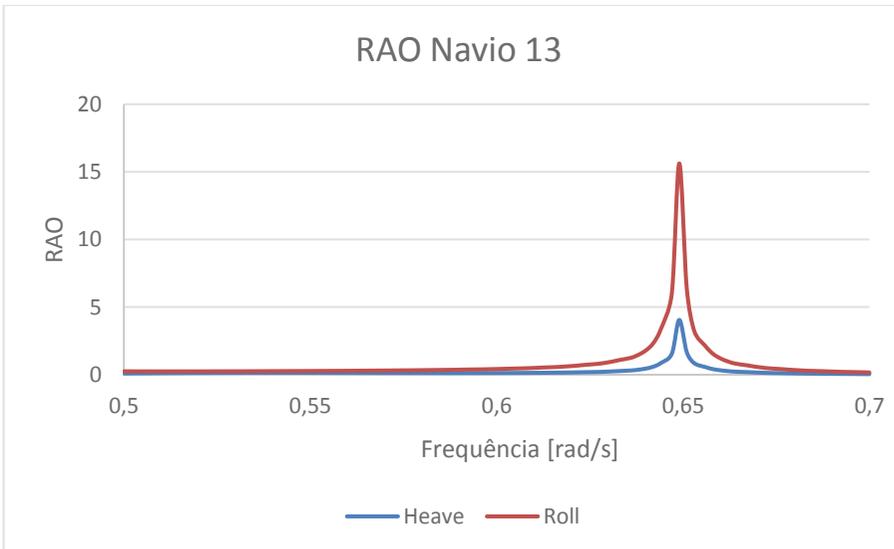
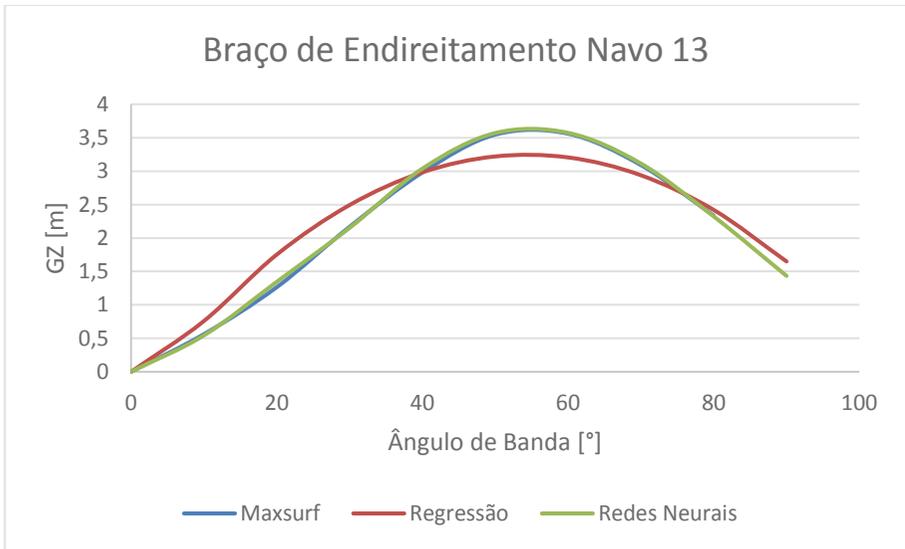
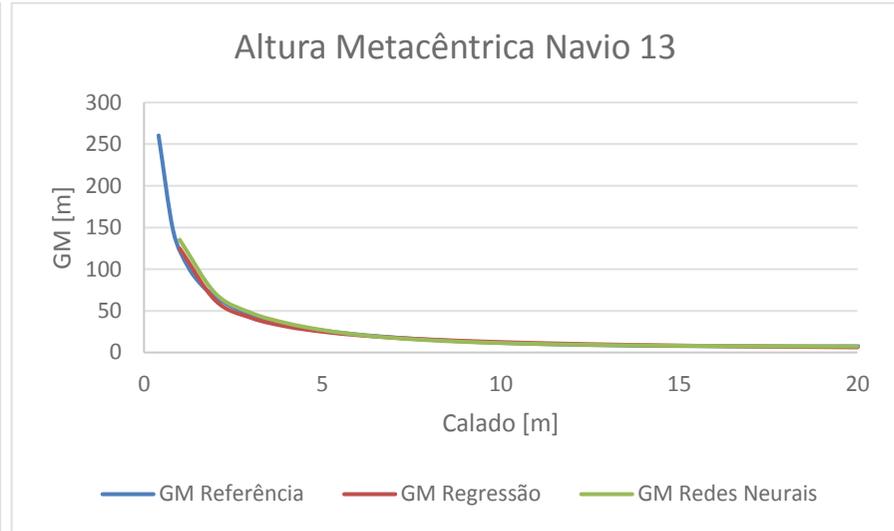
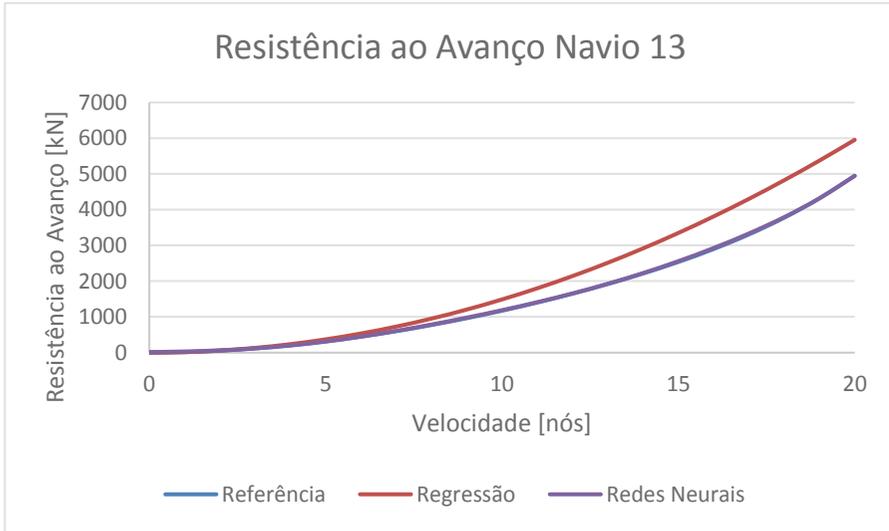


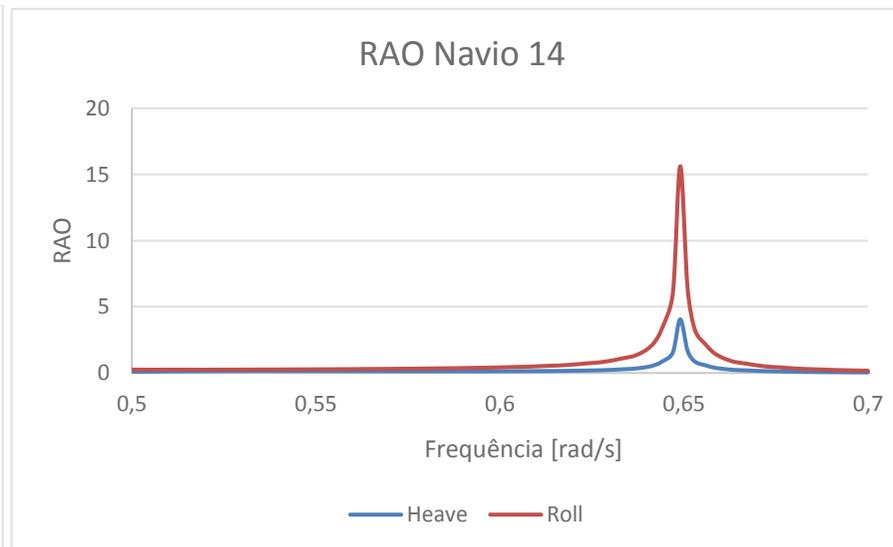
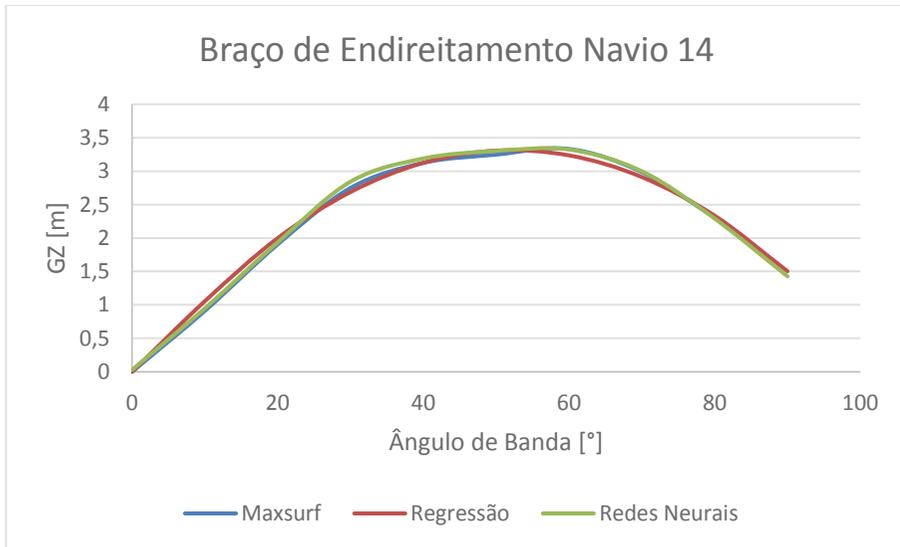
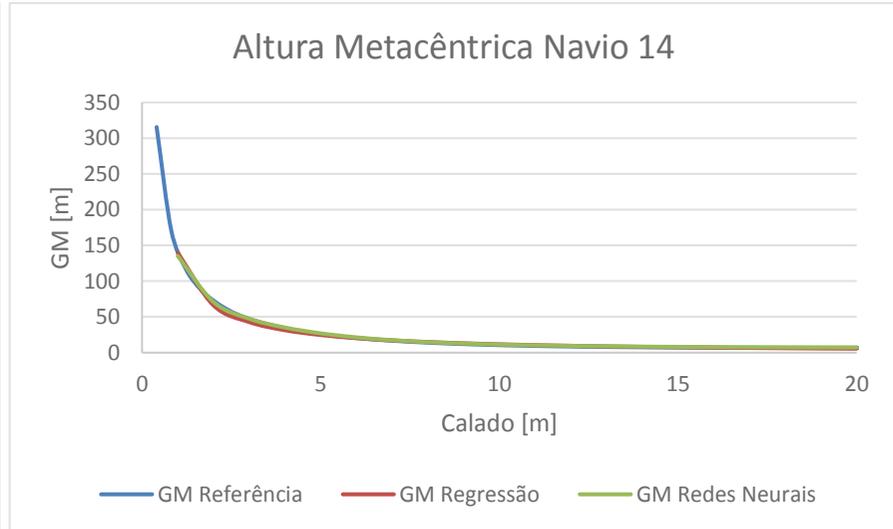
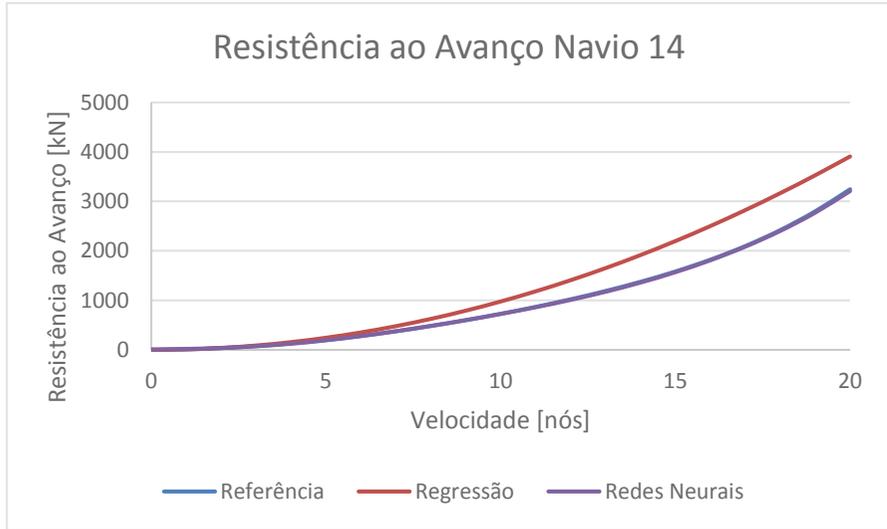


