

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

EDUARDO ALMEIDA SHIMIZU

VALIDAÇÃO DOS MÓDULOS PARA ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA AO
AVANÇO DE EMBARCAÇÕES UTILIZANDO MODELOS EMPÍRICOS
IMPLEMENTADOS NO AMBIENTE SYNAPSE

Joinville

2019

EDUARDO ALMEIDA SHIMIZU

VALIDAÇÃO DOS MÓDULOS PARA ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA AO
AVANÇO DE EMBARCAÇÕES UTILIZANDO MODELOS EMPÍRICOS
IMPLEMENTADOS NO AMBIENTE SYNAPSE

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso de
Graduação em Engenharia Naval do Centro
Tecnológico de Joinville da Universidade
Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Thiago Pontin Tancredi

Joinville

2019

EDUARDO ALMEIDA SHIMIZU

VALIDAÇÃO DOS MÓDULOS PARA ESTIMATIVA DE RESISTÊNCIA AO
AVANÇO DE EMBARCAÇÕES UTILIZANDO MODELOS EMPÍRICOS
IMPLEMENTADOS NO AMBIENTE SYNAPSE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Banca Examinadora:

Dr. Thiago Pontin Tancredi
Orientador

Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Lucas Weihmann
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

Os programas de computadores invadiram a vida de grande parcela da população mundial na última década, onde boa parte desse esforço é realizado com o intuito de melhorar a eficiência, facilitar a vida do usuário e reduzir custos. No mercado naval, faltam programas acessíveis, que ajudem a reduzir o tempo do projeto de uma embarcação. Para mitigar esse cenário, e visando ainda viabilizar pesquisas na área de projeto e otimização, o programa Synapse está sendo criado. O programa está em suas fases iniciais e apresenta três módulos dos métodos para a estimativa de resistência (Savitsky, Holtrop e van Oortmerssen), cujos resultados não são confiáveis. Portanto, a finalidade deste trabalho é fazer o processo de validação nos três módulos de estimativa de resistência ao avanço, utilizando-se o método Black Box. O processo inicia-se com a criação de um banco de dados, que resultará em dados de entrada como dimensões principais e coeficientes de forma do casco, os quais são obtidos a partir de cascos tridimensionais modelados na ferramenta Maxsurf Modeler. Os valores de entrada, servem para a aplicação do teste de comparação, o qual utiliza o Synapse for Ships e um programa já firmado no mercado, o Maxsurf Resistance. As comparações utilizam erros relativos e absolutos, os quais resultaram na validação do método de van Oortmerssen e a não validação dos métodos de Holtrop e Savitsky, devido a erros na resistência de ondas e bulbo para embarcações com bulbo no método de Holtrop e erro no módulo de Savitsky, que impossibilitou a aderência plena de resultados.

Palavras-chave: Ferramenta computacional, validação, teste, resistência ao avanço, Holtrop, van Oortmerssen, Savitsky.

ABSTRACT

Computer programs have invaded the lives of a large portion of the world's population over the past decade, where much of this effort is made to improve efficiency, ease user life, and reduce costs. In the naval market, there is a lack of affordable programs that help to reduce the design time of a vessel. To mitigate this scenario, and also aiming to enable research in the area of design and optimization, the Synapse program is being created. The program is in its early stages and has three modules of resistance estimation methods (Savitsky, Holtrop and van Oortmerssen), whose results are not reliable. Therefore, the purpose of this paper is to perform the validation process on the three resistance estimation modules using the Black Box method. The process begins with the creation of a database that will result in input data. as main dimensions and hull shape coefficients, which are obtained from three-dimensional hulls modeled in the Maxsurf Modeler tool. The input values are for the application of the comparison test, which uses Synapse for Ships and an already established Maxsurf Resistance program. Comparisons use relative and absolute errors, which resulted in the validation of the van Oortmerssen method and the non-validation of the Holtrop and Savitsky methods, due to errors in wave and bulb resistance for Holtrop bulb vessels and Savitsky module error which prevented full adherence to results.

Keywords: Computational tool, validation, test, resistance to advancement, Holtrop, van Oortmerssen, Savitsky.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do Tempo Holtrop	18
Figura 2 – Coeficientes Adimensionais Presentes no Método Savitsky	20
Figura 3 – Forças em um casco planante.....	21
Figura 4 - Casco em situação de deslocamento e planeio	24
Figura 5 – Meio Ângulo de Entrada.....	25
Figura 6 - Dimensões da forma do bulbo	26
Figura 7 - Caixa Preta.....	28
Figura 8 - Exemplo de modelagem utilizando o módulo de Holtrop.....	30
Figura 9 - Fluxograma de funcionamento do módulo de Holtrop	31
Figura 10 - Fluxograma de funcionamento do método de van Oortmerssen	32
Figura 11 - Fluxograma de funcionamento do Método Savitsky	33
Figura 12 - Fluxograma do processo utilizado no desenvolvimento proposto.	34
Figura 13 - Gráfico das Resistências Totais do Hercules	42
Figura 14 - Gráfico Correlação entre Froude e Erro Relativo	43
Figura 15 - Gráfico Comparando as Resistências de Holtrop	44
Figura 16 - Gráfico de Comparação entre as Resistências de Embarcações com Bulbo	52
.....	
Figura 17 – Comparação das Resistências Decompostas entre as Ferramentas Computacionais	55
Figura 18 - Botão “Half”	65
Figura 19- “Half” não selecionado.....	66
Figura 20 - “Half” Selecionado.....	66
Figura 21 - Erro causado pelo “Half”	67
Figura 22 - Stations no BodyPlan	67
Figura 23 - Display.....	67
Figura 24 - Caixa de Propriedades	68
Figura 25 - Formas Complexas.....	69
Figura 26 – Trimeshs em Etapas.....	70
Figura 27 - Único Trimesh	70
Figura 28 - Outside Arrows	70

Figura 29 - Botão Surface Selecionado	71
Figura 31 – Gatika Modelado	72
Figura 30 - Gatika	72
Figura 33 – Hercules Modelado.....	72
Figura 32 - Hercules	72
Figura 34 - Kovdor.....	73
Figura 35 – Kovdor Modelado.....	73
Figura 37 – Alai Modelado.....	73
Figura 36 - Alai.....	73
Figura 39 – Odys Modelado	73
Figura 38- Odys	73
Figura 40 - Plano de Baliza Alai Original	74
Figura 41 – Plano de Baliza do Alai Modelado.....	74
Figura 42 - Plano de Baliza Hercules Original.....	74
Figura 43 - Plano de Baliza Hercules Modelado	74
Figura 44 - Plano de Baliza Gatika Original.....	74
Figura 45 - Plano de Baliza Gatika Modelado.....	74
Figura 46 - Plano de Baliza Odys Modelado.....	75
Figura 47 - Plano de Baliza Odys Original.....	75
Figura 49 – Plano de Baliza Kovdor Modelado.....	75
Figura 48 - Plano de Baliza Kovdor Original.....	75
Figura 50 - U.S.S. Bolster Casco Modelado.....	76
Figura 51 - U.S.S. Bolster.....	76
Figura 52 - Le Mekong Modelado	76
Figura 53 - Le Mekong.....	76
Figura 54 - S/S Auslag Modelado.....	76
Figura 55 - S/S Auslag	76
Figura 56 - Saugatuck Modelado	77
Figura 57 - USS Saugatuck.....	77
Figura 58 - Arthur M. Huddel Modelado	77
Figura 59 – Arthur M. Huddel	77
Figura 60- Plano de Baliza Arthur M. Huddel Modelado	77
Figura 61 - Plano de Baliza Arthur M. Huddel Original	77
Figura 62 - Plano de Baliza Le Mekong Original.....	78

Figura 63 - Plano de Baliza Le Mekong Modelado	78
Figura 64 - Plano de Baliza Saugatuck Original.....	78
Figura 65 - Plano de Baliza Saugatuck Modelado.....	78
Figura 66 - Plano de Baliza SS Auslag Original.....	79
Figura 67 - Plano de Baliza SS Auslag Modelado.....	79
Figura 68 - Plano de Baliza U.S.S. Bolster Original.....	79
Figura 69 - Plano de Baliza U.S.S. Bolster Modelado	79
Figura 70 - Cobra	80
Figura 71 – Cobra Modelado	80
Figura 72 - BG 60	80
Figura 73 – BG 60 Modelado	80
Figura 74 – Higgins Modelado	80
Figura 75 - Higgins Hellcat	80
Figura 76 - Aquarama.....	81
Figura 77 – Aquarama Modelado	81
Figura 78 – Cobra Plano de Baliza Original.....	81
Figura 79 – Cobra Plano de Baliza.....	81
Figura 80 - BG60 Plano de Baliza Original.....	82
Figura 81 - BG60 Plano de Baliza Modelado.....	82
Figura 82 - Aquarama.....	82
Figura 83 - Higgins Plano de Baliza Modelado.....	82
Figura 84 - Higgins Plano de Baliza Original.....	82
Figura 85 - Aquarama Plano de Baliza Original.....	82
Figura 86 - Aquarama Plano de Baliza Modelado	82
Figura 87 - Comparação Odys.....	83
Figura 88 - Comparação Gatika.....	83
Figura 89 - Comparação Alai.....	83
Figura 90 - Comparação Kovdor	84
Figura 91 - Comparação Hercules.....	84
Figura 92 - Comparação Bolster	85
Figura 93 - Comparação Le Mekong	85
Figura 94 - Comparação Auslag	85
Figura 95 - Comparação Saugatuck	86
Figura 96 - Comparação Arthur M. Huddel	86

Figura 97 - Comparação Saugatuck com Apêndices	89
Figura 98 - Comparação U.S.S. Bolster com Apêndices	89
Figura 99 - Comparação Le Mekong com Popa Transom.....	91
Figura 100 - Comparação Saugatuck com Popa Transom	91
Figura 101 – Comparação Arthur M. Huddel com Bulbo.....	93
Figura 102 - Comparação Auslag com Bulbo	93
Figura 103 - Comparação U.S.S. Bolster com Bulbo	93
Figura 104 – Limites das Embarcações Método de Holtrop	95
Figura 105 - Limites do Método de van Oortmerssen.....	95
Figura 106 - Plano de Linhas Gatika.....	96
Figura 107 - Plano de Linhas Kovdor	96
Figura 108 - Plano de Linhas Odys.....	97
Figura 109 - Plano de Linhas Alai	98
Figura 110 - Plano de Linhas Hercules	99
Figura 111 - Plano de Linhas Arthur M. Huddel	100
Figura 112 - Plano de Linhas Saugatuck.....	101
Figura 113 - Plano de Linhas Le Mekong	101
Figura 114 - Planos de Linhas U.S.S. Bolster	102
Figura 115 - Plano de Linhas S.S. Auslag.....	102
Figura 116 – Planos de Linhas Aquarama.....	103
Figura 117 -BG 60.....	103
Figura 118 - Cobra 21'.....	104
Figura 119 - Higgins.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites Método Holtrop.....	19
Tabela 2 - Limite do Método Oortmerssen.....	22
Tabela 3 - Constantes d	23
Tabela 4 - Coeficientes de Forma	24
Tabela 5 - Forma de popas.....	26
Tabela 6 - Fator de resistência do apêndice.....	27
Tabela 7 - Cascos Seleccionados	38
Tabela 8 – Dados de Entrada van Oortmerssen	38
Tabela 9 – Dados de Entrada Holtrop	39
Tabela 10- Valores de Entrada para Holtrop com Bulbo, Apêndices e Popa Transom	39
Tabela 11 - Dados de Entrada Savitsky.....	40
Tabela 12 - Erros relativos na aplicação do método de van Oortmerssen.....	42
Tabela 13 - Erros absolutos na aplicação do método de van Oortmerssen	43
Tabela 14 - Erros relativos na aplicação do método de Holtrop.....	45
Tabela 15 - Valores de Resistência e Comparação para o Casco U.S.S. Bolster	45
Tabela 16 - Comparação entre as Resistências de Fricção	47
Tabela 17 - Coeficientes de Correlação.....	47
Tabela 18 - U.S.S. Bolster com as Resistências de Forma e Correlação Substituídas	48
Tabela 19 - Erro Relativo e Absoluto para os Cascos com Apêndices	48
Tabela 20 - Comparação entre as Resistências Navio Saugatuck com Apêndices....	49
Tabela 21 – Influência da Resistência do Apêndice e Onda no Erro.....	49
Tabela 22 - Erro Relativo e Absoluto para as Embarcações com Popa Transom.....	50
Tabela 23 - Comparação entre as Resistências Saugatuck com Popa Transom	50
Tabela 24 - Influência da Popa Transom no Erro	51
Tabela 25 - Erros Relativos para Cascos com Bulbo	51
Tabela 26 - Valores de Resistência e Comparação para o Casco com Bulbo Auslag	52
Tabela 27 – Resistência Total Decomposta para o Casco USS Bolster	53

Tabela 28 – Resistências da Ferramenta Computacional Maxsurf para a Embarcação USS Bolster	54
Tabela 29 – Parcelas da Resistência de Onda e Bulbo no Erro	54
Tabela 30 - Comparação entre as Resistência para Savitsky	56
Tabela 31 - Maxsurf Arthur M. Huddel	86
Tabela 32 - Maxsurf Saugatuck	86
Tabela 33 - Maxsurf Auslag	87
Tabela 34 - Maxsurf Le Mekong	87
Tabela 35 - Comparação Resistências Le Mekong	87
Tabela 36 - Comparação Resistências Auslag	87
Tabela 37 - Comparação Resistências Saugatuck	88
Tabela 38 - Comparação Resistências Arthur M. Huddel	88
Tabela 39 – Dados de Saída do Saugatuck Maxsurf	89
Tabela 40 - Dados de Saída Le Meckong Maxsurf	89
Tabela 41 - Influência do Apêndice no Erro Saugatuck.....	90
Tabela 42 - Valores de Saída Maxsurf Le Meckong.....	91
Tabela 43 - Influência da Resistência de Onda e Resistência Transom no Erro	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IEEE	Institute of Eletrical and Electronics Engineers
NSMB	Netherlands Ship Model Basin
CFD	Computational Fluid Dynamics
HAER	Historic American Engineering Record

LISTA DE SÍMBOLOS

R_{APP}	Resistência causada pelos apêndices
R_W	Resistência causada pela geração de onda
R_B	Resistência causada pelo bulbo
R_{TR}	Resistência causada pela imersão da Transom
R_F	Resistência de fricção de acordo com o ITTC-1957
R_T	Resistência Total
$(1 + k_1)$	Fator de Forma
R_A	Resistência de correlação entre navio-modelo
S	Área molhada
V	Velocidade
B	Boca
Δ	Deslocamento
β	Ângulo de deadrise
l_m	Comprimento molhado
τ	Ângulo trim
C_F	Coefficiente de fricção
P	Densidade
C_p	Para o método de Savitsky corresponde a distância entre o centro de pressão e a popa transom. Para os demais métodos representa o coeficiente prismático do casco.
N	Carga de pressão normal
M	Momento
L_D	Comprimento de deslocamento
L_{WL}	Comprimento da linha d'água
L_{PP}	Comprimento entre perpendiculares
i_E	Meio ângulo de entrada da linha d'água
C_B	Coefficiente de Bloco
C_M	Coefficiente de seção mestra
C_{WL}	Coefficiente do ângulo de entrada da linha de água
Re	Número de Reynolds
Fn	Número de Froude

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 RESISTÊNCIA AO AVANÇO.....	17
2.1.1 Holtrop e Mennen	18
2.1.2 Método de Savitsky	19
2.1.3 Método de van Oortmerssen.....	22
2.2 FORMAS DO CASCO	24
2.3 TESTES DE PROGRAMA.....	27
3 SYNAPSE	30
4 METODOLOGIA	34
5 DESENVOLVIMENTO	36
6 RESULTADOS	41
6.1 RESULTADOS VAN OORTMERSSEN	41
6.2 RESULTADOS HOLTROP.....	44
6.2.1 Resultados do Método de Holtrop para Cascos com Apêndices	48
6.2.2 Resultados do Método de Holtrop para Cascos com Popa Transom	50
6.2.3 Resultados do Método de Holtrop para Cascos com Bulbo	51
6.2.4 Resultados do Método de Holtrop (1984) para Cascos com Bulbo	53
6.3 RESULTADOS DO MÉTODO DE SAVITSKY	56
7 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICE A - MODELAR CASCOS COM PLANOS DE LINHAS EXISTENTES NO MAXSURF	65
APÊNDICE B - Cascos Deslocantes de Pequenas Embarcações	72
APÊNDICE C – RESULTADO VAN OORTMERSSEN	83
APÊNDICE D - RESULTADOS HOLTROP	85
APÊNDICE E - RESISTÊNCIAS DE APÊNDICES	89
APÊNDICE F - RESISTÊNCIAS DE POPA TRANSOM	91
APÊNDICE G - RESISTÊNCIAS DE BULBO	93
APÊNDICE H – LIMITES	95
ANEXO A – PLANO DE LINHAS DE PEQUENAS EMBARCAÇÕES	96
ANEXO B – PLANOS DE LINHA CASCOS DESLOCANTES	100
ANEXO C - PLANOS DE LINHAS CASCOS PLANANTES	103

1 INTRODUÇÃO

As primeiras ferramentas computacionais modernas foram criadas na metade do Século XX, e a partir de 1984 conjuntos de programas como Mac OS e Windows foram lançados ao público, popularizando o desenvolvimento de ferramentas computacionais nas mais diferentes áreas.

Os programas destinados à Engenharia Naval oferecem uma forma mais rápida de resolução, utilizando o poder de cálculo dos computadores para o processamento das informações, resultando na diminuição da duração e dos custos de um projeto. Tais programas auxiliam desde a modelagem até à construção da embarcação, permitindo uma otimização tanto do desempenho do projeto quanto do processo de fabricação.

De acordo com Tancredi (2009), o foco de muitos dos atuais projetos de engenharia está na eficiência. No mercado naval, busca-se minimizar a resistência ao avanço das embarcações projetadas, objetivando a redução do consumo de combustível e, conseqüentemente, potenciais ganhos econômicos.

Neste contexto, obter-se estimativas de resistências ao avanço precisas ainda nas fases iniciais de projeto torna-se uma importante tarefa que motiva o desenvolvimento de ferramentas computacionais destinadas à essa atividade.

Assim, alunos de graduação do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com a orientação do professor Thiago Pontin Tancredi, desenvolveram diversos módulos que foram reunidos em um sistema denominado Synapse for Ships, o qual destina-se a otimização de projetos navais.

Em sua fase atual, o programa consiste em três módulos que implementam os métodos de Holtrop, Savitsky e van Oortmerssen para a estimativa da resistência ao avanço de embarcações.

No processo de desenvolvimento de ferramentas computacionais a confiabilidade é uma característica absolutamente vital, a qual precisa ser alcançada para viabilizar o uso de tais ferramentas. De acordo com o Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE, 2016), os processos de verificação e validação (V&V) são usados para determinar se o produto de determinada atividade está em conformidade com os requisitos dessa atividade e se o produto satisfaz o uso pretendido e as necessidades do usuário. O processo de validação inclui testes, comparações e análises.