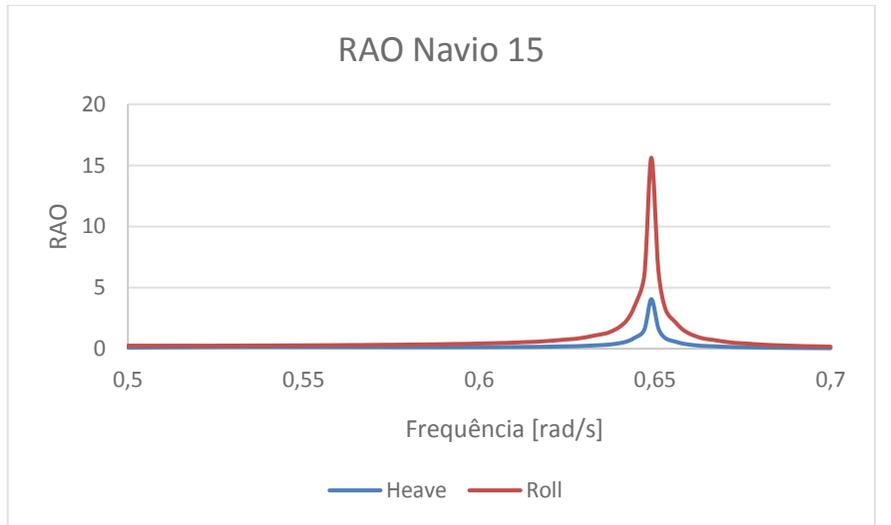
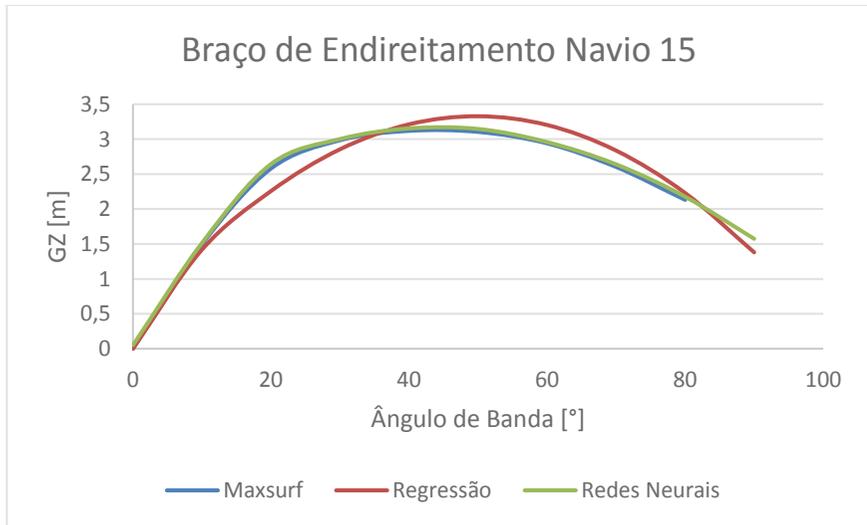
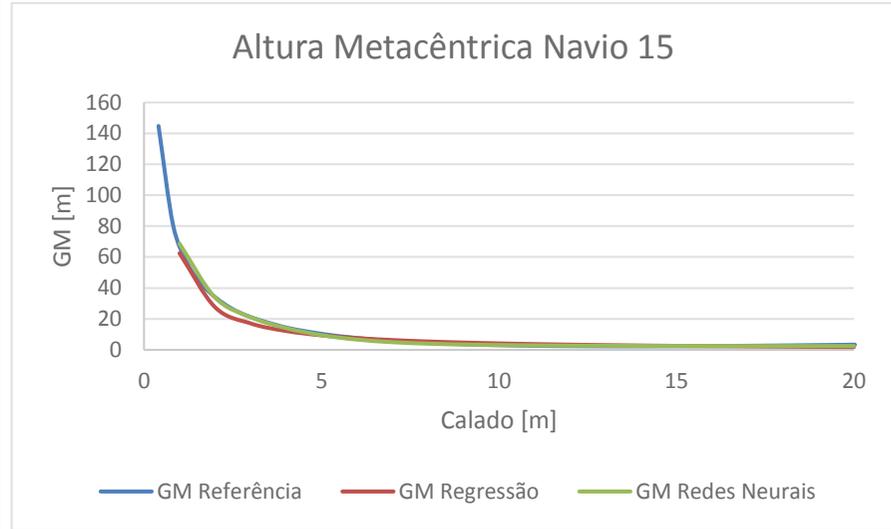
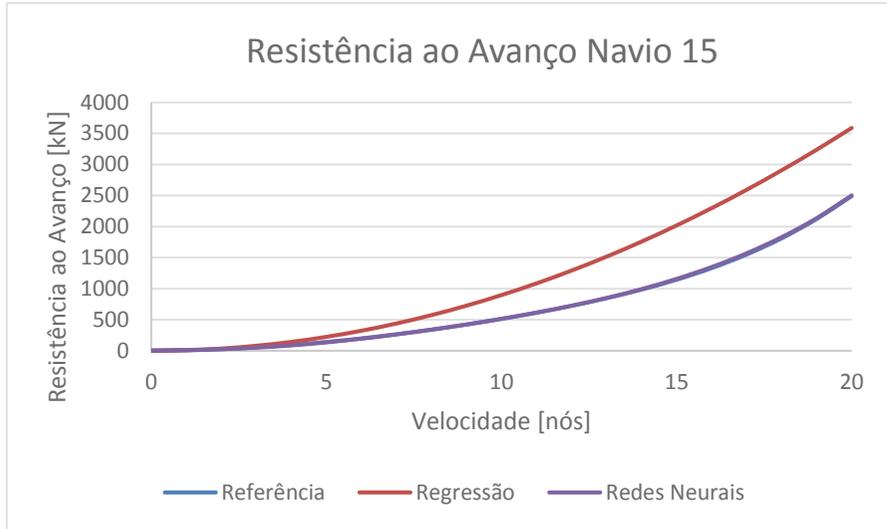


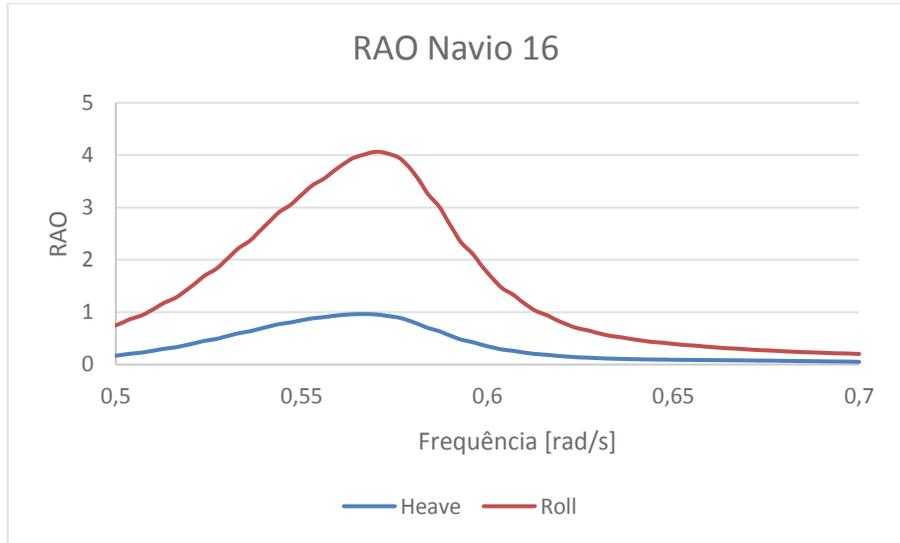
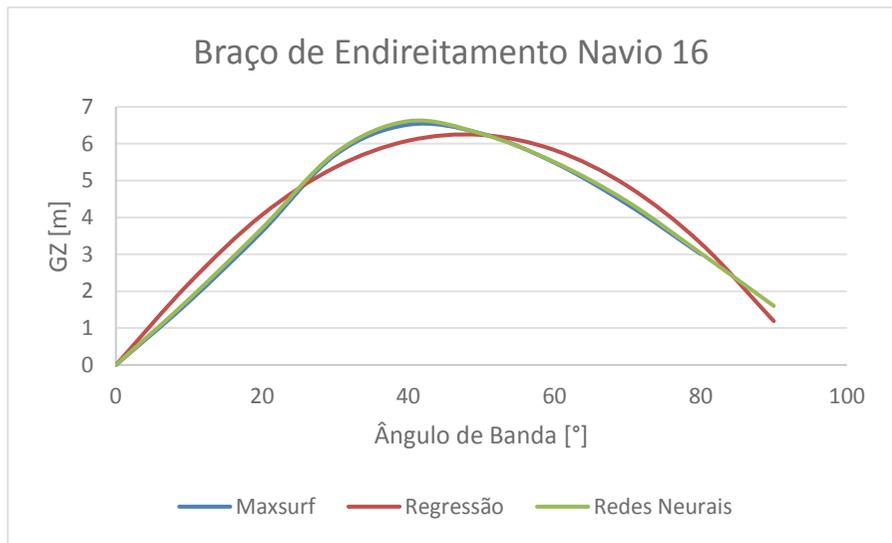
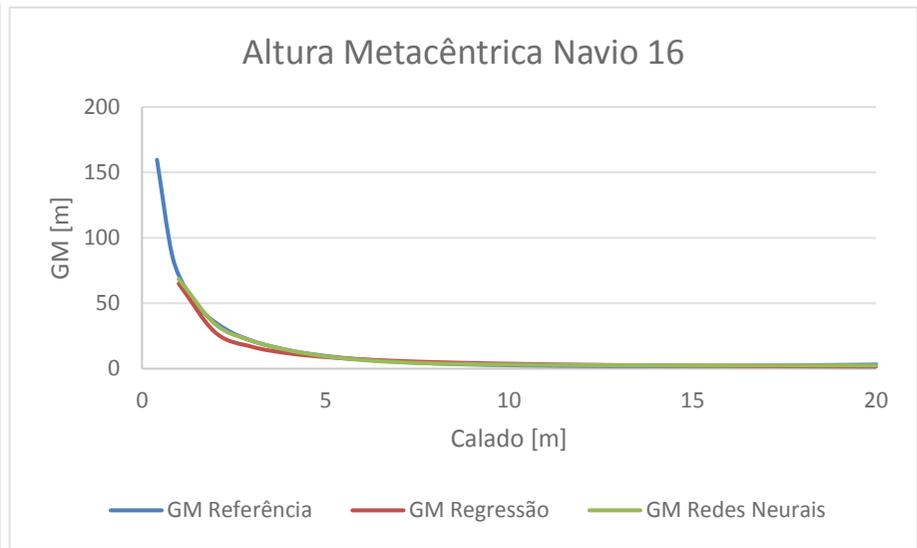
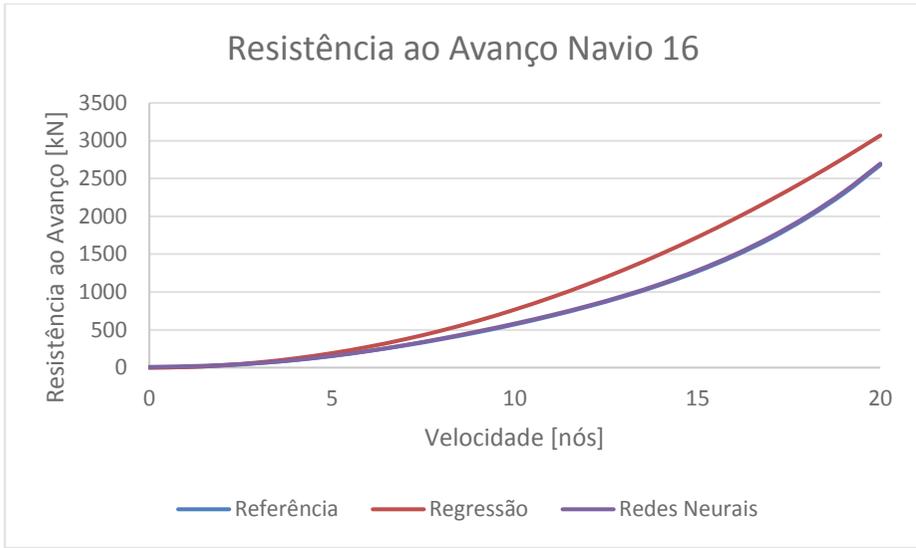


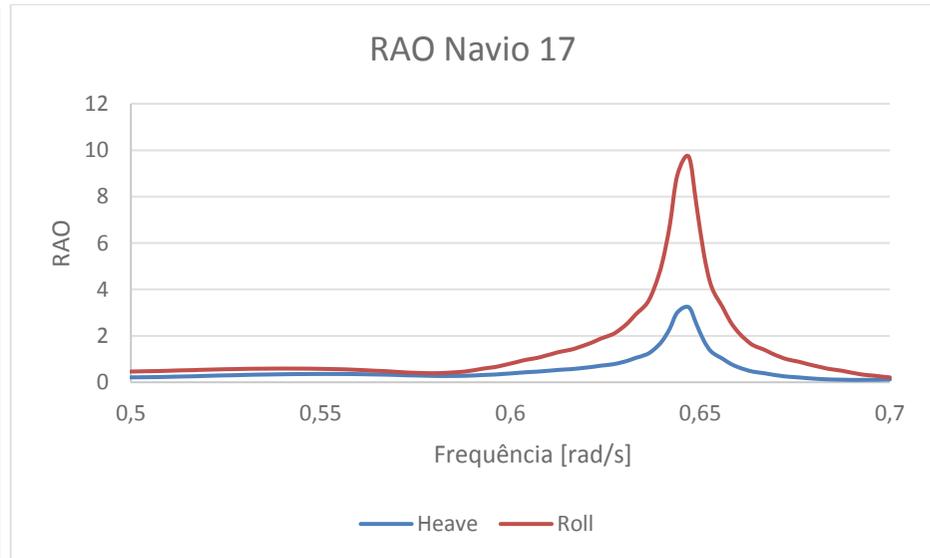
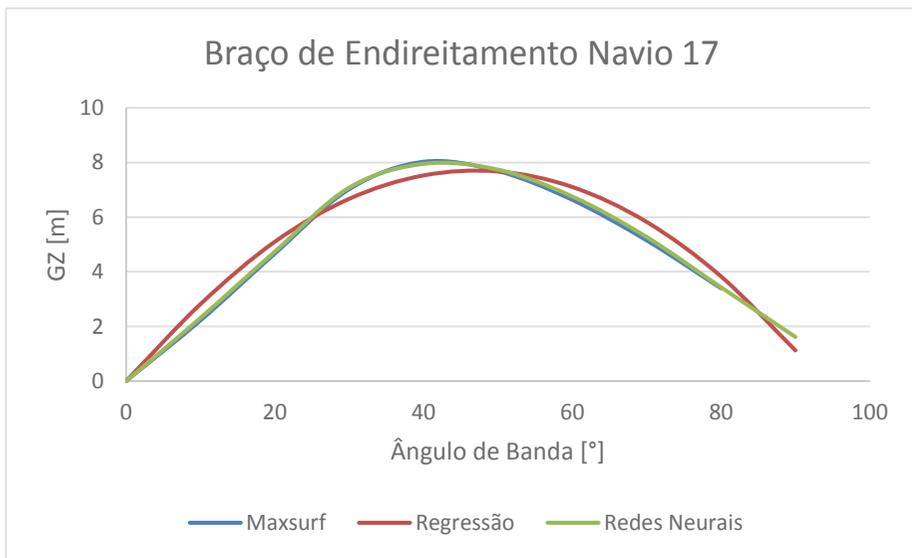
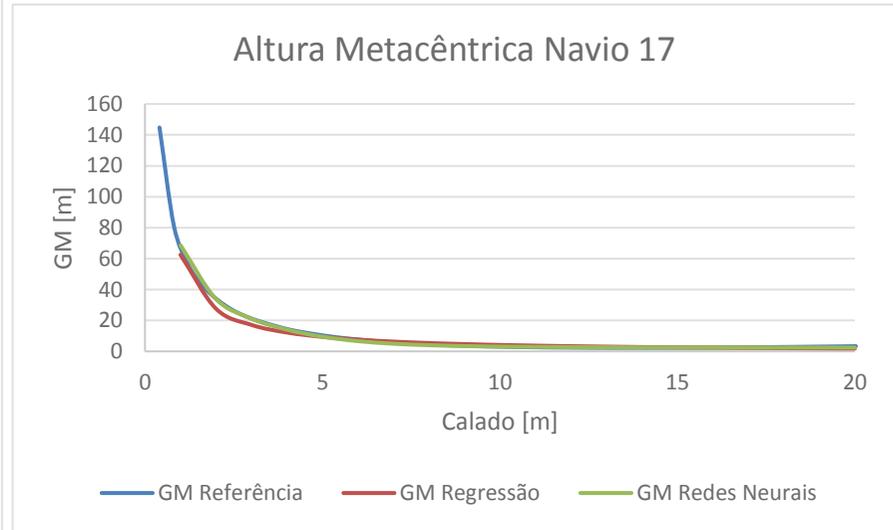
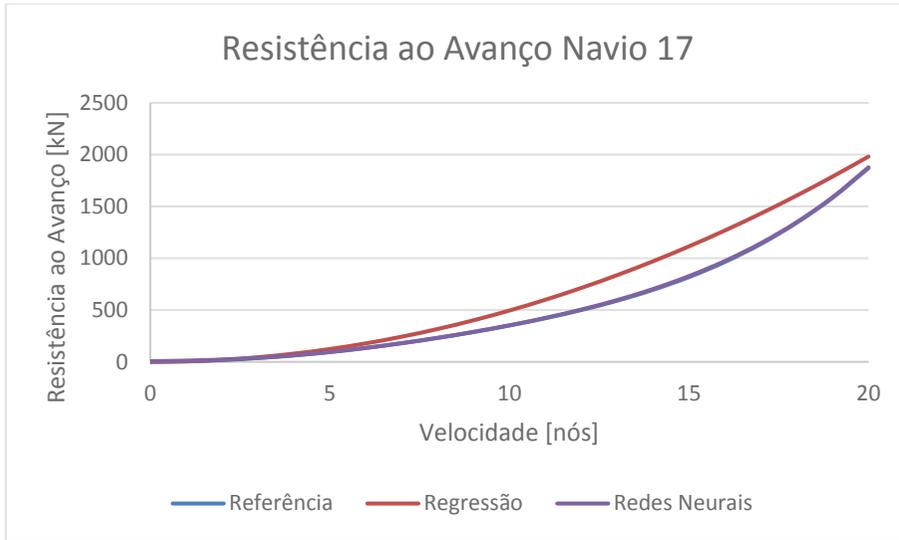