A fim de aferir a confiabilidade dos módulos desenvolvidos no sistema Synapse for Ships destinados a estimativa de resistência ao avanço de embarcações, apresenta-se neste trabalho um processo de validação que compara os resultados obtidos na análise de diferentes embarcações utilizando-se o sistema desenvolvido, com aqueles obtidos utilizando-se uma ferramenta estabelecida no mercado.

1.1 OBJETIVOS

Para resolver a problemática da validação do Synapse for Ships, propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo Geral

Validar as implementações realizadas no programa Synapse for Ships para a estimativa de resistência ao avanço de embarcações (Holtrop, van Oortmerssen e Savitsky) por meio do estudo de caso de diversas embarcações reais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- A partir de pesquisa bibliográfica, realizar a seleção de um conjunto de embarcações a serem utilizadas como estudo de caso na validação proposta;
- Realizar a modelagem das embarcações a partir da tabela de cotas disponível na literatura;
- Identificar os parâmetros de entrada que descrevem cada um dos cascos modelados e que são utilizados em cada um dos métodos avaliados;
- Modelar cada uma das análises no programa Synapse for Ships;
- Modelar cada uma das análises no programa Maxsurf;
- Comparar e analisar os resultados;
- Validar e/ou propor modificações nas implementações disponíveis no programa Synapse for Ships.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A ferramenta computacional é um conjunto de códigos, que está sujeito a erros. Para aumentar a confiabilidade desses programas são realizados testes e análises, cujo processo é denominado validação.

Usualmente a validação de um programa é realizada de forma objetiva, executando-o em diversas situações e verificando-se se o comportamento do sistema está dentro do esperado (GHEZZI; JAZAYERI; MANDRIOLI, 2003). Para isso será necessário analisar os métodos empregados no programa a fim de se entender o resultado esperado e realizar a comparação e a documentação dos resultados. Assim, a seguir são apresentados os fundamentos teóricos básicos associados aos módulos desenvolvidos.

2.1 RESISTÊNCIA AO AVANÇO

A resistência ao avanço é uma força contrária ao movimento do navio a qual varia com a velocidade da embarcação. Tal grandeza é de vital importância para o projeto de um navio, pois é a partir dessa informação que é realizada a estimativa da potência necessária do motor, bem como a escolha do propulsor (WATSON, 2002).

Embora existam diferentes abordagens de análise, de maneira geral, a resistência ao avanço de uma embarcação pode ser decomposta em:

- a) Resistência de Fricção: As partículas do fluido próximas ao casco movem com a velocidade da embarcação pela influência da viscosidade. Conforme a distância aumenta em relação a superfície do navio, as partículas de água diminuem de velocidade até apresentar uma velocidade de fluxo externo. A zona entre a superfície do navio e o fluxo externo é denominado camada limite. As mudanças de velocidade na direção normal na camada limite, induzem tensões de cisalhamento. A integral das tensões de cisalhamento sobre a superfície molhada gera a resistência à fricção (BERTRAM, 2012).
- b) Resistência de Pressão Viscosa: Consiste em vórtices que são originados nas discontinuidades do casco e pelo aumento da espessura da camada limite causadas pelo fenômeno de separação de escoamento. Esse fenômeno resulta em uma diferença entre a pressão exercida na proa e na popa da embarcação. Por fim, o gradiente de pressão induzido pelo movimento do casco resulta em uma força que se opõem ao movimento do navio. (TRINDADE, 2012).

- c) Resistência de Ondas: Perda de energia devido a formação de ondas causadas pelo ponto de pressão existente na proa, o qual provoca a elevação da superfície da água formando ondas ao longo da trajetória da embarcação (van OORMERSSSEN, 1971).
- d) Resistência do Ar: Resistência gerada pela interação do ar com a parte do casco acima da linha d'água, incluindo a superestrutura.

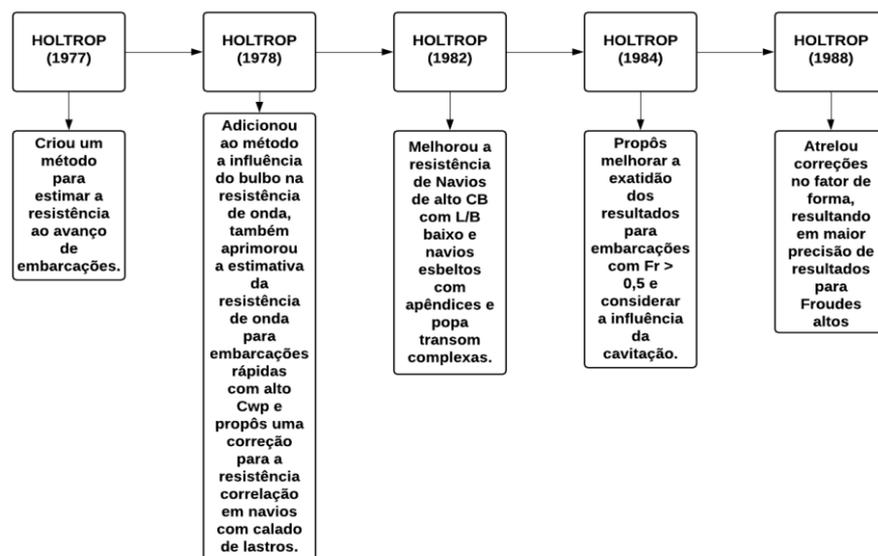
A resistência pode ser estimada utilizando-se diferentes abordagens que incluem métodos tradicionais, métodos empíricos, ensaios com modelos e fluidodinâmica computacional (CFD). O método escolhido dependerá principalmente do tempo disponível, do custo de projeto, dos recursos disponíveis, da precisão necessária e do estágio do projeto.

2.1.1 Holtrop e Mennen

Holtrop e Mennen (1977) desenvolveram um método empírico para estimar a resistência ao avanço de embarcações utilizando como base os resultados experimentais da Netherlands Ship Model Basin (NSMB). Ainda hoje, esse método é um dos mais utilizados nos estágios iniciais dos projetos de embarcações mercantes, pois oferece robustez, confiabilidade e precisão suficiente para estimar a potência instalada nas embarcações cujas dimensões estejam dentro dos limites do método.

Na figura a seguir são mostradas as correções e melhoramentos que o método sofreu ao longo dos anos, enumerando as diferentes publicações realizadas pelos autores.

Figura 1 - Linha do Tempo Holtrop



Com base no conjunto de artigos publicados por Holtrop entre 1977 e 1988 e, considerando ainda o artigo ITTC (1957), pode-se estabelecer os limites de validade do método de Holtrop, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Limites Método Holtrop

0,55 <	Cp	< 0,85
3,22 <	L/B	< 5,00
3,30 <	B/T	< 4,00
1,00 <	Fr	

Fonte: Holtrop (1977)

Na abordagem de Holtrop (1984), a resistência ao avanço de uma embarcação mercante pode ser estimada utilizando-se a clássica equação:

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

Onde:

R_{APP} – Resistência dos apêndices;

R_W – Resistência causada pela geração de ondas;

R_B – Resistência causada pelo bulbo;

R_{TR} – Resistência causada pela imersão da popa transom;

R_F – Resistência de fricção de acordo com o ITTC-1957;

R_T – Resistência Total;

$(1 + k_1)$ – Fator de Forma;

R_A – Resistência de correlação entre navio-modelo.

2.1.2 Método de Savitsky

O método de Savitsky é utilizado para estimar a resistência ao avanço de embarcações de planeio. De acordo com a ISO, os cascos são considerados planantes se a equação 2 apresentar valores maiores que 5.

$$\frac{V}{L_{WL}} \geq 5 \quad (2)$$

Onde a velocidade é expressa em nós e o comprimento da linha d'água é expressa em metros.

A principal característica de cascos planantes consiste no fato de que parte da sustentação é produzida por uma força dinâmica, que eleva a embarcação, reduzindo a área molhada do casco.

De acordo com o Molland (2011), o método de Savitsky consiste em um processo iterativo de equilíbrio da embarcação, onde a velocidade (V), boca (B), LCG, deslocamento (Δ) e o ângulo de deadrise (β) representam os dados de entrada para o modelo.

A partir dos dados de entrada, são assumidos os valores de comprimento molhado (l_m) e ângulo trim (τ), que são usados para estimar a área molhada conforme a equação mostrada a seguir.

$$S = l_m B \sec(\beta) \quad (3)$$

De acordo com Marin (2015), os coeficientes adimensionais utilizados no método são resumidos a seguinte tabela:

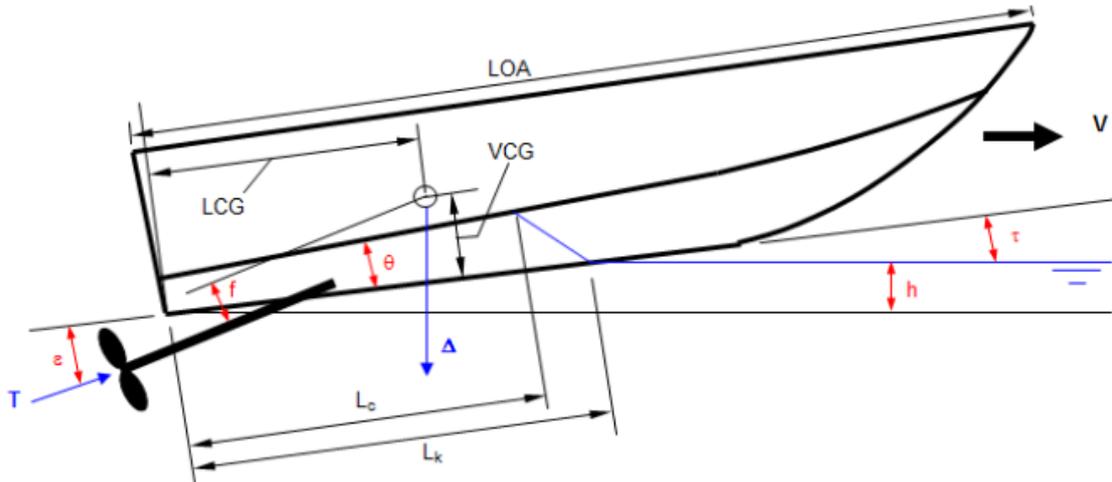
Figura 2 – Coeficientes Adimensionais Presentes no Método Savitsky

Símbolo	Descrição	Equação
C_f	Coefficiente de arrasto de fricção	$C_f = \frac{D_f \times \cos \beta}{\frac{\rho}{2} \times V_1^2 \times \lambda \times b^2}$
C_{L0}	Coefficiente de Sustentação, ângulo de <i>deadrise</i> zero	$C_{L0} = \frac{\nabla}{\frac{\rho}{2} \times V^2 \times b^2}$
$C_{L\beta}$	Coefficiente de Sustentação, <i>deadrise</i> β	$C_{L\beta} = \frac{\nabla}{\frac{\rho}{2} \times V^2 \times b^2}$
C_p	Distância entre o centro de pressão medido ao longo da quilha avante da popa transom	$C_p = \frac{l_p}{\lambda \times b}$
C_v	Coefficiente de Velocidade – Adaptação do número de Froude para embarcações planantes	$C_v = \frac{V}{(g \times b)^{1/2}}$
Re	Número de Reynolds – Adaptação do número de Reynolds para embarcações planantes	$Re = \frac{V\lambda B}{\nu}$

Fonte: Marin (2015).

Na figura 3 são mostrados os principais parâmetros e forças atuantes durante o deslocamento de um casco planante.

Figura 3 – Forças em um casco planante



Fonte: Savitsky (1964)

Onde, de acordo com Marin (2015) os parâmetros são definidos como:

VCG – posição vertical do centro de gravidade;

LCG – posição longitudinal do centro de gravidade;

LOA – comprimento total;

Δ – deslocamento;

h – altura imersa da popa transom;

τ – ângulo de trim;

ε – ângulo entre a quilha e a linha de operação do propulsor;

f – distância entre a linha de operação do propulsor até VCG;

L_c – comprimento molhado até a quina principal;

L_k – comprimento molhado até a quina;

2.1.3 Método de van Oortmerssen

G. van Oortmersen desenvolveu um modelo matemático para a resistência de pequenas embarcações de serviço, o qual foi baseado na análise de 93 modelos de embarcações do tipo rebocadores e trawlers ensaiados na Netherlands Ship Model Basin (NSMB). De acordo com Oortmersen (1971), o método apresenta um nível de confiança de 95%, onde o erro médio da estimativa de potência é inferior a 18%.

Oortmersen (1971) comenta ainda que os modelos os quais apresentaram os melhores resultados foram obtidos considerando-se os limites de validade mostrados na tabela a seguir.

Tabela 2 - Limite do Método Oortmerssen

8,00 <	Lwl	< 80,00
3,00 <	L/B	< 6,20
1,90 <	B/T	< 4,00
0,50 <	Cp	0,73
0,70 <	Cm	< 0,97
5,00 <	Desloc.	3000
-7% LOA <	LCB	< 2,8% LOA
10° <	i_e	46°
$V/LOA^{0,5} < 1,79$		

Fonte: Oortmerssen (1971).

Para os cálculos, van Oortmersen (1971) considera o comprimento de deslocamento L_D , o qual pode ser calculado por:

$$L_D = \sqrt{L_{PP} + L_{WL}} \quad (4)$$

O valor de meio ângulo de entrada da linha d'água (i_E), é estimado utilizando-se a equação que Molland (2011) e cuja validade requer que o coeficiente de bloco (C_B) da embarcação precisa estar na faixa de 0,5 a 0,7.

$$i_E = 120C_b - 50 \quad (5)$$

Por fim, a estimativa da resistência ao avanço de pequenas embarcações de serviço pode ser realizada utilizando-se a equação:

$$\frac{R_T}{\Delta} = c_1 e_n^{\frac{mF_n^{-2}}{9}} + c_2 e^{-mF_n^{-2}} + c_3 e^{-mF_n^{-2}} \cdot \sin F_n^{-2} + c_4 e^{-mF_n^{-2}} \cdot \cos F_n^{-2} + \frac{0,075}{(0,4329 \ln(R_n)^{-2})^2} \cdot \frac{0,5\rho V^2 S}{\Delta} \quad (6)$$

Onde o valor m pode ser calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$m = 0,14347 C_p^{-2,1976} \quad (7)$$

As constantes são obtidas através da seguinte equação:

$$c_i = \left(d_{i,0} + d_{i,1} * LCB + d_{i,2} * LCB^2 + d_{i,3} * C_P + d_{i,4} * C_P^2 + d_{i,5} * \frac{L_D}{B} + d_{i,6} * \left(\frac{L_D}{B}\right)^2 + d_{i,7} * C_{WP} + d_{i,9} * \left(\frac{B}{T}\right) + d_{i,10} * \left(\frac{B}{T}\right)^2 + d_{i,11} * C_M \right) * 10^{-3} \quad (8)$$

Onde os valores de d são obtidos pela seguinte tabela¹:

Tabela 3 - Constantes d

i =	1	2	3	4
d _{i, 0}	+ 79.32134	+ 6714.88397	- 908.44371	+ 3012.14549
d _{i, 1}	- 0.09287	+ 19.83000	+ 2.52704	+ 2.71437
d _{i, 2}	- 0.00209	+ 2.66997	- 0.35794	+ 0.25521
d _{i, 3}	- 246.45896	- 19662.02400	+ 755.18660	- 9198.80840
d _{i, 4}	+ 187.13664	+ 14099.90400	- 48.93952	+ 6886.60416
d _{i, 5}	- 1.42893	+ 137.33613	- 9.86873	- 159.92694
d _{i, 6}	+ 0.11898	- 13.36938	- 0.77652	+ 16.23621
d _{i, 7}	+ 0.15727	- 4.49852	+ 3.79020	- 0.82014
d _{i, 8}	- 0.00064	+ 0.02100	- 0.01879	+ 0.00225
d _{i, 9}	- 2.52862	+ 216.44923	- 9.24399	+ 236.37970
d _{i, 10}	+ 0.50619	- 35.07602	+ 1.28571	- 44.17820
d _{i, 11}	+ 1.62851	- 128.72535	+ 250.64910	+ 207.25580

Fonte: van Oortmerssen (1971).

¹ A constante “di, 53” apresenta um erro de sinal, onde é substituído o “-“ para “+” conforme discutido no fórum [https://www.boatdesign.net/threads/van-oortmerssen-resistance-prediction-method.60101/].

2.2 FORMAS DO CASCO

As formas de um casco podem ser descritas considerando-se um conjunto de dimensões e coeficientes, os quais são enumerados na Tabela 4. Tais valores afetam diretamente a resistência ao avanço, sendo amplamente utilizados como dados de entradas para métodos empíricos destinados a estimativa da resistência ao avanço.

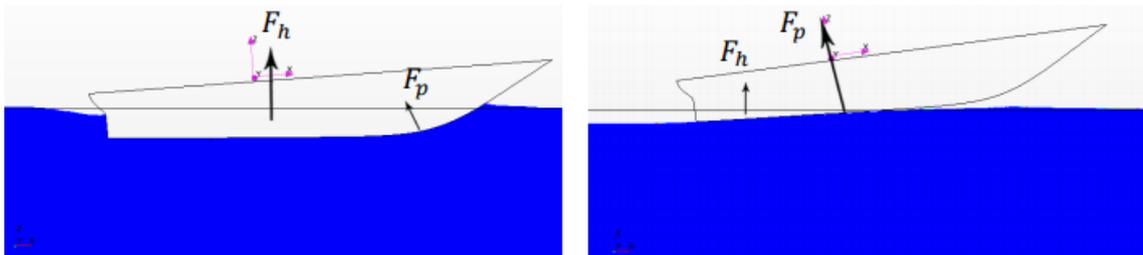
Tabela 4 - Coeficientes de Forma

Coeficiente de Plano de Flutuação	$C_{wp} = \frac{A_w}{L_{pp} * B_{wl}}$
Coeficiente Prismático	$C_p = \frac{\nabla}{A_m * L_{pp}}$
Coeficiente de Seção Mestra	$C_M = \frac{A_M}{B * T}$
Coeficiente de Bloco	$C_B = \frac{\nabla}{L_{pp} * B_{wl} * T}$

Fonte: Autor (2019).

A área molhada corresponde a área total em que a superfície do casco está em contato com a água. Logo, há uma forte influência desse parâmetro na resistência de fricção das embarcações. Para os cascos do tipo planantes, a área molhada deixa de ser um parâmetro, pois quando a embarcação atinge altas velocidades, o casco entra na condição chamada de planeio, na qual ocorre uma elevação do casco e uma redução da área molhada devido as forças de sustentação hidrodinâmicas que agem na embarcação.