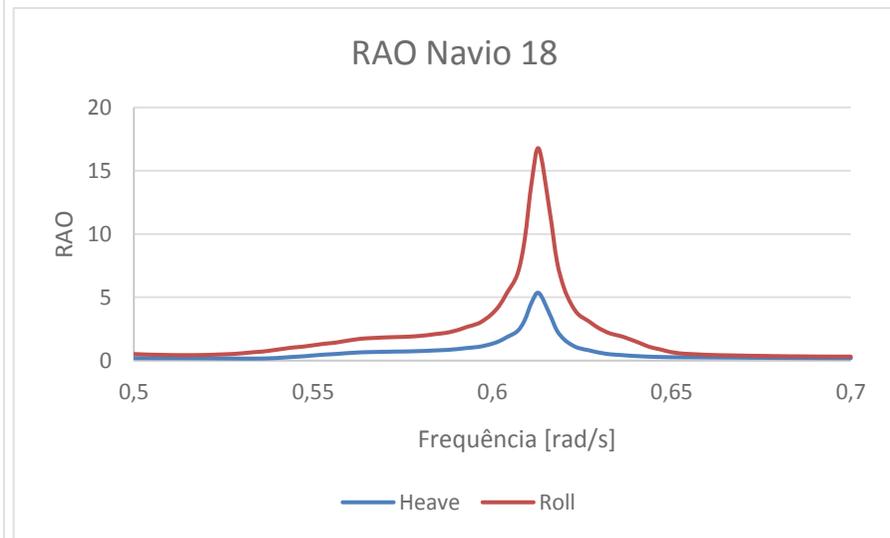
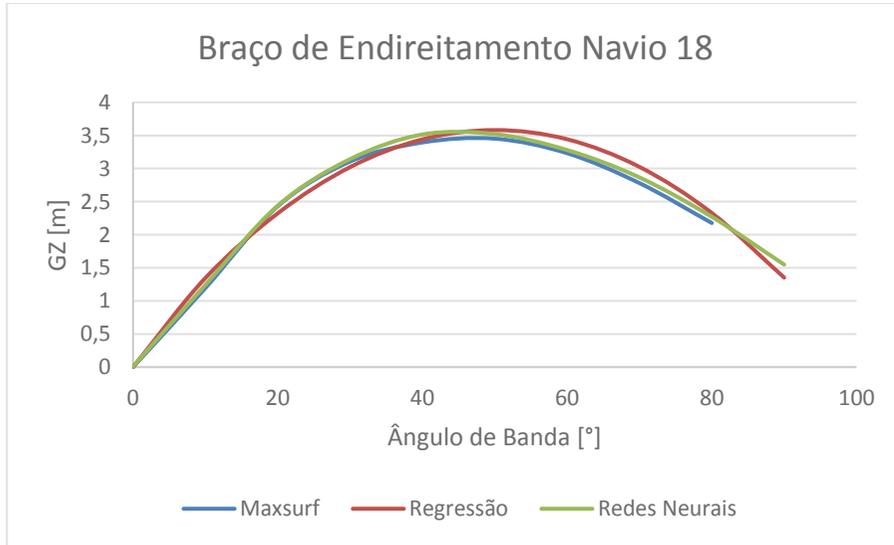
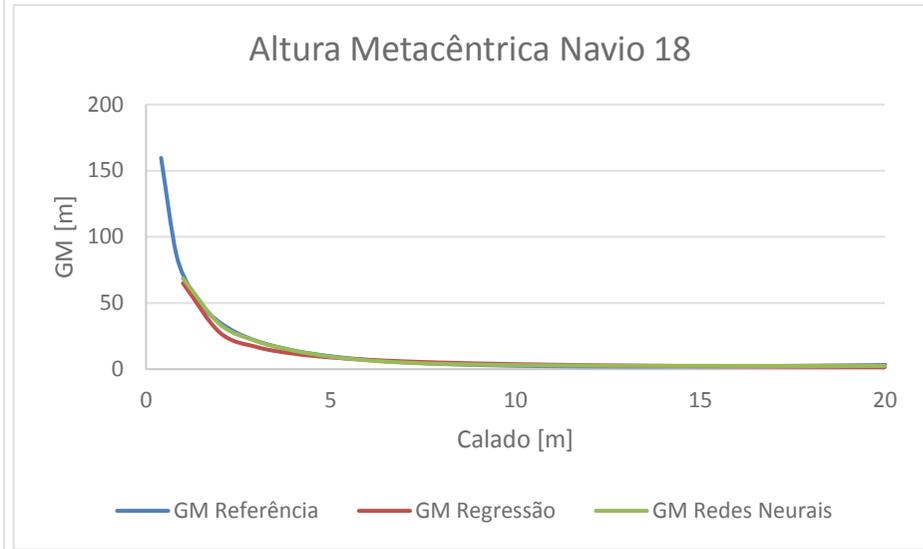
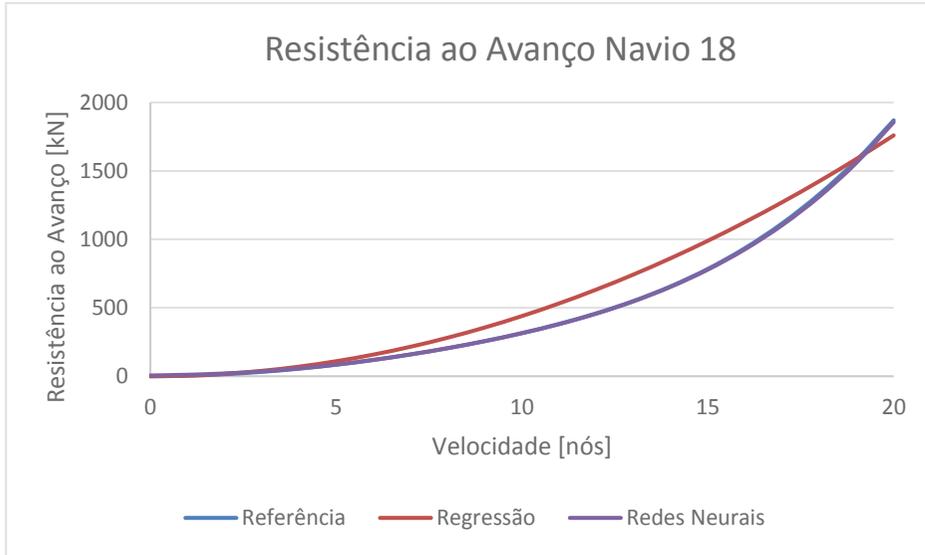