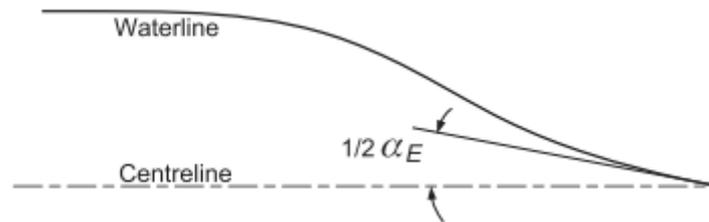
Figura 4 - Casco em situação de deslocamento e planeio



Fonte: Iervolino (2015)

O ângulo de meia entrada (i_e) corresponde ao ângulo entre a tangente da linha d'água avante e a linha central, conforme pode ser visto no plano de alto mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Meio Ângulo de Entrada



Fonte: Molland (2011)

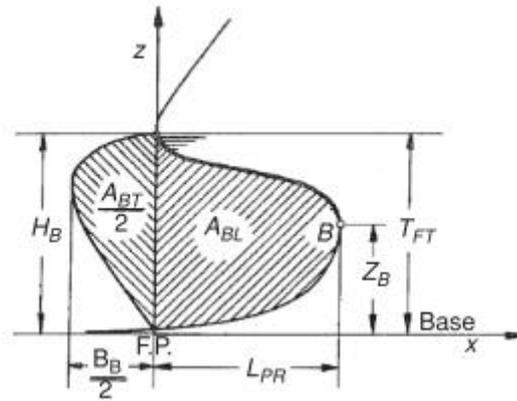
De acordo com Molland (2011), o efeito do meio ângulo de entrada sobre a resistência varia com a velocidade, sendo que embarcações com valores altos de i_e atuando a baixa velocidade apresentam maior resistência ao avanço, enquanto em altas velocidades o contrário pode acontecer.

Em casos onde embarcações com baixo coeficiente prismático navegam a altas velocidades, Molland (2011) comenta que é aconselhado utilizar um pequeno i_e , pois essa característica resulta em uma menor geração de ondas.

Segundo Molland, 2011, a presença de apêndices do tipo bulbo tem dupla função. Para embarcações rápidas age no sentido de diminuir a resistência de ondas, enquanto para embarcações de carga navegando a baixos números de Froude, têm a função de diminuir a resistência viscosa.

Na figura 6 são representadas as dimensões utilizadas para dar forma ao bulbo, onde a região da esquerda representa a seção transversal do bulbo, enquanto a área hachurada da direita corresponde a seção longitudinal do bulbo.

Figura 6 - Dimensões da forma do bulbo



Fonte: Molland (2011)

Onde:

 A_{BT} - Área da seção na perpendicular de vante do bulbo A_{BL} - Área lateral do bulbo L_{PR} - Comprimento a partir da perpendicular de vante do bulbo B - Boca do navio B_B - Boca máxima na perpendicular de vante do bulbo Z_B - Calado do bulbo T_{FP} - Calado na perpendicular avante H_B - Calado do casco

O método de Holtrop utiliza a área superficial imersa da popa (A_t) como parâmetro para os cálculos de resistência e o coeficiente de popa (C_{popa}) para caracteriza a forma da popa da embarcação. Na tabela a seguir são descritos os diferentes valores propostos por Holtrop para o coeficiente de popa para cada um dos formatos de popa considerados.

Tabela 5 - Forma de popas

Forma da Popa	C_{popa}
<i>Pram with gondola</i>	-25
Seções em V	-10
Seções Normais	0
Seções em U com popa Hogner	10

Fonte: Holtrop (1984)

De acordo com Fonseca (2002), os apêndices são partes relativamente pequenas do casco de um navio, que são projetados além da superfície exterior do chapeamento da carena. Os métodos de resistências consideram a área submersa desses apêndices (A_{APP}), e no caso do Holtrop um fator de forma do apêndice ($1 + k_2$). Holtrop (1984) comenta que embarcações com apêndices foram submetidos a testes com diversos tipos de escoamento, onde foram obtidos valores aproximados do fator de resistência do apêndice, os quais são enumerados na tabela 6.

Tabela 6 - Fator de resistência do apêndice

Valores Aproximados de $1 + k_2$	
Leme atrás da sobrequilha	1,5 - 2,0
Leme atrás da popa	1,3 - 1,5
Dois hélices com lemes compensados	2,8
Suportes de eixo	3,0
Sobrequilha	1,5 - 2,0
<i>Strut bossings</i>	3,0
<i>Hull bossings</i>	2,0
Eixos	2,0 - 4,0
Quilha de deriva	2,8
<i>Dome</i>	2,7
Bolina	1,4

Fonte: Holtrop (1984).

2.3 TESTES DE PROGRAMA

Os testes de programas foram desenvolvidos para serem os mais efetivos possíveis e auxiliarem nas atividades de validação. Tais testes são categorizados como dinâmicos ou estáticos. O teste estático é realizado sem a execução do código; enquanto o teste dinâmico é realizado com a execução do código.

O teste estático é utilizado para basicamente analisar o código, inspecionar, revisar e orientar todas as etapas do processo de desenvolvimento de um programa (CHAUHAN, 2010).

Os testes dinâmicos, por sua vez, são divididos em testes de correção, testes de performance, teste de confiabilidade e teste de segurança. Os testes de performance mensuram e analisam as características de desempenho de um programa. Os testes de segurança são realizados para encontrar falhas no programa que possam resultar em brechas para invasores. Os testes de confiabilidade são efetuados para verificar se um

sistema está sendo executado de forma correta nas mais diferentes situações. E, por último, o teste de correção, tem como objetivo verificar se o programa ao utilizar dados de entrada, resulta em valores de saída (SAWANT; BARI; CHAWAN, 2012).

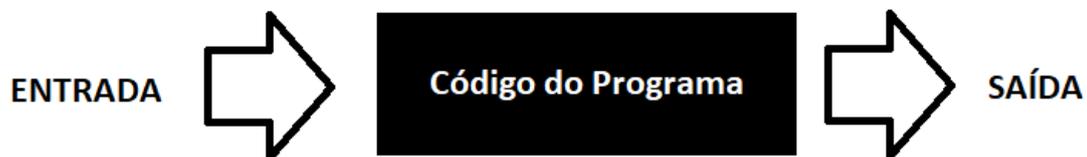
Por fim, o teste de correção pode ainda ser subdividido em teste de caixa branca, caixa cinza e caixa preta. Os nomes são analogias para o quão translucido é o código do programa no ponto de vista do testador. Logo para a caixa preta o testador não tem acesso ao código do programa, a caixa cinza tem um acesso parcial e a caixa branca tem acesso total a estrutura interna do programa.

O teste de caixa branca tem como escopo a verificação da estrutura interna, identificando eventuais problemas de segurança, verificando como o programa processa os dados de entrada. Já o teste de caixa preta tem como foco a busca por erros em funções incorretas ou faltantes, erros na interface e erros de estrutura de dados (CHOPRA, 2018).

“O teste de caixa preta é utilizado para demonstrar que o programa é operacional, onde as entradas são aceitas e as saídas são corretamente produzidas.” (CHOPRA, 2018, p. 189)

Com base na afirmação acima, o teste de caixa preta tem o acesso e o fundamento necessário para realizar a validação. O teste é realizado do ponto de vista do usuário, onde a essência é utilizar o programa para processar valores de entrada (input) e comparar o valor de saída (output) com um valor esperado (Figura 7).

Figura 7 - Caixa Preta



Fonte: Autor (2019).

Conforme já mencionado, o programa Synapse for Ships, atualmente apresenta três métodos de estimativa de resistência, no qual a confiabilidade do resultado depende da

utilização de parâmetros de entrada rigorosamente dentro das faixas de validade de cada um dos métodos, as quais foram apresentadas nesta seção.

No entanto, caso um valor esteja fora do limite do método, não acontecerá um erro de comparação entre as saídas exclusivamente por esse fator. Pois devido a implementação de equações similares, os valores tendem a convergir para resultados semelhantes. Logo, técnicas de testes de caixa preta que utilizam de valores limites como a análise de valores limites ou particionamento equivalente não serão eficientes para esse caso específico, indicando que o teste de comparação o mais adequado aos objetivos propostos neste trabalho.

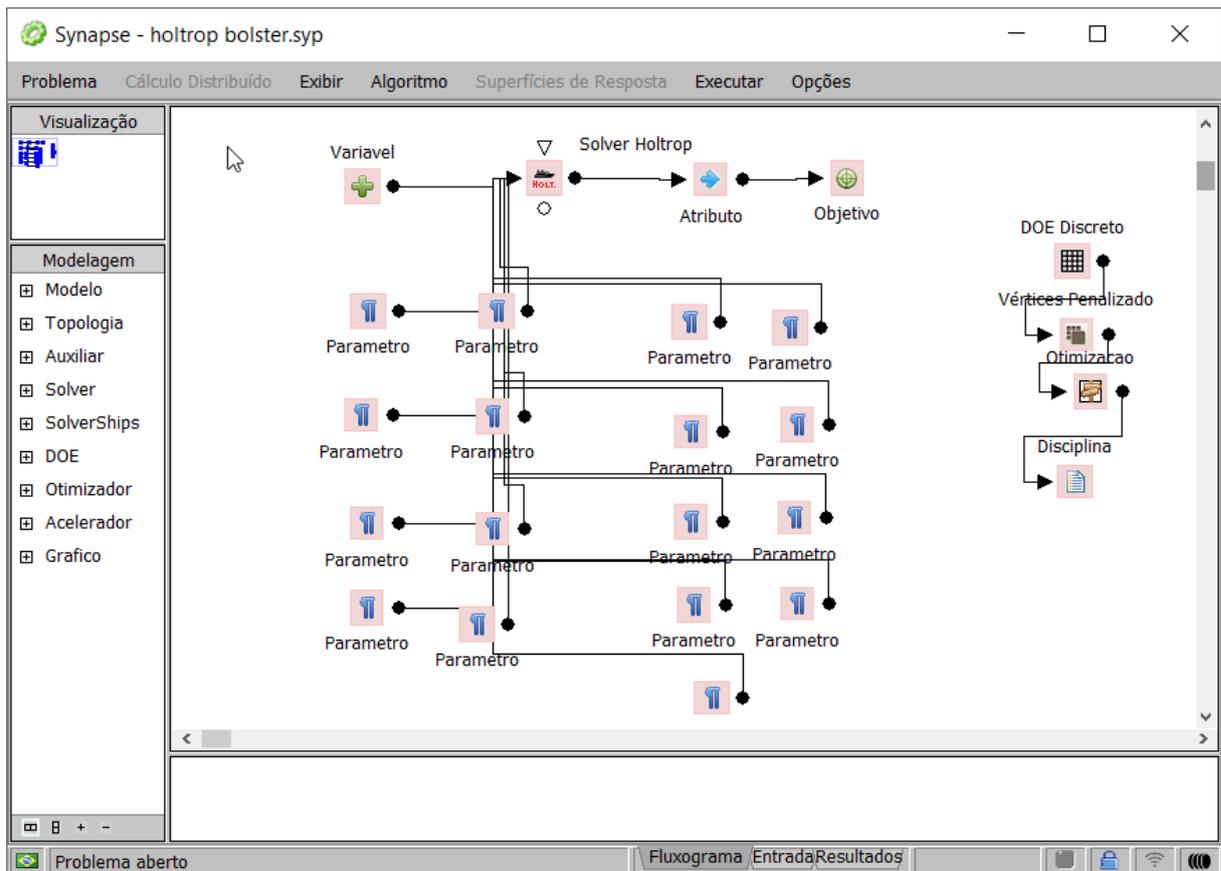
O teste de comparação consiste em utilizar um programa em particular ou um banco de dados com boa confiabilidade, a fim de comparar combinações de saída entre o esperado e o calculado (CHOPRA, 2018).

3 SYNAPSE

O Synapse é um programa criado utilizando o ambiente Delphi, o qual destina-se ao desenvolvimento de sistemas baseados na linguagem Delphi ou C++. A discussão técnica a respeito da escolha do ambiente de desenvolvimento foge ao escopo deste trabalho, que visa unicamente verificar a confiabilidade dos módulos desenvolvimentos para a estimativa da resistência ao avanço de embarcações.

Na figura a seguir é representado o funcionamento do programa, o qual pode ser descrito como um ambiente para a modelagem de problemas utilizando blocos que correspondem aos diferentes elementos que compõem o modelo de projeto, tais como parâmetros, variáveis, resultados, modelos de cálculo entre outras opções existentes no programa.

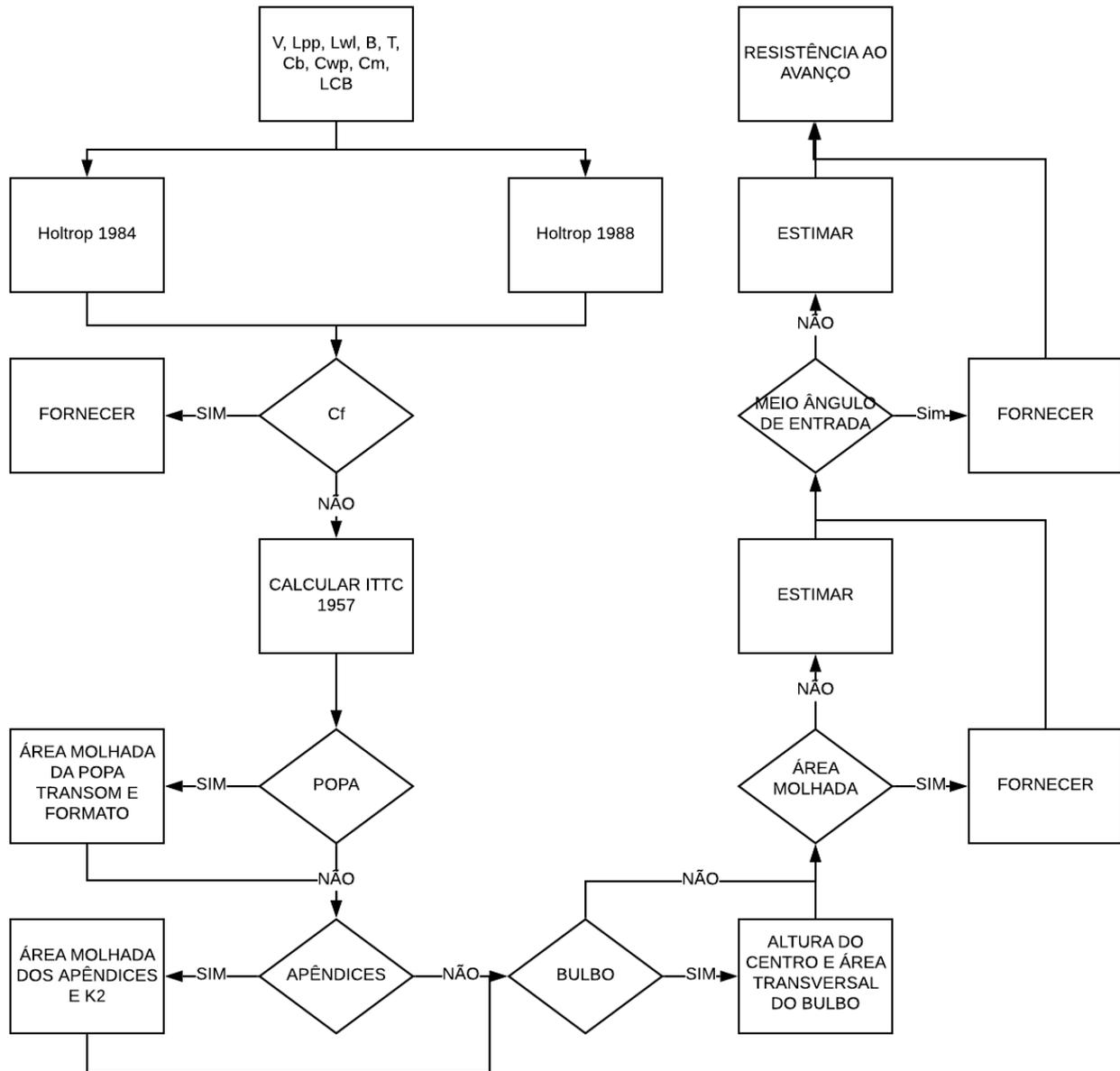
Figura 8 - Exemplo de modelagem utilizando o módulo de Holtrop



Fonte: Autor (2019).

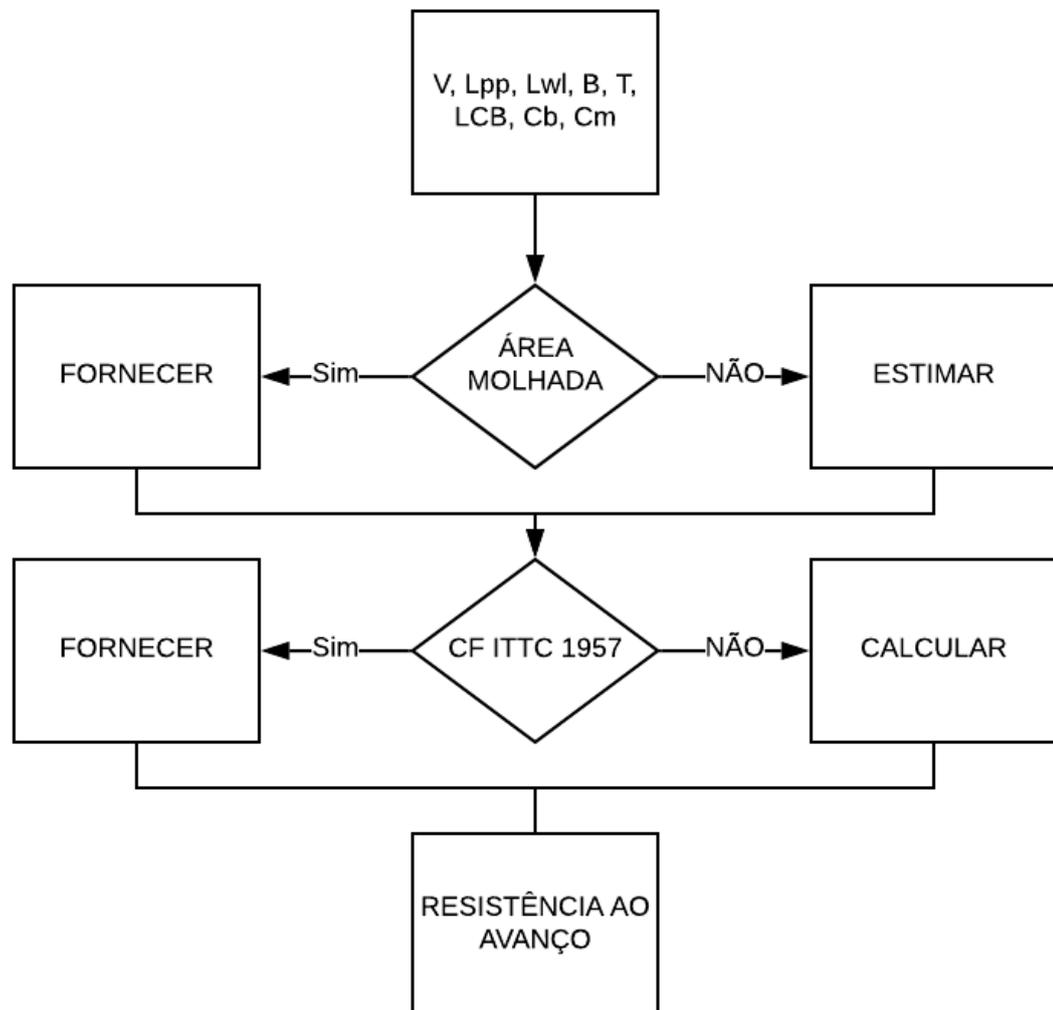
Nas figuras 9, 10 e 11 são mostrados o fluxograma de funcionamento dos módulos de resistência implementados no programa Synapse for Ships referentes aos métodos de Holtrop, van Oortmerssen e Savitsky.

Figura 9 - Fluxograma de funcionamento do módulo de Holtrop



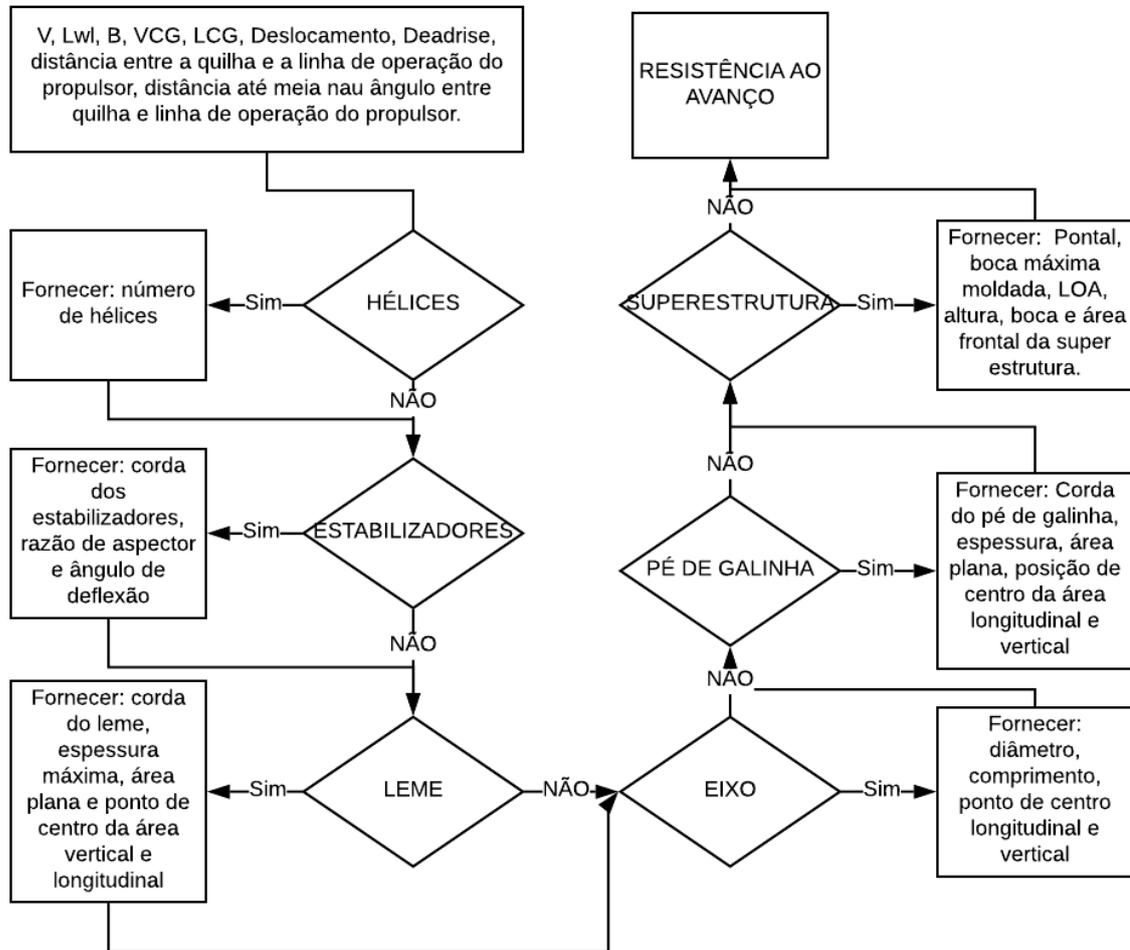
Fonte: Nishida (2018).

Figura 10 - Fluxograma de funcionamento do método de van Oortmerssen



Fonte: Autor (2019).

Figura 11 - Fluxograma de funcionamento do Método Savitsky



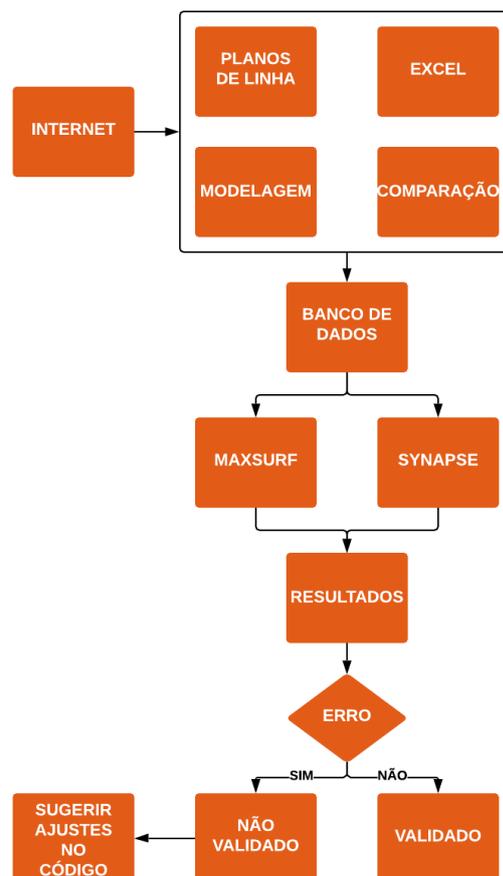
Fonte: Autor (2019).

4 METODOLOGIA

Conforme descrito anteriormente, o escopo do trabalho consiste na validação da implementação dos métodos de resistências ao avanço no programa Synapse for Ships. Portanto, neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada do desenvolvimento deste projeto.

A metodologia proposta, e cujo fluxograma é mostrado na Figura 12, consiste na criação de um banco de dados de embarcações reais que, ao serem modeladas no Synapse for Ships, geram resultados para a estimativa da resistência ao avanço, os quais são comparados com aqueles gerados em um programa de referência (Maxsurf) permitindo a eventual validação dos módulos analisados.

Figura 12 - Fluxograma do processo utilizado no desenvolvimento proposto.



Fonte: Autor (2019).

O processo de criação de um banco de dados inicia-se com a pesquisa bibliográfica, a qual é crucial para a obtenção dos planos de linhas dos cascos, cuja modelagem consistente é fundamental para o processo de validação proposto.

Destaca-se que tal pesquisa foi realizada exclusivamente na internet, e utilizou palavras chaves tipicamente associadas a modelagem/representação de cascos tais como “ship lines” e “ship plans”, em associação a termos gerais tais como “tugboat”, “yacht” e “mercant ship”.

Com os planos de linhas selecionados será realizada a próxima etapa da sequência lógica, a qual consiste na modelagem dos cascos na ferramenta Maxsurf Modeler, utilizando-se superfícies do tipo TriMesh.

Uma vez finalizada a etapa de modelagem, realiza-se a verificação dos modelos 3D obtidos, comparando-se os planos de balizas reais (obtidos na pesquisa bibliográfica) com aqueles modelados, buscando-se diferenças e realizando modificações que objetivam a maior fidelidade possível entre os dados do modelo 3D e os dados reais da embarcação.

Uma vez que seja encerrado o processo de verificação; os modelos 3D são então analisados na ferramenta Maxsurf Resistance, a qual estima a resistência ao avanço em cada um dos métodos estudados; indicando também, parte dos parâmetros de entrada utilizados na análise.

Por fim o processo de validação é realizado aplicando-se o teste de comparação descrito na fundamentação teórica, cujo valores de resistência ao avanço provindos da ferramenta Maxsurf Resistance, são comparados com aqueles oriundos da saída do programa Synapse for Ships.

O leitor ocasional poderia achar razoável utilizar cada um dos métodos em cada um dos modelos 3D construídos. No entanto, conforme salientado na fundamentação teórica, cada modelo destina-se a um tipo de embarcação e deve respeitar os limites geométricos considerados em cada um dos métodos. Assim, cada modelo 3D realizado destina-se a um método específico conforme será detalhado no capítulo seguinte.

Como o propósito da validação é evidenciar que o programa executará a estimativa da resistência ao avanço de modo correto; a última etapa da metodologia proposta consiste na documentação de todos os resultados, quantificando os erros obtidos e estabelecendo uma conclusão acerca da validação de cada um dos módulos estudados.

5 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento da pesquisa. O capítulo aborda o processo de modelagem dos cascos, a verificação dos modelos 3D e o cálculo dos parâmetros de entrada utilizados nas análises realizadas.

Para se obter todos os dados de entrada utilizados em cada um dos métodos destinados a resistência ao avanço, foi escolhido modelar cascos tridimensionais de embarcações reais, tal como descrito na metodologia.

Eventualmente poder-se-ia cogitar a utilização apenas de informações numéricas na definição dos parâmetros de entrada. No entanto alguns parâmetros do casco de uma embarcação são dificilmente descritos na literatura, tais como o meio ângulo de entrada e o coeficiente C_{wp} . Além disso, há interesse do autor em ajudar futuros trabalhos que envolvam a validação de outros módulos existentes no Synapse for Ships e cujo funcionamento não pode prescindir do modelo 3D.

Portanto, o primeiro passo da modelagem é obter os planos de linhas que satisfaçam cada método: embarcações de planeio (Savitsky), cascos deslocantes (Holtrop) e cascos de embarcações de serviço (van Oortmerssen).

Os planos de linhas são escassos, devido a necessidade das empresas protegerem o projeto de suas embarcações. Logo, boa parte dos planos obtidos nesta pesquisa são de cascos que estão em desuso ou são antigos.

Alguns projetos como Historic American Engineering Record cujo objetivo é registrar obras de engenharia historicamente importantes, disponibilizam alguns planos de linhas em imagens de alta definição em seu site. No entanto, a maioria dos planos de linhas utilizados foram obtidos em sites que disponibilizam o conteúdo de forma gratuita.

Encontrar planos de linhas provou ser uma tarefa difícil, o que fez com que a quantidade de modelos fosse limitada, mas suficiente para apresentar a redundância necessária para encontrar os erros conforme proposto na metodologia.

Após a obtenção dos planos de linhas, é feito o uso da ferramenta Maxsurf Modeler para a modelagem tridimensional dos cascos das embarcações. O programa fornece duas opções

principais para a geração de modelos 3D: as superfícies TriMesh e NURBS. A Bentley, empresa desenvolvedora do Maxsurf, apresenta em seu manual, o seguinte trecho:

“O TriMesh não foi projetado para ter superfície suaves, onde segue exatamente os pontos de dados de entrada e é linear entre os pontos de dados. Os marcadores devem fornecer detalhes suficientes para o propósito em que o modelo será colocado, como, por exemplo, análises hidrostáticas e/ou análises de seakeeping no Maxsurf Stability, Resistance e Motions” (BENTLEY, 2013, p. 150).

Logo se o modelo for criado para fins de análise, a forma do casco poderá ser criada como uma superfície TriMesh. Uma superfície TriMesh é uma superfície linear composta de faces triangulares que tende a apresentar pequenas deformações ao longo do casco. No entanto para o uso dos métodos de resistências, apresentará dados consistentes, pois o Maxsurf coleta apenas os parâmetros do modelo que descrevem a forma do casco. Mais detalhes sobre as etapas utilizadas para modelagem dos cascos podem ser vistos no apêndice A.

A comparação entre os planos de baliza dos cascos modelados e os planos de baliza originais disponíveis na literatura tem como objetivo aumentar a confiabilidade dos resultados da modelagem, sendo o resultado apresentado em detalhes no apêndice B.

A tabela 7 resume as embarcações escolhidas. Algumas embarcações são antigas, logo estão em ferro-velho ou em museus, como é o caso do Hercules e do Arthur M. Huddel que se encontram respectivamente no San Francisco Maritime National Historical Park e no museu flutuante Hellas Liberty.

Tabela 7 - Cascos Selecionados

Nome	Método	Nº IMO
Gatika	van Oortmerssen	9103271
Hercules	van Oortmerssen	-
Kovdor	van Oortmerssen	8845731
Alai	van Oortmerssen	7825954
Odys	van Oortmerssen	7937965
U.S.S. Bolster	Holtrop	-
Le Mekong	Holtrop	-
SS Auslag	Holtrop	127441
Saugatuck	Holtrop	7737432
Arthur M. Huddel	Holtrop	5025706
Cobra 21'	Savitsky	-
Blue Game 60	Savitsky	-
Higgins	Savitsky	-
Aquarama	Savitsky	-

Fonte: Autor (2019).

Como mencionado anteriormente na metodologia, os cascos após serem modelados são analisados na ferramenta Maxsurf Resistance visando a obtenção dos parâmetros de entrada utilizados nos diferentes métodos analisados. Na tabela 8 são sintetizados os dados de entrada para as embarcações de serviço (van Oortmerssen), enquanto na Tabela 9 são sintetizados os dados de entrada das embarcações mercantes (Holtrop).

Tabela 8 – Dados de Entrada van Oortmerssen

Nome	Gatika	Odys	Kovdor	Alai	Hercules
Lpp [m]	28	32,325	28,2	21,5	43,222
Lwl [m]	28,93	32,283	28,196	22,506	43,066
B [m]	10,932	9,182	8,143	7,675	8,115
T [m]	3,556	4,283	3,305	2,996	3,963
Cb	0,659	0,440	0,411	0,516	0,468
Cm	0,957	0,744	0,794	0,867	0,774
LCB	1,25%	-3,05%	1,35%	-0,93%	1,25%
Área Molhada [m ²]	376,124	337,79	231,252	195,629	442,506
Meio ângulo de Entrada	49,6	31,6	28,5	37,6	19,5

Fonte: Autor (2019).

Tabela 9 – Dados de Entrada Holtrop

Nome	Arthur M. Huddel	Saugatuck	Auslag	Mekong	U.S.S. Bolster
Lpp [m]	126,797	151,776	76,200	133,000	63,094
Lwl [m]	123,313	152,457	74,417	132,284	63,107
B [m]	17,374	20,726	11,881	18,984	13,186
T [m]	4,362	6,205	3,583	8,043	3,95
Cb	0,634	0,716	0,724	0,724	0,558
Cm	0,952	0,970	0,960	0,982	0,969
LCB [%]	4,861%	0,335%	0,598%	0,036%	0,144%
Coeficiente de Popa	0	0	3	0	0
Coeficiente Apêndices	0	0	0	0	0
Área Apêndices [m ²]	0	0	0	0	0
Área Transom [m ²]	0	0	0	0	0
Área do Bulbo Transversal [m ²]	0	0	0	0	0
Altura do Centro do Bulbo [m]	0	0	0	0	0
Área Molhada [m ²]	2312,053	3846,258	1113,697	3620,136	873,4
Ângulo de Meia Entrada	23,4	18,4	22,9	21,1	19,1
Cwp	0,732	0,781	0,79	0,818	0,71

Fonte: Autor (2019).

Como pode-se observar, os resultados do banco de dados não apresentam valores referentes aos apêndices, a popa transom ou ao bulbo. Logo, para averiguar a influência desses parâmetros nos módulos desenvolvidos, foram considerados valores para cada um desses parâmetros; estimados a partir de proporções razoáveis e que são sintetizados na tabela a seguir. Observa-se que alguns valores estão no limite da razoabilidade, justamente para avaliar o comportamento do programa em casos limites.

Tabela 10- Valores de Entrada para Holtrop com Bulbo, Apêndices e Popa Transom

Nome	Arthur M. Huddel	Mekong	Saugatuck	U.S.S. Bolster	Saugatuck	Auslag	U.S.S. Bolster
Lpp [m]	126,797	133	151,776	63,094	151,776	76,200	63,094
Lwl [m]	129,134	132,284	156,836	63,107	152,457	74,417	63,107
B [m]	17,374	18,984	20,726	13,186	20,726	11,881	13,186
T [m]	7,761	8,043	9,378	3,95	6,205	3,583	3,95
Cb	0,694	0,724	0,748	0,558	0,716	0,724	0,558
Cm	0,973	0,982	0,980	0,969	0,970	0,960	0,969
LCB [%]	4,237%	0,767%	0,323%	0,144%	0,335%	0,598%	0,144%
Coeficiente de Popa	0	0	0	0	0	3	0
Coeficiente Apêndices	0	0	2	1,5	0	0	0
Área Apêndices [m ²]	0	0	150	80	0	0	0
Área Transom [m ²]	0	100	0	0	150	0	0
Área do Bulbo Transversal [m ²]	100	0	0	0	0	60	50
Altura do Centro do Bulbo [m]	1,5	0	0	0	0	0,5	1
Área Molhada [m ²]	3215,059	3620,136	4876,157	873,4	3846,258	1113,697	873,4
Ângulo de Meia Entrada	23,8	21,1	19,1	19,1	18,4	22,9	19,1
Cwp	0,81	0,818	0,824	0,71	0,781	0,79	0,71

Fonte: Autor (2019).

Por fim, no caso do método Savitsky, os dados de entrada (tabela 11) são descritos no sistema inglês de medida, tal como proposto pelo autor original. Ou seja, as dimensões estão descritas em pés, o deslocamento em libra-força, a velocidade em nós e o valor da resistência ao avanço é expressa em libra-força (lbf).

Tabela 11 - Dados de Entrada Savitsky

Nome	BG60	Aquarama	Higgins	Cobra
B [ft]	14,85	7,04	14,61	5,37
Lwl [ft]	49,97	23,55	64,42	19,35
LCG [ft]	21,52	9,70	25,61	7,76
VCG [ft]	1,86	0,45	2,25	0,35
LOA [ft]	57,74	27,10	68,34	20,77
Z [ft]	9,17	1,30	4,50	0,91
Deslocamento [lbf]	48825,66	5058,43	130421,62	2720,16
L_x [ft]	7,16	11,77	32,50	9,68
β	21,50	20,20	26,20	15,30
β_x	21,50	20,20	26,20	15,30
Bmax [ft]	16,96	15,00	15,00	6,70
e	4,00	1,00	4,00	1,00
f	0,20	0,20	0,40	0,50

Fonte: Autor (2019).

Onde:

Bmax – boca moldada máxima;

β – ângulo de deadrise na popa;

β_x – ângulo de deadrise à meia nau;

L_x – distância à meia nau;

Z – pontal moldado.

6 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas análises utilizando-se os programas Maxsurf Resistance e Synapse for Ships. Os valores de saída são então comparados e analisados em termos do erro relativo e do erro absoluto.

Tanto os erros relativos quanto os erros absolutos são calculados para os valores de resistência total do Maxsurf Resistance (R_{MAX}) e a resistência total do Synapse (R_{SYN}). A equação a seguir demonstra o erro relativo.

$$Erro_R = \left| \frac{R_{MAX} - R_{SYN}}{R_{MAX}} \right| \quad (9)$$

O erro absoluto é obtido considerando a equação:

$$Erro_{abs} = R_{MAX} - R_{SYN} \quad (10)$$

Os valores são considerados satisfatórios para um erro relativo médio inferior a 10%, o qual contempla as incertezas inerentes aos métodos empíricos.