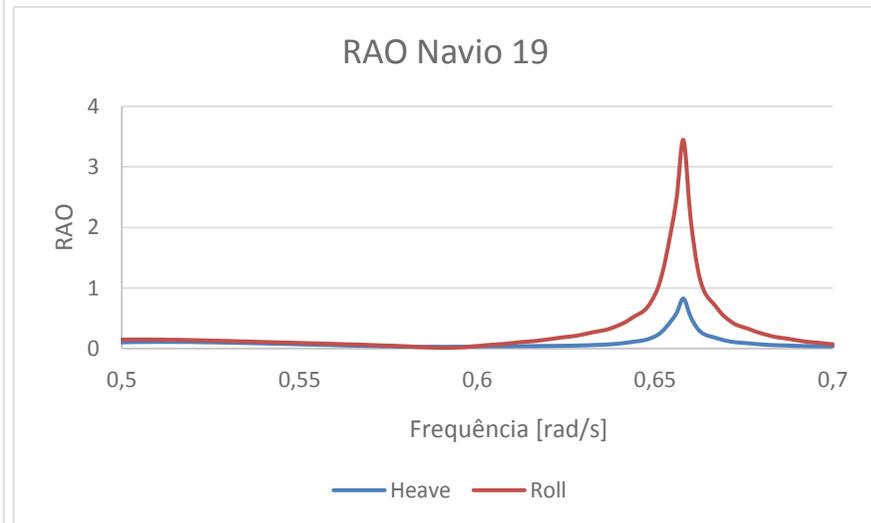
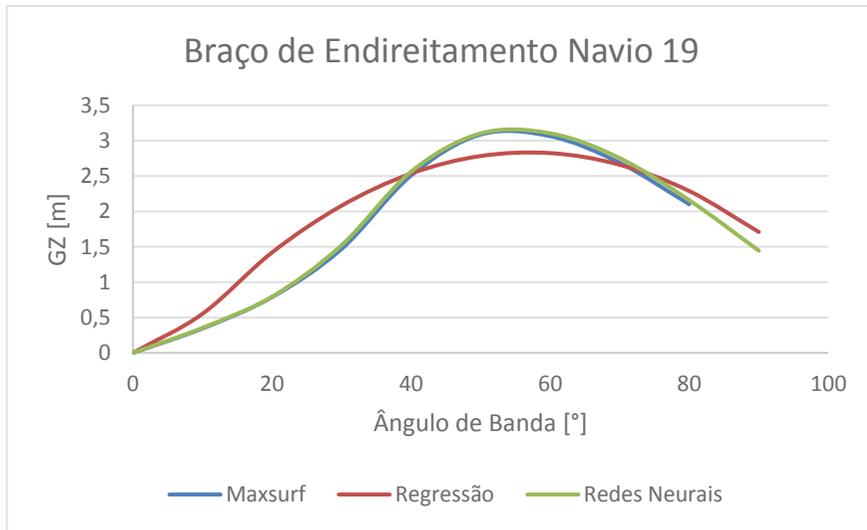
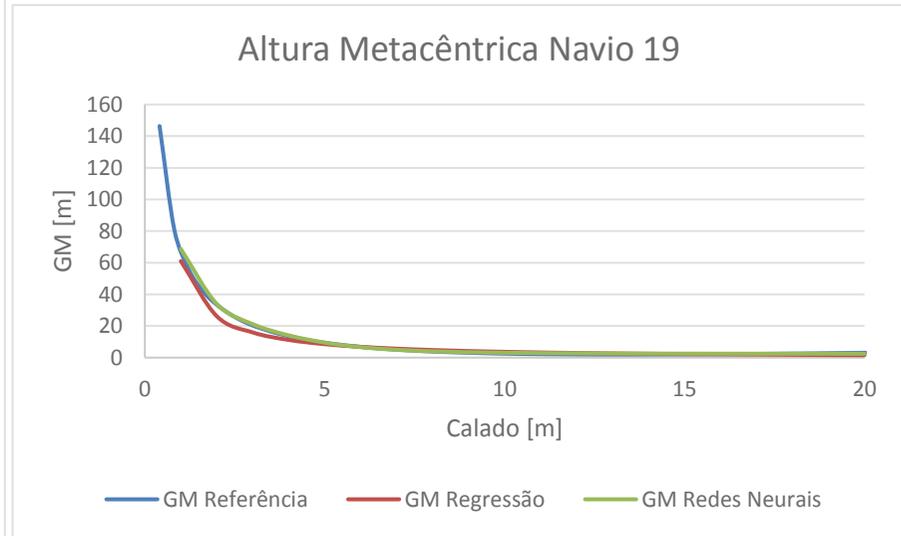
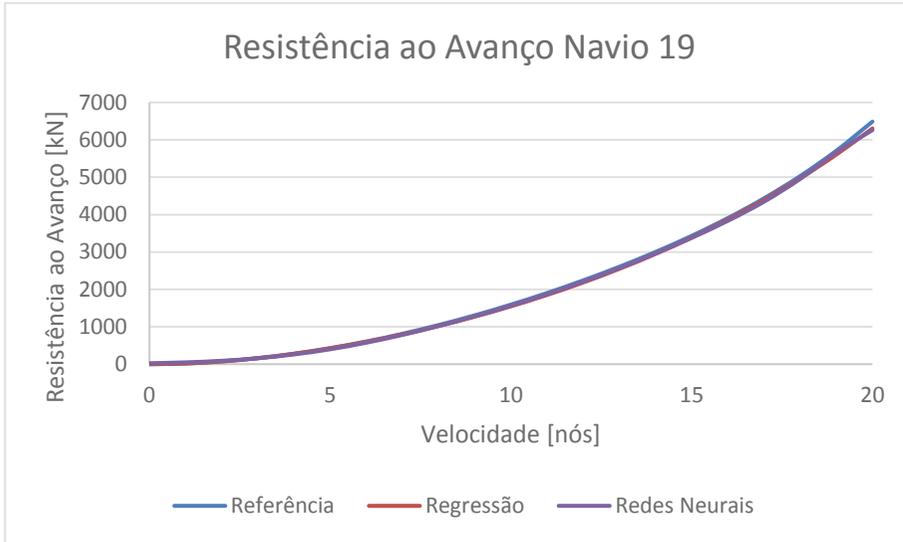


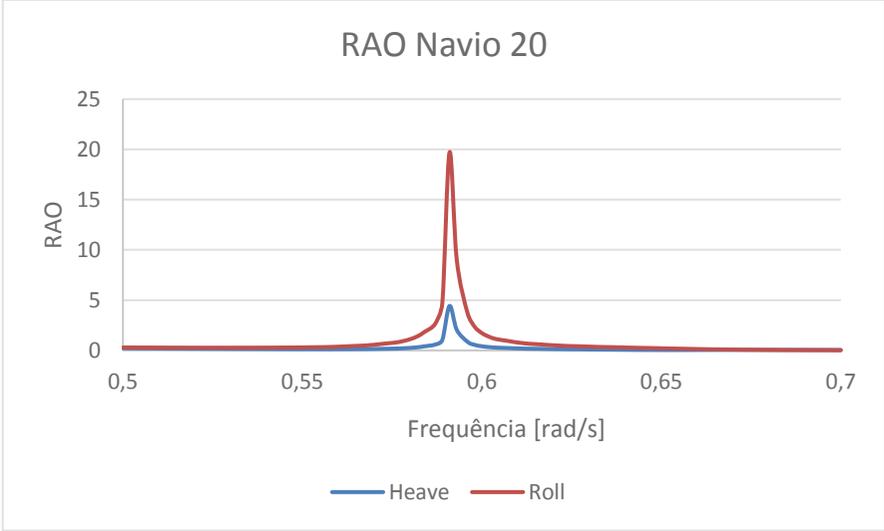
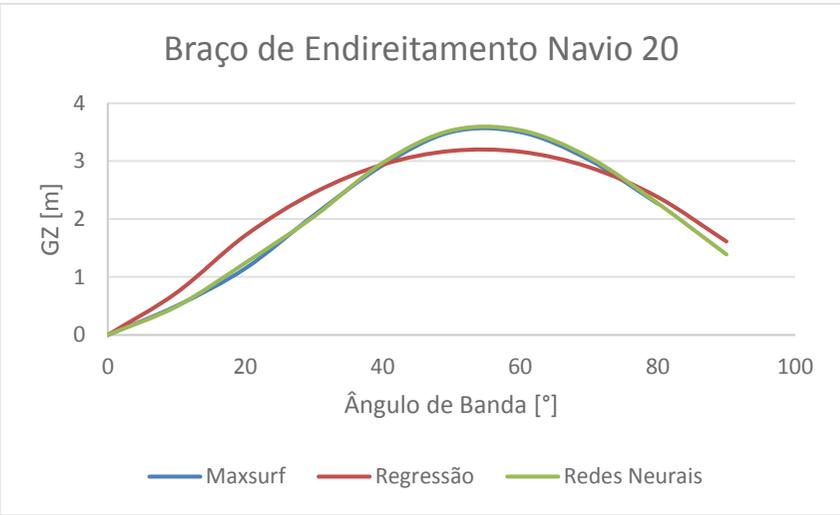
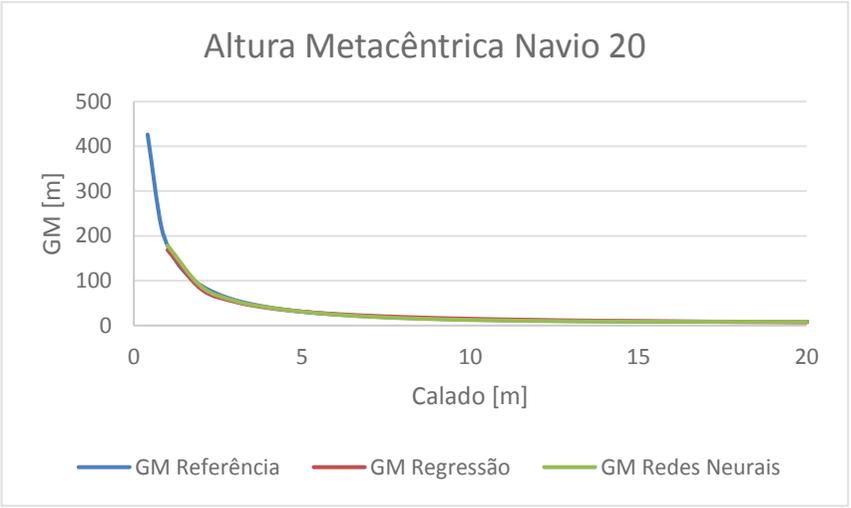
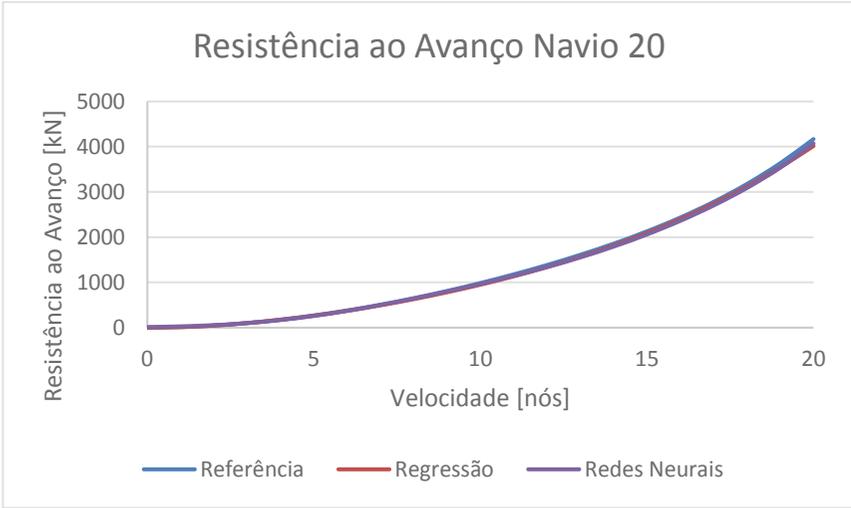