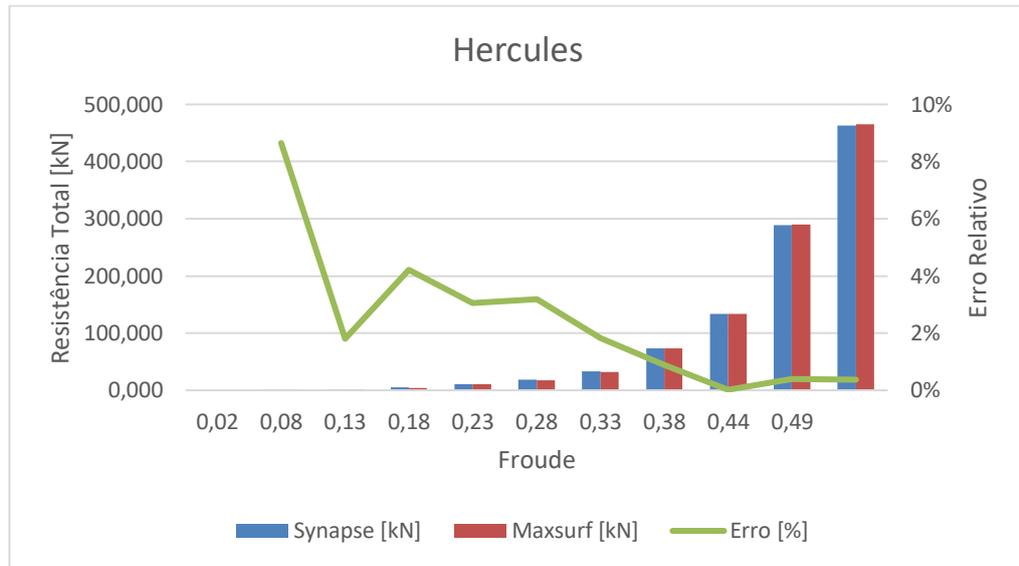
É importante observar que o limite de 10% foi arbitrado como limite razoável que, na maioria dos casos, não afetará a escolha do sistema propulsivo utilizado, pois, em tese, não deve alterar a seleção do propulsor e, principalmente, a seleção do motor.

Os resultados completos do processo de análise são mostrados no Apêndice C.

6.1 RESULTADOS VAN OORTMERSSEN

O gráfico de barras da figura 14 relaciona os valores das duas resistências totais em kN, geradas por ambos os programas para cada número de Froude analisado.

Figura 13 - Gráfico das Resistências Totais do Hercules



Fonte: Autor (2019).

Com esse único caso é possível observar que os valores de erro relativo para baixos números de Froude estão altos em relação ao restante do gráfico. No entanto, as barras estão com alturas semelhantes, o que mostra valores de erros absolutos baixos.

Na tabela a seguir são apresentados os valores de erro relativo para cada embarcação de serviço; considerando ainda cada uma das velocidades analisadas.

Tabela 12 - Erros relativos na aplicação do método de van Oortmerssen

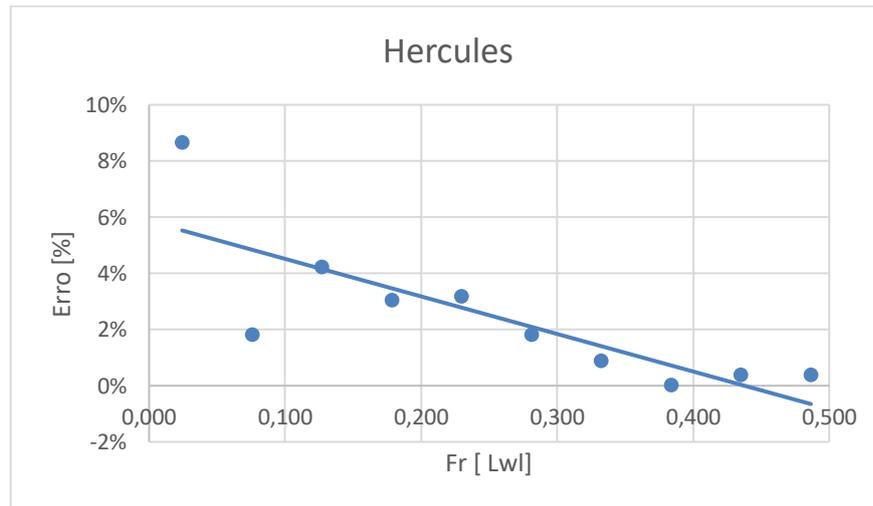
Velocidade [m/s]	Hercules	Kovdor	Alai	Gatika	Odys
0,5	9%	1%	11%	18%	45%
1,5556	2%	6%	6%	4%	3%
2,6111	4%	2%	7%	6%	2%
3,6667	3%	1%	6%	7%	2%
4,7222	3%	2%	3%	8%	1%
5,7778	2%	0%	13%	10%	1%
6,8333	1%	0%	5%	5%	1%
7,8889	0%	0%	1%	3%	0%
8,9444	0%	0%	1%	5%	0%
10	0%	0%	3%	1%	0%

Fonte: Autor (2019).

Apesar dos valores discrepantes nas velocidades baixas, a maior parte das embarcações apresentaram erros relativos baixos, isso demonstra que a implementação realizada no Synapse for Ships está com valores bem consistentes em relação ao Maxsurf. Excluindo os dois erros

relativos que ocorrem na velocidade de 5,7778 m/s nos rebocadores Alai e Gatika, os erros relativos de forma geral decaem conforme os valores de velocidade e Froude aumentam. Isso indica uma correlação inversamente proporcional de valor -0,804 entre os valores da embarcação Hercules, conforme mostrado no gráfico a seguir.

Figura 14 - Gráfico Correlação entre Froude e Erro Relativo



Autor (2019).

Logo, para melhor avaliar a comparação, é utilizado o erro absoluto, que para esse caso específico, avalia com mais profundidade os erros ocorridos em baixas velocidades, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 13 - Erros absolutos na aplicação do método de van Oortmerssen

Velocidade [m/s]	Hercules [kN]	Kovdor [kN]	Alai [kN]	Gatika [kN]	Odys [kN]
0,50	0,017	-0,0014	0,011	0,036	-0,045
1,56	-0,027	-0,0479	-0,047	-0,064	-0,032
2,61	-0,190	-0,0542	-0,259	-0,549	-0,118
3,67	-0,311	-0,1087	-0,449	-1,302	-0,214
4,72	-0,557	-0,2559	-0,536	-3,846	0,287
5,78	-0,587	0,0177	-7,327	-8,051	-0,613
6,83	-0,642	0,208	-5,797	-12,493	-0,517
7,89	-0,023	0,547	-1,008	7,093	-0,264
8,94	1,116	0,749	-1,696	11,442	-0,888
10,00	1,750	1,166	-6,096	2,433	-1,603

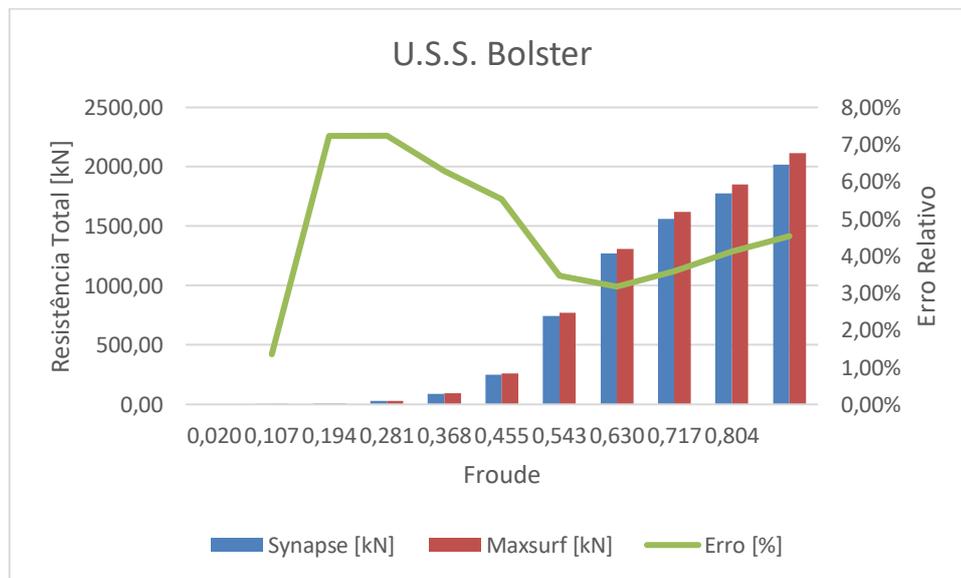
Fonte: Autor (2019).

Com os resultados da tabela 13, nota-se que a tendência dos valores é divergir conforme a velocidade aumenta, o que é esperado, pois os erros absolutos tendem a aumentar conforme a velocidade aumenta. No entanto, os resultados estão satisfatórios para velocidade baixas apresentando variação apenas na segunda casa decimal, os quais provavelmente ocorrem por incertezas (arredondamento) utilizados nos dados de entrada além da segunda casa decimal.

6.2 RESULTADOS HOLTROP

A análise dos resultados obtidos ao se considerar o método de Holtrop seguiu uma metodologia semelhante à utilizada na comparação dos resultados de resistência ao avanço utilizando-se o método de van Oortmerssen. No gráfico a seguir são mostrados os valores das duas resistências totais em kN, geradas por ambos os programas para cada número de Froude analisado.

Figura 15 - Gráfico Comparando as Resistências de Holtrop



Fonte: Autor (2019).

O gráfico acima mostra valores caóticos para o erro relativo, em comparação ao método de van Oortmerssen. Logo, será analisado o erro relativo de todas as embarcações a fim de averiguar se esse padrão de erro é recorrente. A tabela 13 mostra os erros relativos das embarcações sem apêndice, bulbo e popa transom em função da velocidade.

Tabela 14 - Erros relativos na aplicação do método de Holtrop

Velocidade [m/s]	Bolster	Le Mekong	Auslag	Saugatuck	Arthur M. Huddel
0,5	1,4%	4,5%	1,0%	3,9%	2,1%
2,6667	7,2%	6,9%	6,1%	7,4%	7,8%
4,8333	7,2%	6,8%	4,4%	7,6%	7,7%
7	6,3%	5,2%	0,7%	6,5%	7,3%
9,1667	5,5%	2,8%	4,0%	4,7%	6,8%
11,333	3,5%	0,3%	0,6%	3,8%	7,0%
13,5	3,2%	3,2%	3,6%	3,5%	7,0%
15,667	3,6%	1,8%	5,5%	5,0%	7,5%
17,833	4,1%	0,2%	6,8%	1,1%	7,9%
20	4,5%	0,7%	6,5%	0,1%	8,1%

Fonte: Autor (2019).

Nota-se que os erros relativos apresentam valores aparentemente aleatórios em todas as resistências, logo será analisado um caso em particular para observar com mais clareza o que está acontecendo, buscando identificar em quais parcelas podem estar ocorrendo erros de implementação do método.

Tabela 15 - Valores de Resistência e Comparação para o Casco U.S.S. Bolster

B o l s t e r	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
	0,020	0,00	0,29	0,06	0,05	0,00	0,00	0,39	0,4	1%	0,01
0,107	0,00	6,31	1,27	1,33	0,00	0,00	8,91	9,6	7%	0,69	
0,194	1,49	19,09	3,91	4,36	0,00	0,00	28,85	31,1	7%	2,25	
0,281	35,09	38,11	6,61	9,14	0,00	0,00	88,94	94,9	6%	5,96	
0,368	163,12	63,08	6,69	15,67	0,00	0,00	248,56	263,1	6%	14,54	
0,455	623,15	93,82	5,72	23,95	0,00	0,00	746,64	773,4	3%	26,76	
0,543	1100,70	130,18	4,58	33,98	0,00	0,00	1269,45	1311,0	3%	41,55	
0,630	1339,30	172,07	2,72	45,77	0,00	0,00	1559,86	1617,9	4%	58,04	
0,717	1497,40	219,37	0,90	59,30	0,00	0,00	1776,96	1853,4	4%	76,44	
0,804	1670,30	272,01	0,00	74,58	0,00	0,00	2016,89	2112,7	5%	95,81	

Fonte: Autor (2019).

Na tabela acima são mostrados os valores correspondendo a cada uma das parcelas de resistência ao avanço definidas por Holtrop (1984) e que foram calculadas para o navio U.S.S. Bolster.

De acordo com Holtrop (1988), o valor de fator de forma varia com o valor de Reynolds. Portanto, conforme a velocidade aumenta, o efeito da forma será afetado por efeitos de superfícies livres tais como ondas e trim. Logo, considera-se uma correção no fator de forma que varia em função da velocidade considerada.

No Synapse for Ships, foi aplicada a correção no fator de forma sugerido por Holtrop (1988) e, portanto, caso o Maxsurf não apresente essa correção, é natural existirem discrepâncias em valores de Froude alto.

Assim é razoável verificar se o Maxsurf Resistance apresenta tal correção. Ao se consultar o manual técnico disponibilizado pelo programa, não se constatou referência alguma a Holtrop (1988), indicando que é provável que tal correção não tenha sido implementada.

Para confirmar essa hipótese, buscou-se decompor a resistência ao avanço calculada no Maxsurf utilizando-se os coeficientes de resistência apresentados junto aos demais resultados calculados. A partir da equação mostrada a seguir, é possível obter o fator de forma dividindo o coeficiente de resistência viscosa pelo coeficiente de fricção.

$$C_V = (1 + K) * C_F \quad (11)$$

Aplicando-se tal procedimento, foi constatado que o Maxsurf utiliza uma constante para o fator de forma ao contrário do proposto por Holtrop (1988) onde o coeficiente de forma varia com o Froude. Em Holtrop (1984), o coeficiente de forma é estimado empiricamente por meio da equação:

$$1 + k = 0,93 * 0,487118 * (1 + 0,011 * C_{popa}) * \left(\frac{B}{L_{wl}}\right)^{1,06806} \\ * \left(\frac{T}{L_{wl}}\right)^{0,46106} * \left(\frac{L_{wl}}{L_{BP}}\right)^{0,121563} * \left(\frac{L^3}{\Delta}\right)^{0,36486} \\ * ((1 - C_P)^{-0,604246}) \quad (12)$$

Durante a verificação dos coeficientes de forma, também foi avaliado os coeficientes de correlação e de fricção, adimensionalizados por meio da equação:

$$C = \frac{R}{0,5 * \rho * V^2 * S} \quad (13)$$

Os resultados da análise do navio U.S.S. Bolster são então decompostos em termos das diferentes parcelas, as quais são sintetizadas e comparadas na tabela a seguir.

Tabela 16 - Comparação entre as Resistências de Fricção

Velocidade [m/s]	Cf	Resistência de Fricção Maxsurf [kN]	Resistência de Fricção Synapse[kN]	Erro Absoluto [kN]	Resistência de Correlação Maxsurf [kN]	Resistência de Correlação Synapse [kN]	Erro Absoluto [kN]
0,5	2,5492	0,29	0,29	0,00	0,07	0,05	0,02
7	1,7374	38,11	38,11	0,00	13,28	9,13	4,15
13,5	1,5958	130,18	130,18	0,00	49,40	33,97	15,43
20	1,5192	272,01	272,01	0,00	108,42	74,56	33,86

Fonte: Autor (2019).

Os valores de resistência de fricção do Synapse apresentam erros absolutos iguais a zero, ou seja, não há erros quanto a resistência de fricção. No entanto o erro causado pelos coeficientes de correlação é responsável por 30% do erro absoluto na velocidade de 20 m/s e 69% do erro absoluto para a velocidade de 7 m/s. Logo, a próxima etapa é conferir os valores de correlação. Os coeficientes de correlação são vistos com mais detalhes na tabela abaixo.

Tabela 17 - Coeficientes de Correlação

Nome	Maxsurf	Synapse
U.S.S. Bolster	0,605556	0,4164
Le Mekong	0,459506	0,283651
Auslag	0,577224	0,390779
Saugatuck	0,426289	0,253424
Arthur M. Huddel	0,464993	0,308174

Fonte: Autor (2019).

Com base nas verificações dos coeficientes, observa-se que a maior parcela dos erros se encontra nos coeficientes de correlação e de forma. Para verificar essa hipótese os valores de coeficiente de forma e de correlação do Synapse são substituídos por aqueles obtidos no Maxsurf. Os resultados obtidos são então descritos na tabela abaixo, a qual permite concluir que de fato o Maxsurf realiza a implementação do método de Holtrop (1984), sem realizar nenhuma das correções propostas por Holtrop (1988).

Tabela 18 - U.S.S. Bolster com as Resistências de Forma e Correlação Substituídas

Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro Relativo [%]	Erro Absoluto [kN]
0,020	0,00	0,29	0,068	0,068	0,42	0,4	5%	-0,021
0,281	35,09	38,11	9,137	13,282	95,61	94,9	1%	-0,713
0,543	1100,70	130,18	31,217	49,400	1311,50	1311,0	0%	-0,497
0,804	1670,30	272,01	51,094	108,423	2101,83	2112,7	1%	10,873

Fonte: Autor (2019).

O erro absoluto é aplicado nas faixas de velocidades de 0,5, 7, 9, 13,5 e 20 m/s, pois essa faixa abrange diferentes valores de Froude do navio U.S.S. Bolster e com base nisso, concluiu-se que as parcelas de resistência de onda nesse caso estão com erros baixos, pois a resistência de fricção apresenta valores de erros absolutos iguais a zero.

6.2.1 Resultados do Método de Holtrop para Cascos com Apêndices

Uma vez analisados os resultados referentes a consideração do casco nú, passasse a analisar a influencia dos apêndices no método de Holtrop, e cujos resultados podem ser vistos na tabela abaixo.

Tabela 19 - Erro Relativo e Absoluto para os Cascos com Apêndices

Velocidade [m/s]	Saugatuck	U.S.S. Bolster	Saugatuck	U.S.S. Bolster
0,5	3%	18%	0,05	0,07
2,6667	7%	16%	3,32	1,53
4,8333	7%	16%	10,41	5,06
7	6%	10%	19,34	9,38
9,1667	4%	4%	26,59	11,77
11,333	3%	2%	39,53	13,45
13,5	0%	1%	6,04	15,51
15,667	3%	1%	137,23	18,80
17,833	3%	1%	312,02	23,14
20	5%	1%	756,93	29,43

Fonte: Autor (2019).

Os resultados obtidos foram comparados novamente aos valores das resistências de correlação, fricção e forma, onde os coeficientes foram obtidos da mesma forma descrita

anteriormente. Os resultados da decomposição da resistência ao avanço são então sintetizados na tabela a seguir.

Tabela 20 - Comparação entre as Resistências Navio Saugatuck com Apêndices

Velocidade [m/s]	Resistência Correlação Synapse	Resistência Correlação Maxsurf	Resistência Forma Synapse	Resistência Forma Maxsurf	Resistência Fricção Synapse	Resistência Fricção Maxsurf
0,5	0,16	0,26	0,31	0,27	1,38	1,38
7	31,21	51,37	38,34	37,53	189,28	189,28
13,5	116,06	191,05	80,59	128,81	649,71	649,71
20	254,74	419,32	59,50	269,86	1361,10	1361,14

Fonte: Autor (2019).

Os valores de resistência de correlação e resistência obtidos pelo Synapse for Ships são substituídos pelos valores de resistência do Maxsurf, assim será avaliado a influência do valor de onda dentro dos resultados.

Tabela 21 – Influência da Resistência do Apêndice e Onda no Erro

Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro Absoluto	Erro [%]
0,013	0,00	1,38	0,2743	0,262	1,92	1,9	-0,020	1%
0,178	35,54	189,28	37,5269	51,367	313,72	313,7	-0,016	0%
0,344	1798,30	649,71	128,8116	191,054	2767,88	2650,7	-117,175	4%
0,510	15261,00	1361,10	269,8586	419,322	17311,28	16179,4	-1131,881	7%

Fonte: Autor (2019).

Portanto, para valores de velocidade baixa, a parcela de erro está relacionada aos erros de resistência de forma e correlação, pois a resistência de onda não apresenta influência significativa na resistência total.

No entanto, com um valor de Froude acima de 0,35, a parcela de ondas e o seu respectivo erro passa a ter grande relevância, como pode ser visto na tabela acima, onde podem ser observados erros relativos em torno de 7%.

Mesmo sabendo que a comparação entre os programas pode apresentar diferenças decorrentes da versão do método implementada, é realizado o erro médio dos resultados com a finalidade de observar se as ferramentas computacionais encontram-se dentro de faixas razoáveis. Portanto, para possuir um resultado com menor influência do erro causando por arredondamento, é excluindo a primeira linha de velocidade da tabela 19, resultando o valor de erro médio relativo de 5,11%, valor ainda assim satisfatório.

Para uma análise ainda mais aprofundada, o ideal é que o programa Synapse for Ships exibisse um valor de resistência de apêndice, isso facilitaria na comparação dos resultados. No entanto, a opção não está disponível na atual versão.

6.2.2 Resultados do Método de Holtrop para Cascos com Popa Transom

De maneira análoga ao descrito na seção anterior, nesta seção realiza-se a análise da influência da popa transom na validação do módulo de Holtrop do Synapse for Ships.

A tabela 22 mostra os valores de erro relativo e absoluto para os navios Le Mekong e Saugatuck com popa transom e sem apêndices e/ou bulbo.

Tabela 22 - Erro Relativo e Absoluto para as Embarcações com Popa Transom

Velocidade [m/s]	Le Mekong	Saugatuck	Le Mekong	Saugatuck
0,5	1%	1%	0,04	0,06
2,6667	2%	2%	2,53	2,60
4,8333	2%	2%	7,82	7,93
7	2%	2%	15,73	15,70
9,1667	3%	2%	29,21	28,86
11,333	3%	3%	49,95	53,81
13,5	4%	3%	115,16	93,87
15,667	4%	4%	205,40	155,23
17,833	3%	5%	231,83	225,10
20	3%	6%	310,70	305,87

Fonte: Autor (2019).

Diante dos resultados, é esperado que, novamente, uma boa parcela desse erro seja causada novamente por erros nas parcelas referentes à resistência de correlação e à resistência de forma, conforme pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 23 - Comparação entre as Resistências Saugatuck com Popa Transom

Velocidade [m/s]	Resistência Correlação Synapse	Resistência Correlação Maxsurf	Resistência Forma Synapse	Resistência Forma Maxsurf	Resistência Fricção Synapse	Resistência Fricção Maxsurf
0,5	0,12	0,21	0,22	0,22	1,10	1,10
7	24,48	40,52	27,45	29,71	149,83	149,83
13,5	91,04	150,70	55,85	101,95	514,23	514,23
20	199,82	330,76	40,55	213,57	1077,20	1077,22

Fonte: Autor (2019).

Com base nessa comparação, os resultados de resistência e correlação são substituídos para melhor avaliar as diferenças causadas pela resistência de popa transom no erro (Tabela 24).

Tabela 24 - Influência da Popa Transom no Erro

Fr	Resistência de Onda	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf	Erro Absoluto	Erro [%]
0,013	0,00	1,10	0,22	0,21	0,00	3,80	5,32	5,3	-0,02	0%
0,178	1,09	149,83	29,71	40,52	0,00	637,36	858,50	855,9	-2,60	0%
0,344	38,30	514,23	101,95	150,70	0,00	1969,90	2775,08	2763,2	-11,88	0%
0,510	369,66	1077,20	213,57	330,76	0,00	3444,10	5435,29	5437,2	1,91	0%

Fonte: Autor (2019).

Analisando-se a tabela 24 é possível observar que o erro nesse caso é baixíssimo, por causa da baixa influência da resistência de onda mesmo em números de Froude elevados. Assim conclui-se que a parcela predominante de erro se encontra no cálculo da resistência de forma e de correlação, e não na parcela referente a popa transom.

6.2.3 Resultados do Método de Holtrop para Cascos com Bulbo

Por fim, de maneira análoga ao descrito na seção anterior, nessa seção realiza-se a análise da influência do bulbo na validação do módulo de Holtrop do Synapse for Ships.

Para a resistência ao avanço de cascos com bulbo e sem apêndices e/ou popa transom, os erros absolutos são exibidos na tabela a seguir.

Tabela 25 - Erros Relativos para Cascos com Bulbo

Velocidade [m/s]	Arthur M. Huddel	U. S. S. Bolster	Auslag
0,5	2%	85%	32%
2,6667	7%	35%	36%
4,8333	9%	38%	34%
7	7%	54%	23%
9,1667	3%	79%	16%
11,333	19%	123%	87%
13,5	26%	148%	259%
15,667	56%	154%	301%
17,833	79%	157%	306%
20	81%	159%	294%

Fonte: Autor (2019).

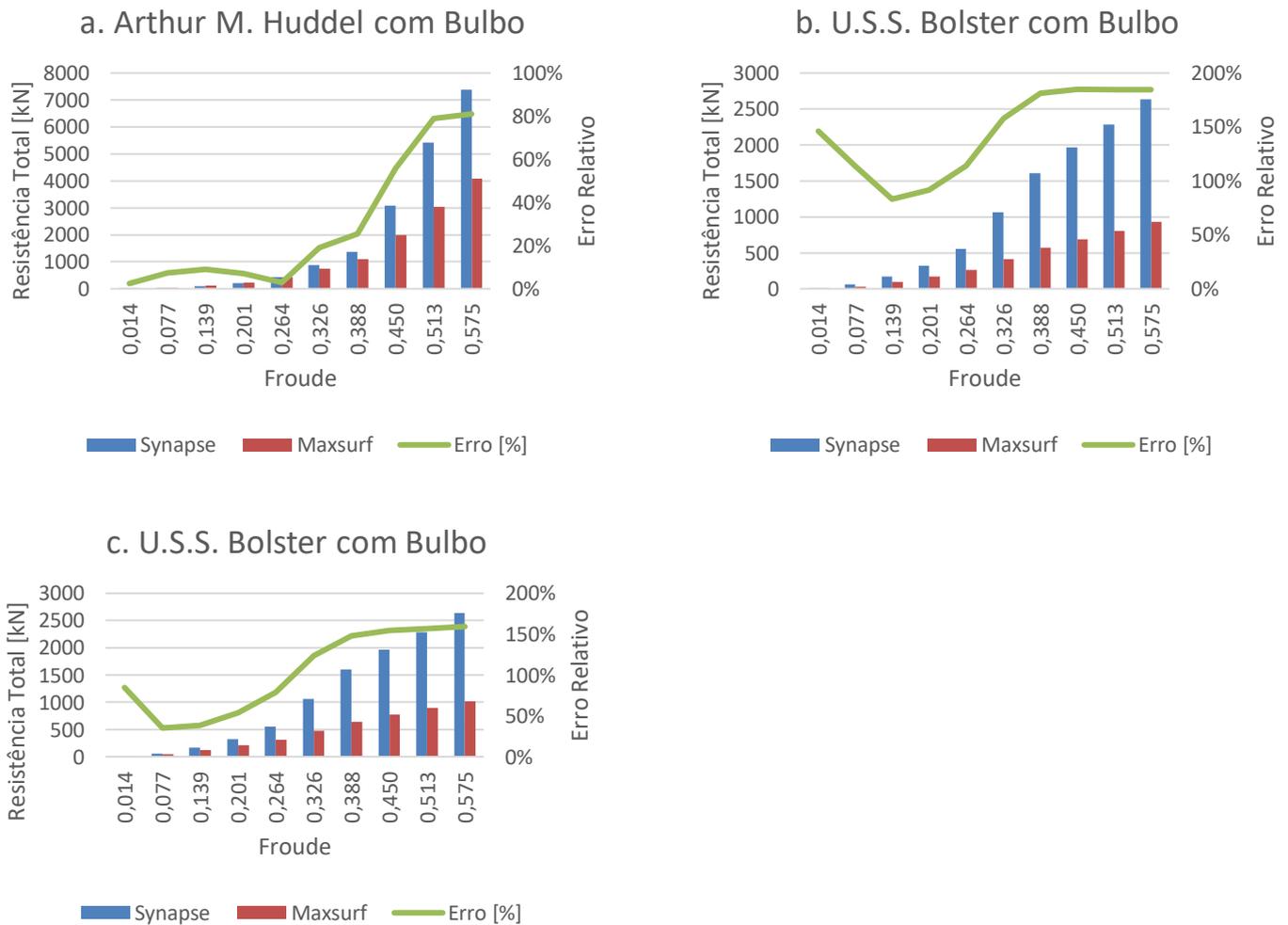
Novamente buscando compreender-se a gênese de tal erro, a resistência ao avanço total é decomposta em suas respectivas componentes, tal como pode ser visto na tabela 26.

Tabela 26 - Valores de Resistência e Comparação para o Casco com Bulbo Auslag

Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
0,019	0,00	0,35	0,09	0,06	0,45	0,00	0,96	1,4	32%	0,44
0,099	0,01	7,86	1,91	1,59	38,24	0,00	49,60	77	36%	27,40
0,179	4,07	23,81	5,93	5,21	91,67	0,00	130,69	197,8	34%	67,11
0,259	55,89	47,55	10,68	10,93	114,90	0,00	239,95	311,6	23%	71,65
0,339	249,76	78,74	12,39	18,74	141,83	0,00	501,46	432,5	16%	-68,96
0,419	657,37	117,14	10,04	28,65	284,20	0,00	1097,40	587,2	87%	-510,20
0,500	1911,70	162,59	15,95	40,65	958,71	0,00	3089,60	861,3	259%	-2228,30
0,580	3105,70	214,94	6,75	54,74	1129,60	0,00	4511,73	1125,3	301%	-3386,43
0,660	3615,40	274,07	3,60	70,93	1299,00	0,00	5263,00	1295,1	306%	-3967,90
0,740	3738,90	339,89	0,91	89,22	1467,20	0,00	5636,12	1428,7	294%	-4207,42

Fonte: Autor (2019).

Figura 16 - Gráfico de Comparação entre as Resistências de Embarcações com Bulbo



Fonte: Autor (2019).

A resistência de onda ou bulbo no Synapse apresenta valores maiores que a resistência total do Maxsurf, logo a resistência total apresenta quase três vezes o valor da resistência esperada (Figura 16).

É notável a diferença entre as alturas das barras nos gráficos acima, isso mostra erros absoluto altíssimos entre os valores de resistência total. O gráfico também está sendo auxiliado pelo erro relativo, o qual apresenta valores da ordem de 100%.

Assim, conclui-se que há algum erro na implementação das equações relacionadas a resistência de onda com bulbo e/ou na resistência de bulbo. Infelizmente devido ao método da caixa preta, não é possível determinar com exatidão a origem do erro.

6.2.4 Resultados do Método de Holtrop (1984) para Cascos com Bulbo

Para o método de Holtrop (1984) também presente na ferramenta computacional Synapse for Ships, são reaproveitados os cascos com bulbo utilizados na análise do método de Holtrop (1988). Assim, novamente é realizada a análise detalhada do navio U.S.S. Bolster, cujos resultados são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 27 – Resistência Total Decomposta para o Casco USS Bolster

Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]
0,020	0	0,2853	0,3824	0,0678	0,3468	1,08	0,8	35,3%
0,107	0,0001	6,3095	33,417	1,9275	7,671	49,33	43,1	14,4%
0,194	0,2932	19,091	93,683	6,3322	23,21	142,61	123,6	15,4%
0,281	6,9089	38,107	143,82	13,282	46,329	248,45	210,5	18,0%
0,368	32,12	63,079	179,41	22,776	76,69	374,08	311,3	20,2%
0,455	118,93	93,818	203,98	34,816	114,06	565,60	476,1	18,8%
0,543	216,15	130,18	221,08	49,4	158,28	775,09	646,4	19,9%
0,630	263,71	172,07	233,23	66,53	209,19	944,73	773,7	22,1%
0,717	294,85	219,37	242,06	86,204	266,7	1109,18	890,3	24,6%
0,804	328,89	272,01	248,63	108,42	330,71	1288,66	1017,1	26,7%

Fonte: Autor (2019).

Os valores mostrados na tabela 27 foram obtidos utilizando o módulo do Synapse for Ships que implementa o método de Holtrop (1984), nota-se que os resultados de resistência de fricção e correlação apresentam valores bem semelhantes aos propostos pelo Maxsurf e que são apresentados na tabela 28. No entanto, o valor de resistência de forma alcança valores até 6 vezes maiores que aqueles apresentados na tabela 28, podendo ser responsável por grande parte do erro observado nas análises.

Tabela 28 – Resistências da Ferramenta Computacional Maxsurf para a Embarcação USS Bolster

Fr	Resistência de Fricção Maxsurf [kN]	Resistência de Forma Maxsurf [kN]	Resistência de Onda Maxsurf [kN]	Resistência de Correlação Maxsurf [kN]
0,20	0,285	0,024	0,420	0,068
0,28	38,107	4,733	154,212	13,282
0,54	130,185	17,604	448,632	49,400
0,80	272,013	38,636	597,944	108,423

Fonte: Autor (2019).

Para analisar com mais precisão a influência das parcelas referente as resistências de onda e de bulbo no erro total, substitui-se a resistência de forma calculada no Synapse pelos valores obtidos no Maxsurf.

Ao recalculer a resistência total observa-se (Tabela 29) uma grande aderência entre os resultados, caracterizando que, no caso do Holtrop (1984), a diferença reside quase que exclusivamente na parcela de forma.

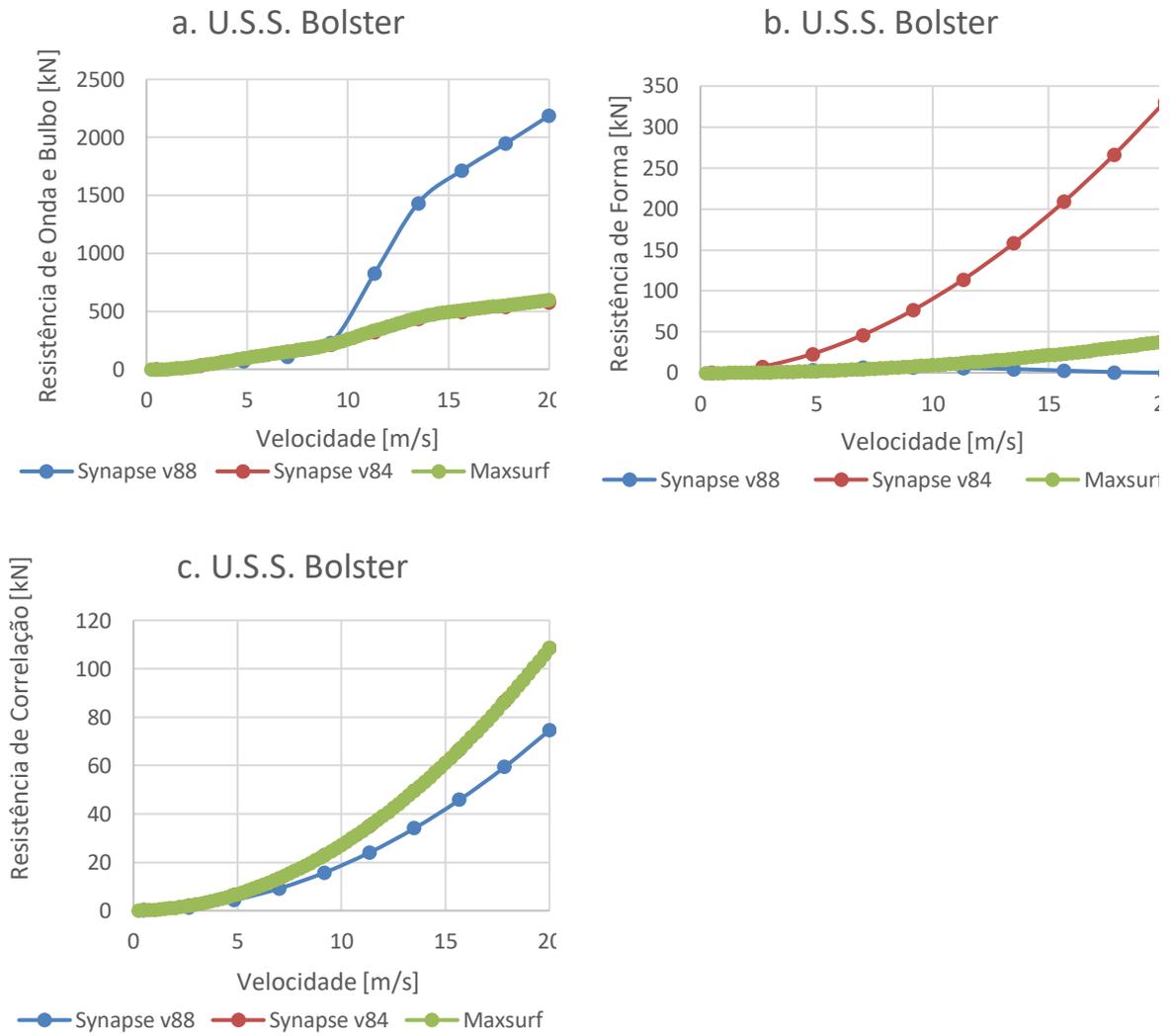
Tabela 29 – Parcelas da Resistência de Onda e Bulbo no Erro

Fr	Resistência Total Synapse [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]
0,020	0,8	0,8	1%
0,281	209,3	210,5	1%
0,543	641,3	646,4	1%
0,804	1009,0	1017,1	1%

Fonte: Autor (2019).

Por fim apresentam-se nos gráficos a seguir (figura 17) a comparação entre as diferentes parcelas da resistência ao avanço calculadas para o navio U.S.S. Bolster.

Figura 17 – Comparação das Resistências Decompostas entre as Ferramentas Computacionais



Fonte: Autor (2019).

6.3 RESULTADOS DO MÉTODO DE SAVITSKY

Utilizando os parâmetros de entrada em pés e lbs, resultou nos dados apresentados a seguir.