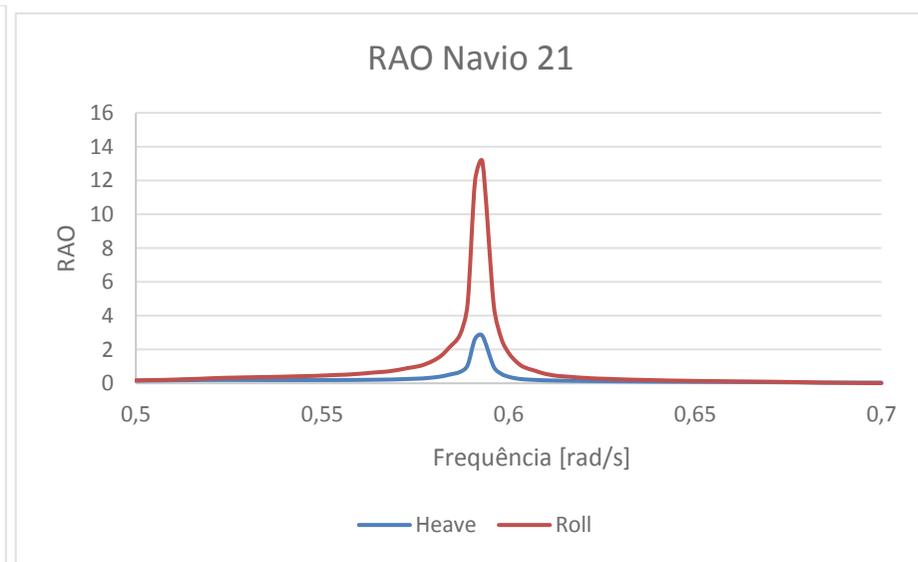
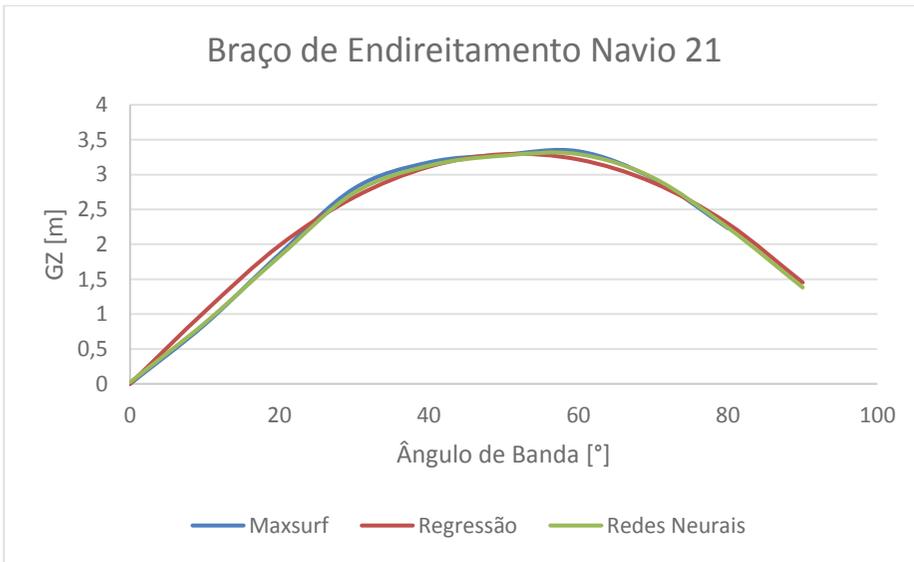
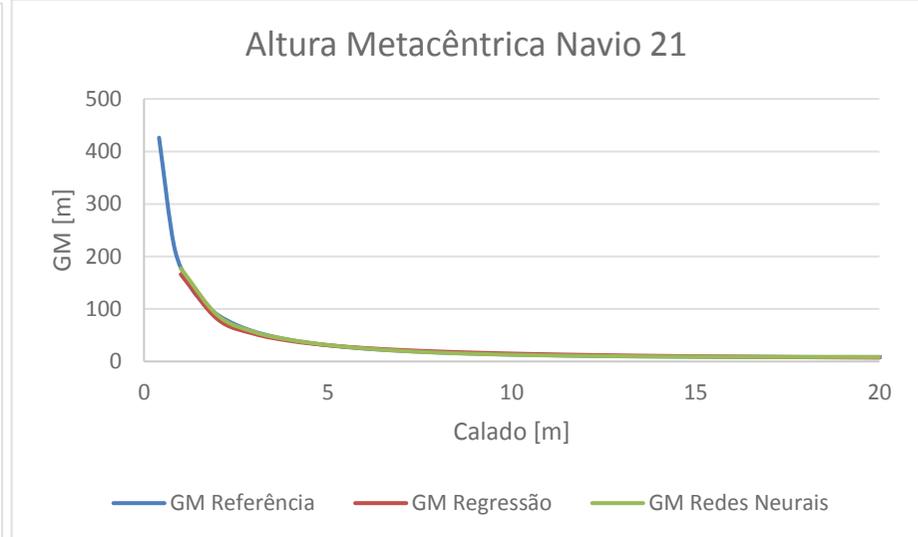
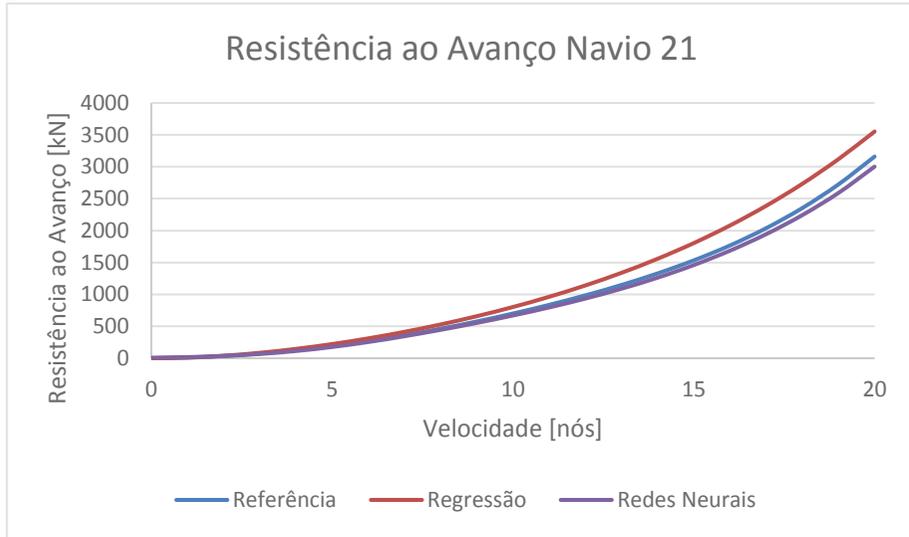


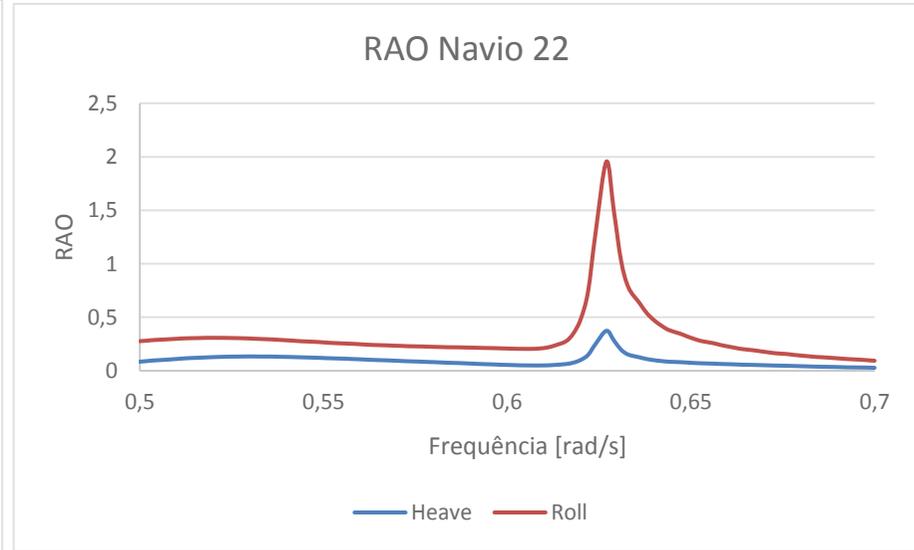
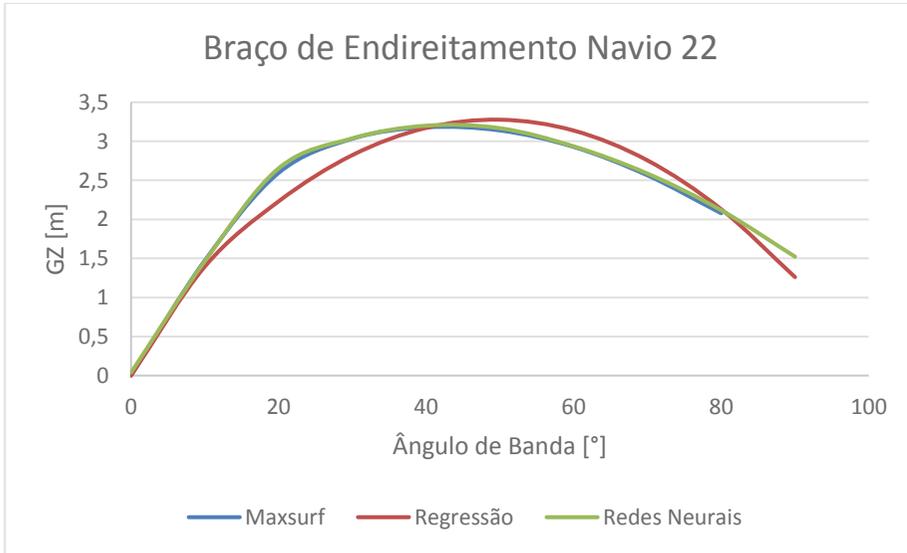
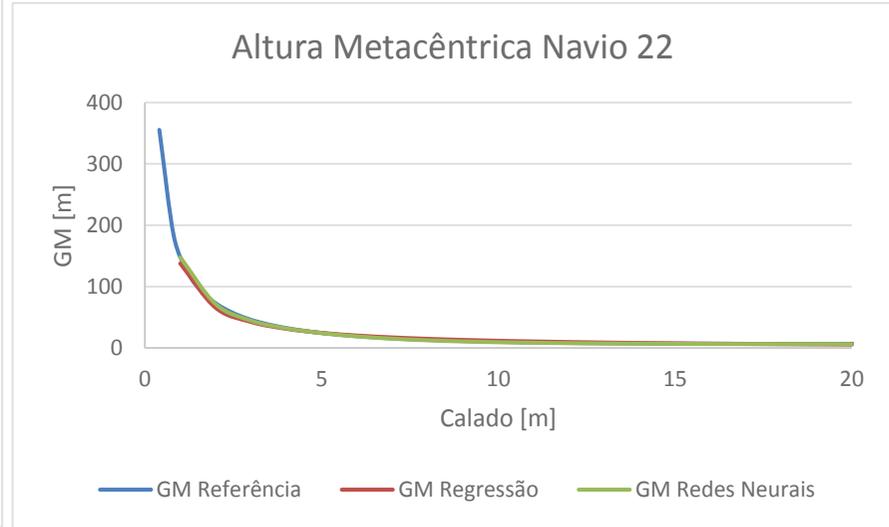
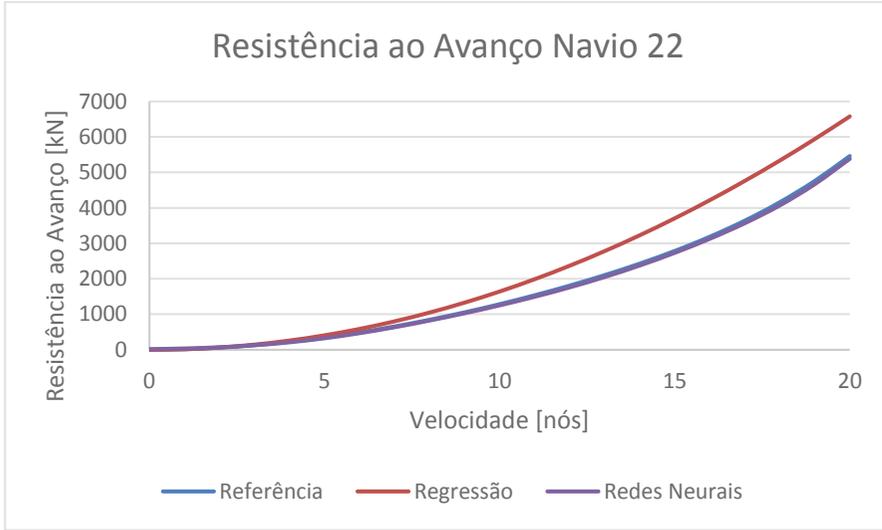