Tabela 30 - Comparação entre as Resistência para Savitsky

BG60				Higgins			
V [nós]	Maxsurf [lbf]	Synapse [lbf]	Erro [%]	V [nós]	Maxsurf [lbf]	Synapse [lbf]	Erro [%]
25	5944,32	6832,9	14,95%	25	18891,91	20837	10,30%
50	10425,61	11410	9,44%	50	20931,38	21591	3,15%
75	18734,18	20697	10,48%	75	26727,71	28138	5,28%
100	30675,2	33923	10,59%	100	38337,77	40610	5,93%

Aquarama				Cobra			
V [nós]	Maxsurf [lbf]	Synapse [lbf]	Erro [%]	V [nós]	Maxsurf [lbf]	Synapse [lbf]	Erro [%]
25	828,06	881,78	6,49%	25	455,29	526,06	16%
50	1909,81	2039,7	6,80%	50	1132,53	1352,4	19%
75	3841,08	4036,7	5,09%	75	2314,93	2670,6	15%
100	6497,38	6692,9	3,01%	100	3933,22	4278	9%

Fonte: Autor (2019).

O método de Savitsky é complexo, por apresentar 33 parâmetros e diversos deles desconhecidos pelo testador. Logo uma parcela do erro observado pode estar associada a parâmetros com valores errados no valor de entrada. Outra hipótese é que o método também possui outras versões e o Maxsurf pode estar utilizando uma versão diferente daquela implementada no Synapse for Ships.

Diante de tais resultados, recomenda-se aprofundar os estudos associados a validação desse método.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho é apresentado um procedimento para a validação das implementações realizadas no programa Synapse for Ships para a estimativa de resistência ao avanço de embarcações utilizando-se modelos empíricos (Holtrop, van Oortmerssen e Savitsky) através do estudo de caso de diversas embarcações reais.

Para a validação proposta utilizou-se como parâmetro de controle os resultados calculados no programa Maxsurf, dada a sua confiabilidade e robustez. Tais comparações foram feitas tanto em termos de erros relativos quanto em termos de erros absolutos, utilizando-se sempre o mesmo conjunto de parâmetros de entrada.

Como primeiro resultado obtido destaca-se a definição de um conjunto de aproximadamente uma dúzia de embarcações que tiveram seus cascos modelados tridimensionalmente utilizando-se a ferramenta Maxsurf Modeler. Tais modelos foram utilizados para a definição de informações geométricas do projeto, as quais não são facilmente obtidas na pesquisa bibliográfica, tais como LCB, Cwp, Ie entre outras. Destaca-se ainda que tais modelos poderão ser utilizados na validação de outros módulos do projeto, tais como os módulos referentes ao cálculo do comportamento no mar e à análise de estabilidade da embarcação.

O primeiro módulo a ser comparado é o módulo que implementa o método de van Oortmerssen. Observou-se erros relativos significativamente altos em baixas velocidades (número de Froude inferiores a 0.35). Tais erros devem-se ao pequeno valor absoluto de tais resistências que combinado ao fato do programa Maxsurf utilizar apenas uma casa decimal para exprimir os resultados, levou à erros percentuais elevados, mas que são irrelevantes para qualquer projeto de Engenharia Naval. A partir desses resultados, conclui-se pela validação da implementação do método de van Oortmerssen desenvolvido no programa Synapse for Ships.

Para o módulo da estimativa de resistência de Holtrop, a validação se tornou complicada, pois existem diferentes versões desse método. Uma vez que o manual do Maxsurf não faz menção à Holtrop (1988), acredita-se que tal programa implementa o método originalmente descrito em Holtrop (1984). Já o programa Synapse for Ships possui 2 versões do método, aquela proposta em 84 e uma segunda versão, na qual algumas das correções propostas por Holtrop (1988) são implementadas. Segundo o manual do Synapse, a versão de

88 implementa todas as modificações propostas, exceto a nova formulação proposta para a estimativa da parcela referente a resistência de ondas da embarcação.

É razoável supor que essa implementação parcial/mista do método pode levar à maiores erros na estimativa da resistência ao avanço, visto que pode afetar toda a interpolação originalmente proposta pelo autor. No entanto, tal abordagem é claramente usada e documentada em ShipLab² e restará no programa até que se busque uma melhor compreensão da modelagem da parcela de ondas proposta em Holtrop (1988).

Observou-se que a implementação do Synapse v1988 utiliza uma correção no coeficiente de forma, a qual resulta em parcelas de resistências mais baixas para Froudes altos, ocasionando divergência de resultado em relação ao Maxsurf. Além disso, há erros causados pela resistência de correlação, que junto a resistência de forma, é responsável pelos erros provindos nos casos de número de Froude menores que 0.35, enquanto para Froude maiores que 0.4, a parcela de erro provinda da resistência de onda é considerável.

No entanto, para cascos nus (sem apêndices, popa transom ou bulbo), os resultados obtidos apresentaram um erro relativo sempre abaixo dos 10%, o que em um primeiro momento, indica uma boa aproximação e confere algum grau de validade à implementação do Synapse.

A seguir, as mesmas embarcações são também analisadas considerando-se os parâmetros de apêndice, proa bulbosa e popa transom.

Nas embarcações com apêndices, os resultados da comparação foram similares aos previamente obtidos, ou seja, as parcelas dos erros estão diretamente relacionadas a velocidade. Já os erros obtidos na análise dos cascos com popa transom resultaram quase que exclusivamente das parcelas de resistência de forma e de correlação, devido à baixa influência da resistência de onda em velocidades altas. Por fim, nas embarcações dotadas de bulbo, obteve-se elevados erros relativos, causados especialmente pelas parcelas da resistência de onda e de bulbo.

Diante de tais resultados, mesmo considerando as incertezas sobre as diferentes versões do método e mesmo sobre a precisão dos parâmetros utilizados pelo Maxsurf, recomenda-se uma revisão do equacionamento proposto para a estimativa da resistência de ondas e de bulbo presente no Synapse v1988.

Para a versão Synapse v1984, as embarcações com bulbo apresentaram erros relativos altos, causada por algum erro de equacionamento, o que resultou em valores de resistência de

² Programa disponibilizado no site [<http://shiplab.hials.org/app/holtrop/>], no qual foi desenvolvido por Jefferson Flor, Thiago Gabriel Monteiro e Henrique M. Gaspar.

até 6 vezes maiores que o valor esperado. No entanto, a versão do Synapse v1984 se mostrou uma boa alternativa para a resistência de onda, bulbo e correlação presentes no Synapse v1988 em decorrência do seu baixo erro relativo.

Para o método Sativsky, como descrito previamente, uma parcela do erro pode estar associada a valores de entrada errados, logo terá que ser realizada uma segunda validação acerca desse método, por possuir muitas incertezas envolvidas.

No trabalho conclui-se que o programa Maxsurf na atual versão dificultou o processo de validação visto que utiliza apenas uma casa decimal para expressar alguns parâmetros e possui uma maior dificuldade em apresentar as resistências decompostas, bem como alguns dos importantes parâmetros intermediários utilizados pelos diferentes métodos avaliados.

Assim, concluiu-se que o objetivo geral de validar os 3 módulos propostos foi parcialmente alcançado, mas importantes contribuições e avanços foram obtidos e que permitiram avanços no projeto, além de motivarem mais pesquisas e novos desenvolvimentos. Como exemplo de tal avanço destaca-se a identificação do trabalho de Holtrop (1988) não citado, por exemplo, por Nishida (2018).

O protocolo de testes independentes dos desenvolvedores originais dos módulos se mostrou importante, pois permitiu identificar dificuldades de modelagem, erros e vícios que eventualmente passaram despercebidos dos desenvolvedores originais.

É evidente que não se cogita má fé dos programadores originais, mas sim a existência de erros e vícios inerentes a qualquer processo de desenvolvimento, que eventualmente só se notará na análise de casos ou procedimento de modelagem muito específicos.

Destaca-se que esse é um trabalho em progresso e os resultados aqui apresentados representam mais um passo no desenvolvimento de um sistema integrado de projeto robusto e eficiente com tecnologia genuinamente brasileira e que pode auxiliar pesquisadores e projetistas no desenvolvimento da engenharia naval. Nesse contexto recomenda-se ampliar o protocolo de testes aqui apresentado, bem como prosseguir no desenvolvimento de novos módulos e/ou na validação de outros módulos já implementados e que ainda aguardam um procedimento independente de validação.

REFERÊNCIAS

BERTRAM, Volker. **Practical Ship Hydrodynamics**. 2. ed. Elsevier, 2012.

CAPTAIN. Alai. **Free Ship Plans**. 2013. Disponível em: <<http://freeshiplans.com/free-model-ship-plans/harbour-tugs-of-bilbao-alai-zabal-ur-aitor-uno/>> . Acesso em: 3 out. 2019.

CAPTAIN. S/S Auslaug. **Free Ship Plans**. 2014. Disponível em: <<http://freeshiplans.com/free-model-ship-plans/cargo-ship-plans/ss-aslaug-ss-martha/>> . Acesso em: 3 out. 2019.

CAPTAIN. Gatika. **Free Ship Plans**. 2013. Disponível em: <<http://freeshiplans.com/free-model-ship-plans/gatika/>> . Acesso em: 3 out. 2019.

CAPTAIN. Odys. **Free Ship Plans**. 2013. Disponível em: <<http://freeshiplans.com/free-model-ship-plans/odys-arion/>> . Acesso em: 3 out. 2019.

CAPTAIN. Kovdor. **Free Ship Plans**. 2013. Disponível em: <<http://freeshiplans.com/free-model-ship-plans/soviet-icebreaker-harbour-tug/>> . Acesso em: 3 out. 2019.

CHAUHAN, Naresh. **Software Testing: Principles and Practices**. Oxford University Press, 2010.

CHOPRA, Rajiv. **Software Testing: A Self-Teaching Introduction**. Dulles: Mercury Learning and Information, 2014.

CLASSIC WOODEN BOAT PLANS. **Chris Craft Cobra**. Disponível em: <<https://www.classicwoodenboatplans.com/shop/chris-craft-cobra-18>> . Acesso em: 3 out. 2019.

CRACCHIOLO, M. **Riva Aquarama**. Disponível em: <<https://www.behance.net/gallery/6609819/Riva-Aquarama>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

HISTORIC AMERICAN ENGINEERING RECORD: **Saugatuck, James River Reserve Fleet, Newport News, Independent City, VA**. Disponível em: <<https://www.loc.gov/pictures/item/va1982.sheet.00006a/resource/>> Acesso em: 15 out. 2019.

HISTORIC AMERICAN ENGINEERING RECORD: **Bolster (ARS-38)**. Desenhado por Ashley T. Walker. Disponível em: <<https://www.loc.gov/pictures/collection/hh/item/ca3480.sheet.00009a/>>. Acesso em: 15 out. 2019.

HISTORIC AMERICAN ENGINEERING RECORD: **Steam Tug HERCULES, Hyde Street Pier, San Francisco, San Francisco County, CA**. Desenhado por Lockett (1997). Disponível em: <<https://www.loc.gov/pictures/item/ca1507.sheet.00005a/resource/>> Acesso em: 15 out. 2019.

HOLTROP, J. **A statistical analysis of performance teste results**. 1977.

HOLTROP, J.; MENNEN, G. G. **A statistical power prediction method**. 1978

HOLTROP, J.; MENNEN, G. G. **An approximate power prediction method**. 1982.

HOLTROP, Jan. **A statistical re-analysis of resistance and propulsion data**. *International Shipbuilding Progress*, v. 31, n. 363, p. 272-276, 1984.

HOLTROP, Jan. **A statistical resistance prediction method with a speed dependent form factor**. 1988.

IEEE Standard for System, "Software, and Hardware Verification and Validation" in *IEEE Std 1012-2016 (Revision of IEEE Std 1012-2012/ Incorporates IEEE Std 1012-2016/Cor1-2017)*, vol., no., pp.1-260, 29 Sept. 2017

IERVOLINO, Lucas Arrigoni. **Estudo de resistência ao avanço de uma embarcação de planeio de 26 pés**: Abordagem computacional baseada em CFD. 2015. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

LA MARCOPLIE NAVALE. **Transport Pétrolier Le Mékong**. 2018. Disponível em: <<http://envelopmer.blogspot.com/2018/11/transport-petrolier-le-mekong-alger.html/>> . Acesso em: 10 nov. 2019.

MARIN, Guilherme. **Estudo Paramétrico De Resistência Ao Avanço De Uma Embarcação De Planeio**: Análise Método De Savitsky. 2015. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/171772/TCC%20GUILHERME%20MARIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

MARINE TRAFFIC. **Kovdor**. Foto por Andrey Pogodin. Disponível em:

<<https://www.marinetraffic.com/en/photos/of/ships/shipid:896704/#forward>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

MARINE TRAFFIC. **Alai**. Foto por Gaspar Luís Prieto Garcia (2017). Disponível em:

<<https://www.marinetraffic.com/en/photos/of/ships/shipid:896704/#forward>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

MARINE TRAFFIC. **Odys**. Foto por J. Dohrn (2010). Disponível em: <

<https://www.marinetraffic.com/en/photos/picture/ships/232131/7937965/shipid:5913988/imo:7937965/mmsi:261000580/vessel:ODYS>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

MAXSURF MODELER ® User Manual. Bentley Systems, 2012.

MAXSURF RESISTANCE ® User Manual. Bentley Systems, 2013.

MEMORIESHOP. USS Bolster ARS-38. Foto por PH2 Dagenhart (1974). Disponível em:

<<http://navy.memorieshop.com/Bolster/index.html>> Acesso em: 15 out. 2019.

MOLLAND, A. F.; TURNOCK, S.R.; HUDSON, D. A. **Ship resistance and propulsion**.

Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

NATIONAL PARK SERVICE: Hercules. 2017. Disponível em:

<<https://www.nps.gov/safr/learn/historyculture/hercules.htm>> . Acesso em: 10 nov. 2019.

NAVSOURCE. **Motor Torpedo Boat Photo ArchivePT-564**. Disponível em:

<<http://www.navsource.org/archives/12/120556401.jpg>>. Acesso em: 10 nov. 2019

NISHIDA, Eduardo Heiji. **Desenvolvimento De Uma Ferramenta Computacional Para Auxílio Na Estimativa Da Resistência Ao Avanço E Seleção Do Sistema Propulsivo De Embarcações Deslocantes DESLOCANTES**. 2018. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de

Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/187999/TCC_EDUARDO_NISHIDA_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 nov. 2019.

OORTMERSSSEN, G. van. **A power prediction method and its application to small ships**. Int. Shipbuilding Progress, 1971.

PLANSBATEAUX. Plans Blue Game 60. Disponível em: <
<https://www.plansbateaux.net/plans-en-ligne-on-line-plans/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

POWERYACHT MAG. **New Model: Blue Game 60**. Disponível em:
 <<http://www.poweryachtblog.com/2009/09/new-model-blue-game-60.html>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

PURSUITIST. **The Ferrari of the Waters: The Riva Aquarama Special**. Disponível em: <
<https://pursuitist.com/the-ferrari-of-the-waters-the-riva-aquarama-special/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

ROCHA, Samantha Borgmann da. **Verificação De Modelos Empíricos Para Estimativa De Coeficientes De Forma De Embarcações**. 2018. 115 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

SAVITSKY, D. **Hydrodynamic Design of Planing Hulls**. Marine Technology, 1964

SAWANT, Abhijit A.; BARI, Pranit H.; CHAWAN, P. M. Software Testing Techniques and Strategies. **International Journal Of Engineering Research And Applications**, Mumbai, v. 2, n. 3, p.980-986, maio 2012.

SHIPLAB. **Holtrop calculation**. Disponível em: < <http://shiplab.hials.org/app/holtrop/>>. Acesso em 5 nov. 2019.

SHIPSPOTTING. **Hellas Liberty**. Foto por det (2019). Disponível em: <
<http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=3049149>> . Acesso em: 10 nov. 2019.

TANCREDI, Thiago Pontin. Otimização multidisciplinar distribuída aplicada a projetos de engenharia. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/T.3.2009.tde-20082009-114336.

THE ANTIQUE & CLASSIC BOAT SOCIETY. **Cobra 21'**. Disponível em: <
<https://acbs.org/tuesday-tour-vintage-boats-10-10-17/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

THEMODELSHIPWRIGHT. **1928 French cargo ship Mekong**. Disponível em:
<<http://www.themodelshipwright.com/high-resolution-ship-plans/cargo-ships/cargo-ship-mekong/>> Acesso em: 15 out. 2019.

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

TUPPER, E. C. **Introduction to Naval Architecture**. 5. ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2013.

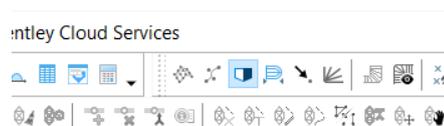
WATSON, David GM. **Practical ship design**. Gulf Professional Publishing, 2002.

WOODENBOAT. Elco. Foto por johnw. Disponível em:
<<http://forum.woodenboat.com/showthread.php?253431-Elco>>. Acesso em: 10 nov. 2019

APÊNDICE A - Modelar cascos com planos de linhas existentes no Maxsurf

- 1) Em um arquivo como o Excel, organizar os valores dos espaçamentos das seções (stations), linhas de alto (buttocks) e linhas d'água (waterlines).
- 2) Para importar a imagem do plano de linhas, terá que fazer os seguintes passos:
 - a. Na aba "File", procurar por "Import" onde irá selecionar "Image Background".
 - b. Procurar e selecionar a imagem necessária para as três perspectivas.
- 3) Com os planos de linhas postos, o próximo passo é deixar essa imagem em escala.
 - a. Na aba "Display", ir para Background onde irá clicar em "Set Image Zero Point".
 - b. No "plano do perfil" o ponto zero normalmente está localizado no início do comprimento entre as perpendiculares. No plano de baliza, o ponto zero é costumeiramente posicionado na intersecção da linha d'água 0 e a linha central, enquanto para a perspectiva do plano de linha d'água, o ponto zero fica na intersecção da seção 0 com a linha central.
 - c. É normal toda vez que colocar o "Zero Point" ou o "Reference Point", a imagem sumir, mas ao usar o atalho Ctrl+Shift+E ou aba "View" e clicar em "Zoom Extents", a imagem voltará ao normal.
 - d. O ponto de referência será um ponto onde se sabe a dimensão em relação ao ponto zero em cada perspectiva.
 - e. Caso a dimensão do desenho esteja diferente de metros, é possível mudar as unidades na aba "Data" e em "Units", no qual possibilita selecionar a unidade desejada.
- 4) Com as imagens em escala, o próximo passo é colocar os valores dos espaçamentos das seções, linhas de alto e linhas d'água.
 - a. Na aba "Data", clicar em "Design Grid", com isso adicionar a quantidade de "buttocks", "stations" e "waterlines" que se encontra no plano de linhas. É possível copiar e colar as informações previamente obtidas no Excel.
 - b. Em "sections", haverá uma caixa de seleção escrita "Split". O Split ocorre no meio da embarcação, quando no plano de baliza as seções deixam de existir de um lado e passam a começar no lado oposto.
- 5) Antes de começar a usar o "Marker", é de suma importância clicar no botão "Half". A imagem a seguir mostra o botão "Half" selecionado.