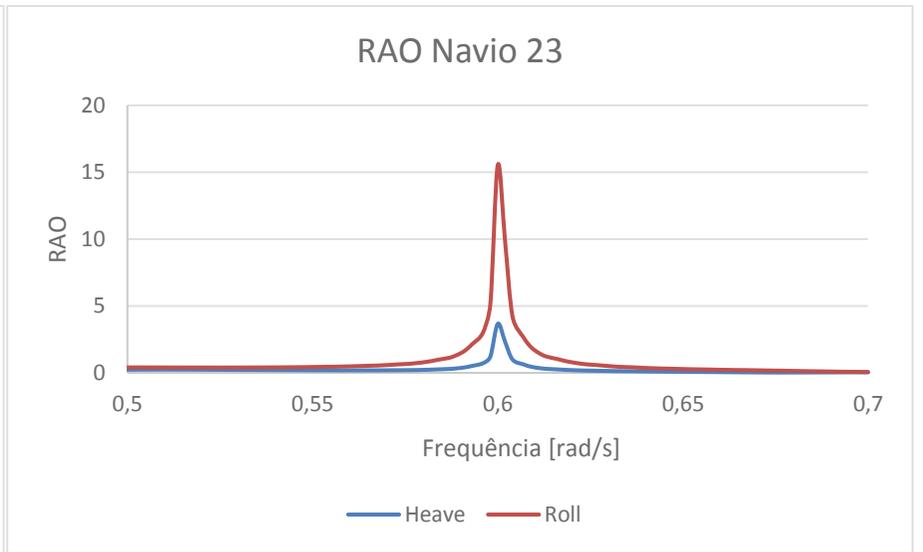
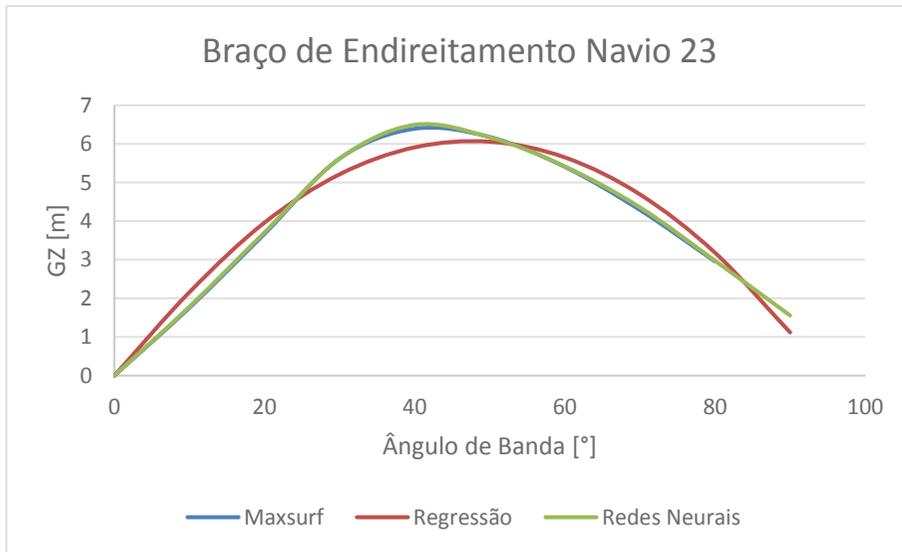
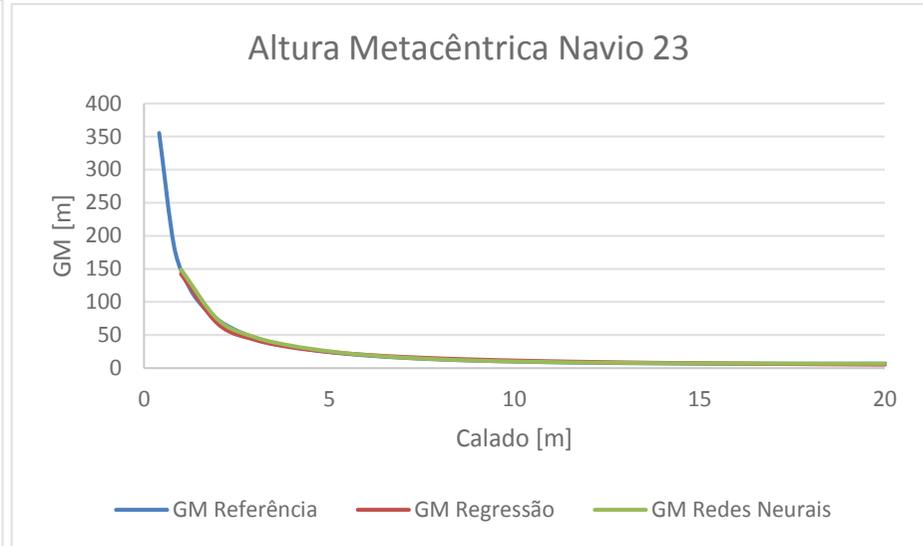
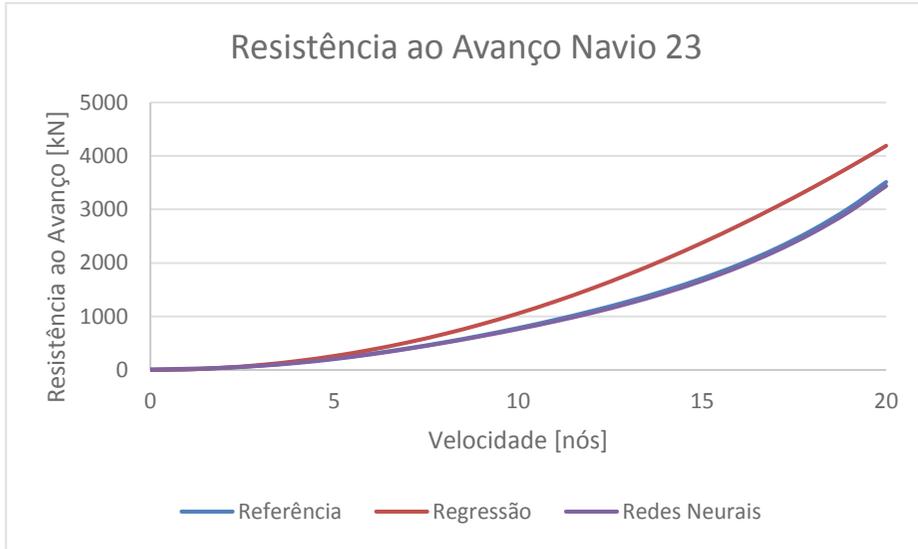


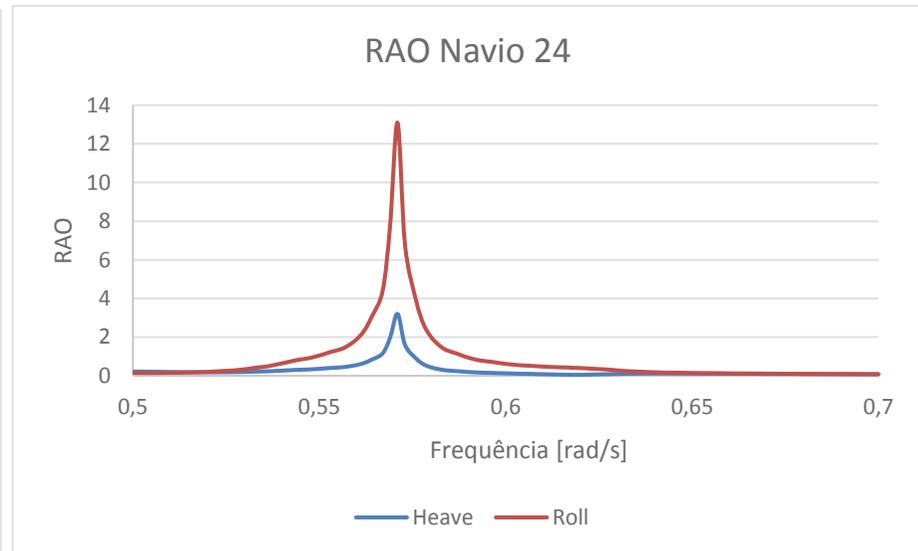
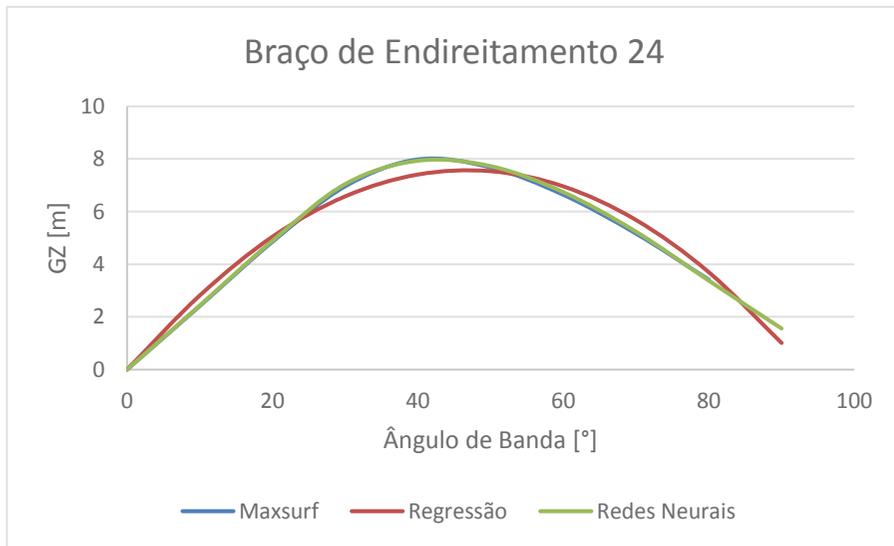
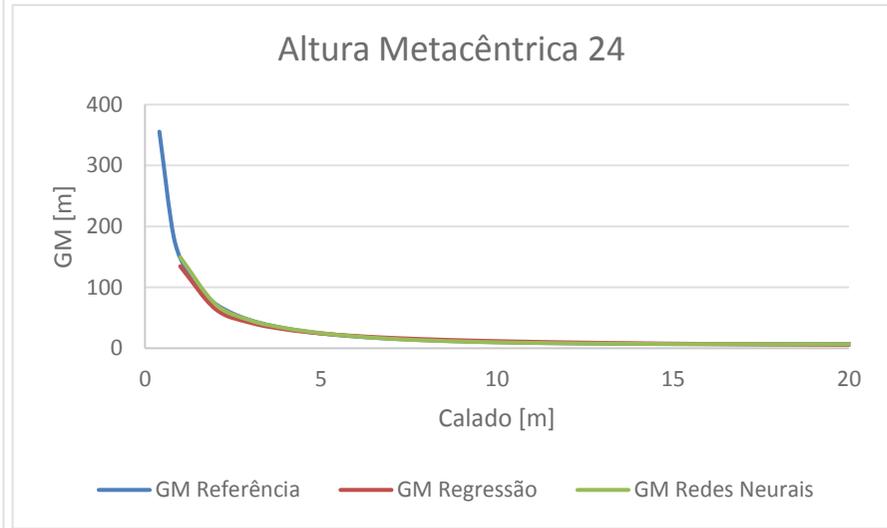
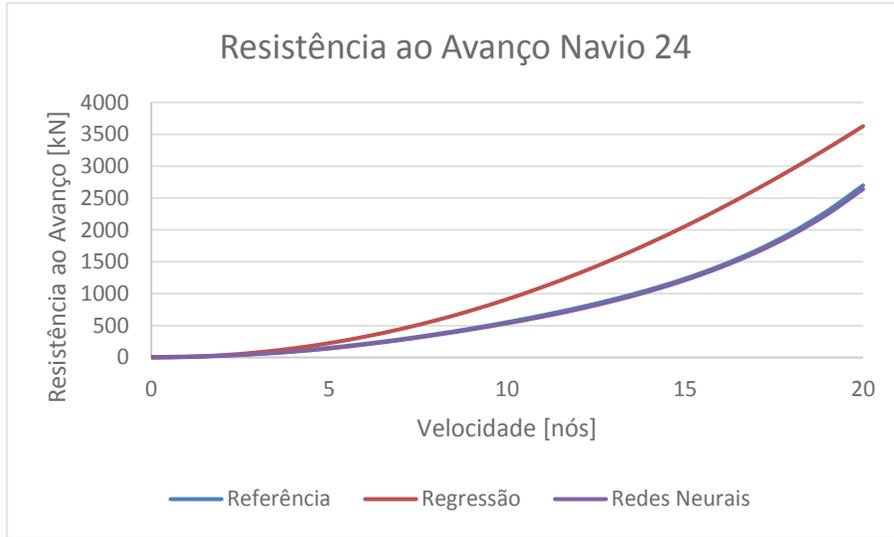




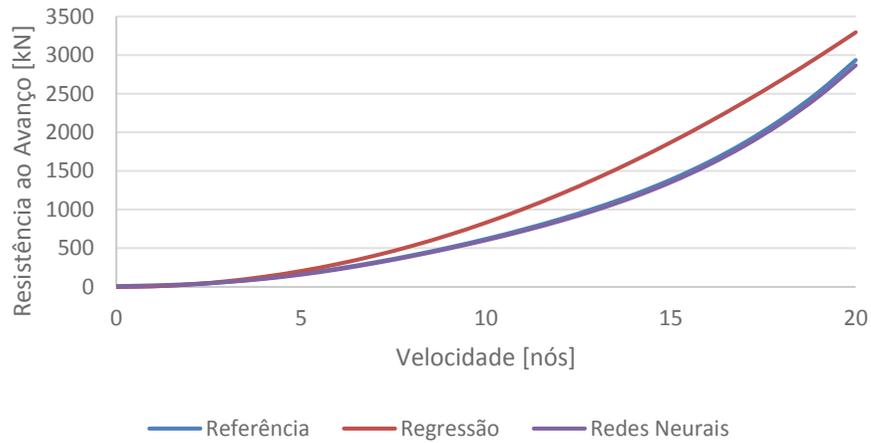




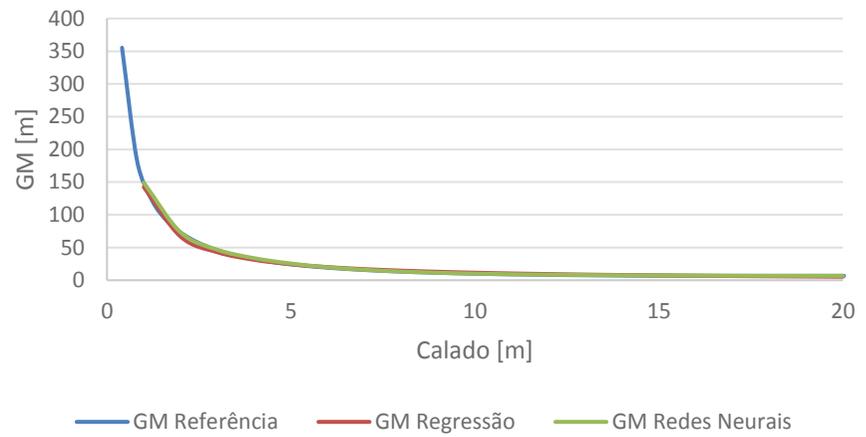




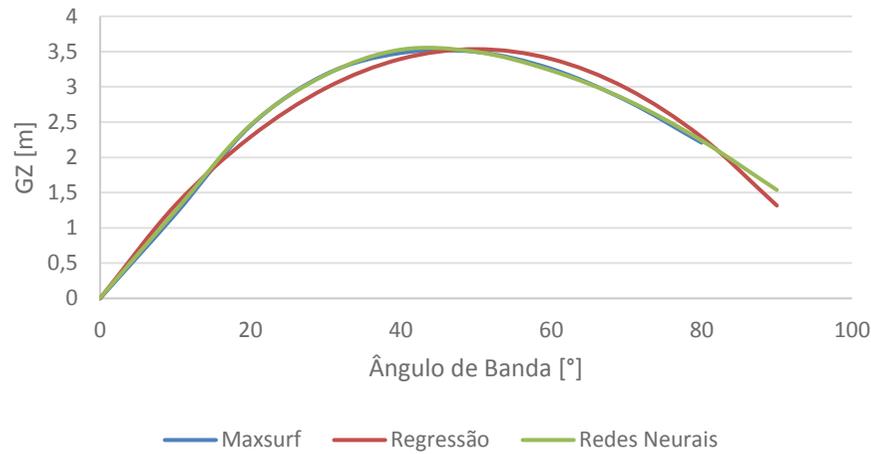
Resistência ao Avanço Navio 25



Altura Metacêntrica Navio 25



Braço de Endireitamento Navio 25



RAO Navio 25