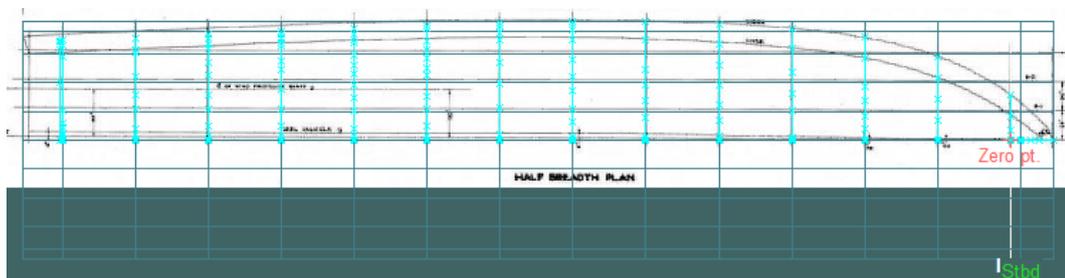
Figura 18 - Botão "Half"



Fonte: Autor (2019).

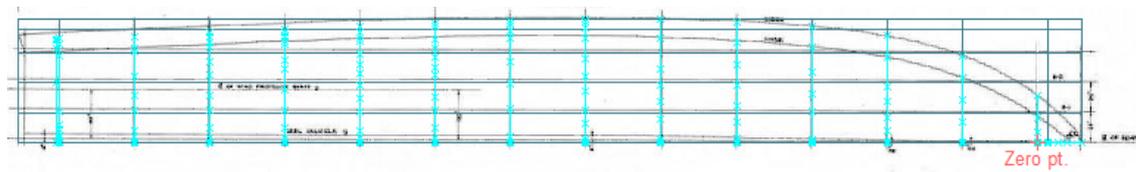
Uma outra forma de confirmar visualmente que o “Half” está selecionado é olhar a perspectiva do “Plan” onde se encontra o plano de linha d’água (Half-Breadth Plan). Nessa perspectiva, caso a grade das seções e dos Buttocks não estejam apenas pela metade, isso quer dizer o “Half” não está selecionado.

Figura 19- “Half” não selecionado



Fonte: Autor (2019).

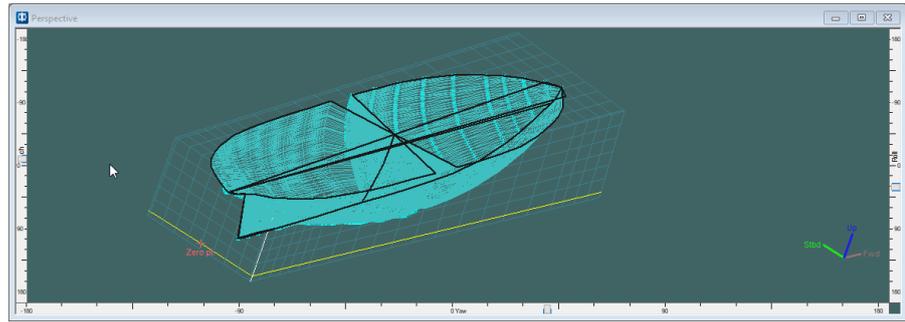
Figura 20 - “Half” Selecionado



Fonte: Autor (2019).

Caso não selecione o botão, na seção do meio da embarcação um X será formado ao fazer o Trimesh, impossibilitando fazer os cálculos hidrodinâmicos e de resistência. Isso fará com que metade da seção tenha que ser deletada para habilitar o botão de forma correta, reiniciando a modelagem pela metade.

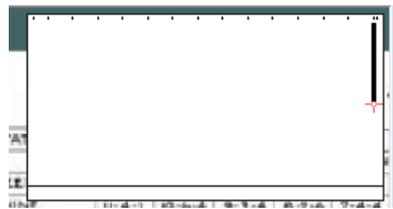
Figura 21 - Erro causado pelo “Half”



Fonte: Autor (2019).

- 6) Após selecionar o botão “Half”, será necessário entender o sistema de seções pelo plano de baliza. Ao clicar no “Body Plan” um quadrado no canto direito aparecerá. Onde cada linha curta é referente a uma seção, logo será necessária clicar em cada linha pequena para passar para um próximo seção ao fazer a modelagem. Lembrando que é necessário ter seções específicos para fazer a popa e a proa.

Figura 22 - Stations no BodyPlan



Fonte: Autor (2019).

- 7) Nessa etapa da modelagem, serão postos “Markers” no plano de baliza a fim de criar as linhas de cada seção. Os markers são obtidos através da aba “Marker”, pelo atalho Ctrl+M ou até pela barra de ferramentas. Ao selecionar a seção correta na caixa conforme mostra a figura acima, será posto marcadores formando o desenho. Uma forma rápida de se obter um marcador após ter selecionado pela primeira vez na “Station” é apertar a tecla “Enter”. Outra dica importante é usar os botões “Connect Markers”, “Show All Markers” e “Show Markers for Current Station”. Os botões encontram-se na aba “Display” e na opção Markers ou na barra de ferramentas. O botão “Connect Markers” faz com que o programa mostre os marcadores conectados, fazendo com que fique mais fácil de ter a curva desejada para a seção. Às vezes os planos de linhas podem ficar caóticos com muitas linhas e pontos, uma forma de minimizar esse caos é usar o botão “Show Markers For Current Station”, no qual mostrará as linhas e marcadores da Station selecionada.

Figura 23 - Display



Fonte: Autor (2019).

Outra dica é que os pontos que ficam na linha central não estão posicionados de forma correta, logo a melhor forma de posicionar esses marcadores é selecionar esses pontos (Ctrl + Click do Mouse Esquerdo), que resultará em uma caixa de diálogo aparecendo no canto esquerdo inferior do programa. Na caixa de “Offset”, digitar o valor 0, resultará nos marcadores ficarem na em cima da linha central.

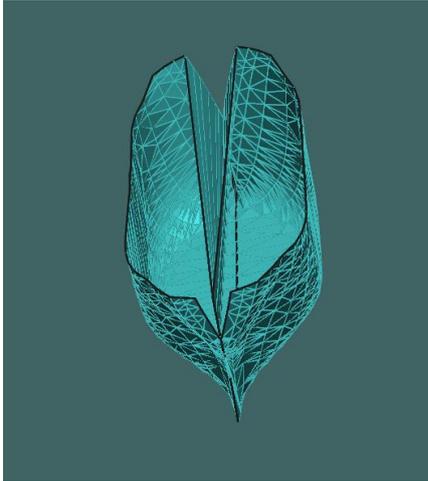
Figura 24 - Caixa de Propriedades

<input type="checkbox"/> Marker	
Name	
Station Inde	
<input type="checkbox"/> Position	
Long. Pos. ft	
Offset ft	0,000
Height ft	
<input type="checkbox"/> Linked To	
Surface	
Kind	Internal
Error ft	--
Acceptable	--

Fonte: Autor (2019)

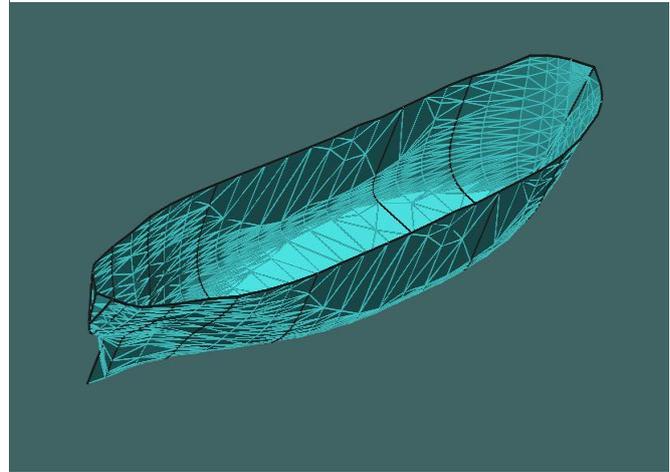
- 8) Alguns detalhes que mostram no plano de perfil nem sempre é possível obtê-los apenas com as seções do plano de baliza, como a popa e proa. Para esses casos será necessário utilizar os marcadores no próprio plano de perfil, tomando sempre cuidado com os seguintes quesitos: não invadir uma “seção” vizinha com marcadores, cuidado com os valores de “Offset” e verificar se o “Station Index” está correto, no qual é uma forma manual de designar um marcador a uma seção específica.

Figura 27 - Único Trimesh



Fonte: Autor (2019)

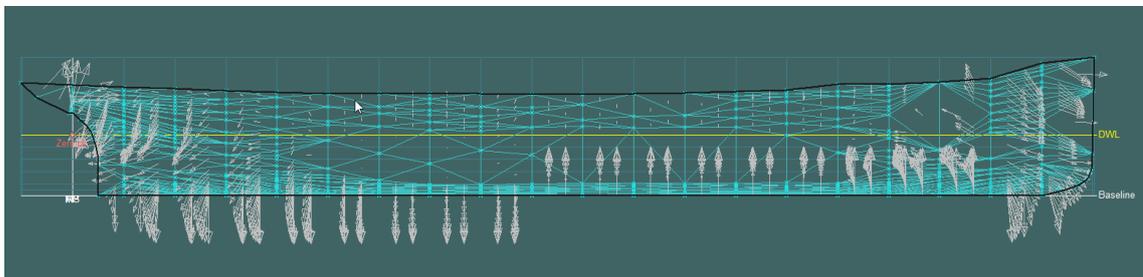
Figura 26 – Trimeshs em Etapas



Fonte: Autor (2019)

- 11) Com os TriMeshs feitos, a próxima etapa é definir o comprimento entre as perpendiculares de forma manual. Isso é realizado através da opção “Frame of Reference and Zero Point”, onde será colocado a posição da perpendicular a ré e a perpendicular avante dentro do “Longitudinal Datum”.
- 12) Caso tenha interesse em testar o casco em testes hidrodinâmicos, é interessante verificar a opção “Outside Arrows” na aba “Display”. Ao selecionar a opção, aparecerá setas saindo dos TriMeshs, caso apareça setas para o interior do casco, é possível inverter essas setas para fora do casco com o botão “Invert Direction” dentro da aba “Trimesh”.

Figura 28 - Outside Arrows



Fonte: Autor (2019).

- 13) Com o TriMesh pronto, a última etapa é juntar todos os TriMeshs pelo botão “Join Trimeshs”. No atual Maxsurf Modeler, existe um bug onde ao juntar os TriMeshs, metade do casco some. Isso é corrigível ao escolher o botão “Surfaces”, onde será selecionado a caixa em branco embaixo de “Symmetry”.

Figura 29 - Botão Surface Selecionado



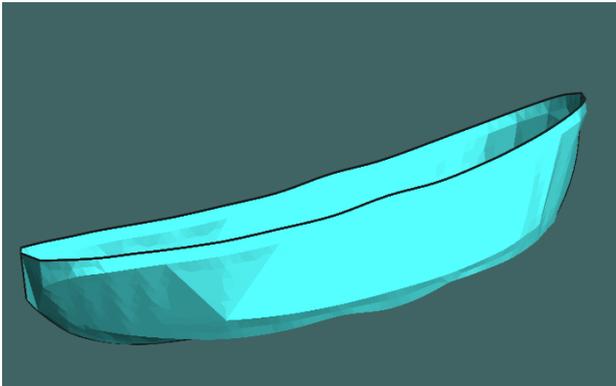
Fonte: Autor (2019).

APÊNDICE B - Cascos Deslocantes de Pequenas Embarcações

Para o método de van Oortmerssen, foram selecionadas e modeladas as seguintes embarcações do tipo rebocadores, onde os planos de linhas de todas as respectivas embarcações são vistos com mais detalhes no anexo B.

- a. Gatika
- b. Hercules
- c. Kovdor
- d. Alai
- e. Odys

Figura 31 – Gatika Modelado



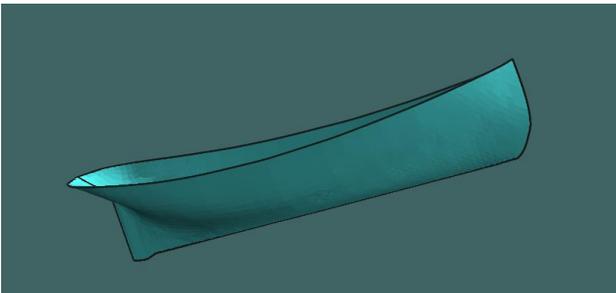
Fonte: Autor (2019).

Figura 30 - Gatika



Fonte: Pedro Pichel (2011).

Figura 33 – Hercules Modelado



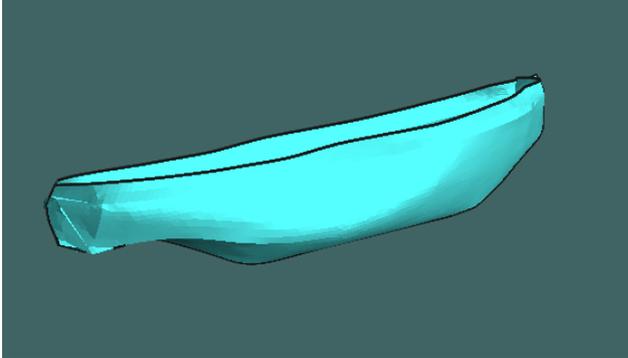
Fonte: Autor (2019).

Figura 32 - Hercules



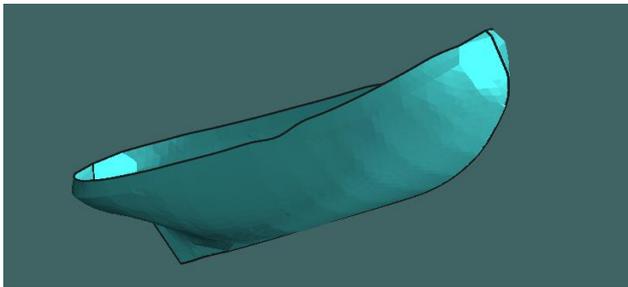
Fonte: NPS (2017)

Figura 35 – Kovdor Modelado



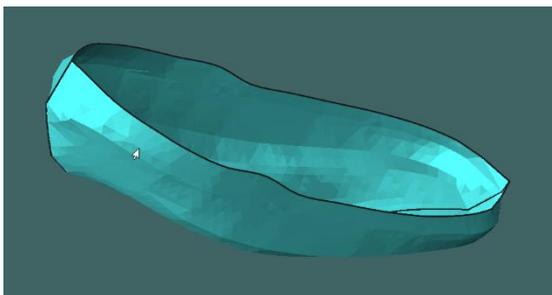
Fonte: Autor (2019).

Figura 37 – Alai Modelado



Fonte: Autor (2019).

Figura 39 – Odys Modelado



Fonte: Autor (2019).

Figura 34 - Kovdor



Fonte: Andrey Pogodin (2016).

Figura 36 - Alai



Fonte: Gaspar L. P. Garcia (2017).

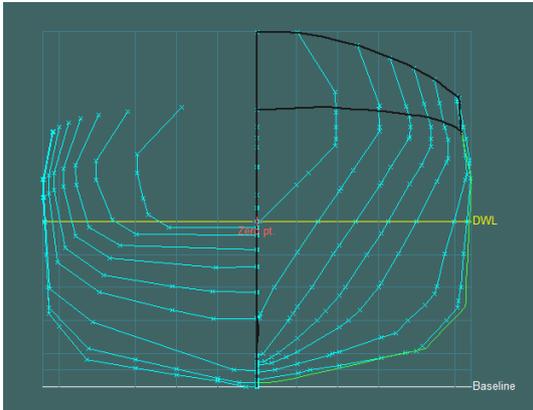
Figura 38- Odys



Fonte: J. Dohrn (2010).

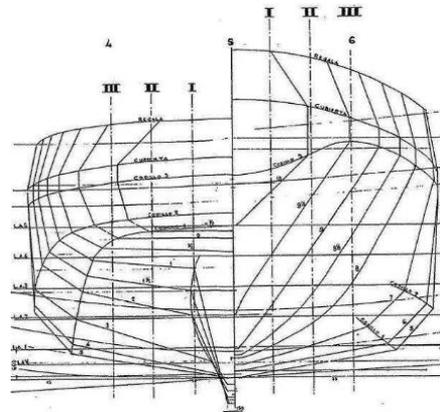
As figuras a seguir mostra o plano de baliza original com o realizado através da modelagem dos cascos.

Figura 41 – Plano de Baliza do Alai Modelado



Autor (2019).

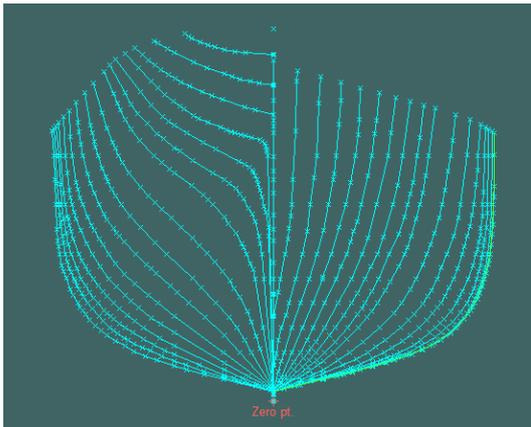
Figura 40 - Plano de Baliza Alai Original



Fonte:

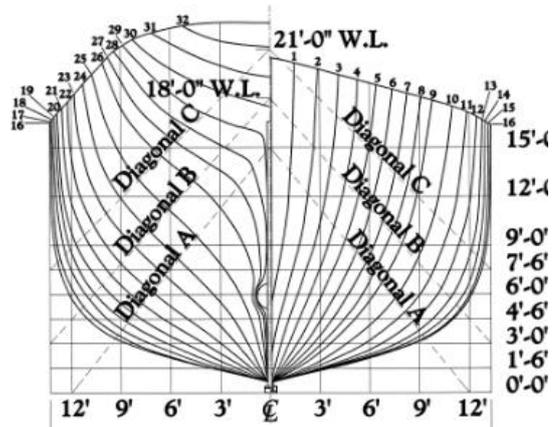
Fonte: CAPTAIN (2013).

Figura 43 - Plano de Baliza Hercules Modelado



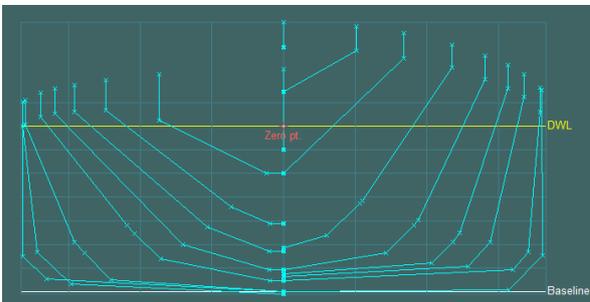
Fonte: Autor (2019).

Figura 42 - Plano de Baliza Hercules Original



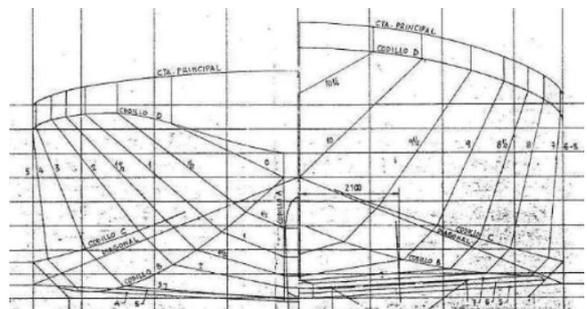
Fonte: Lockett (1997).

Figura 45 - Plano de Baliza Gatika Modelado



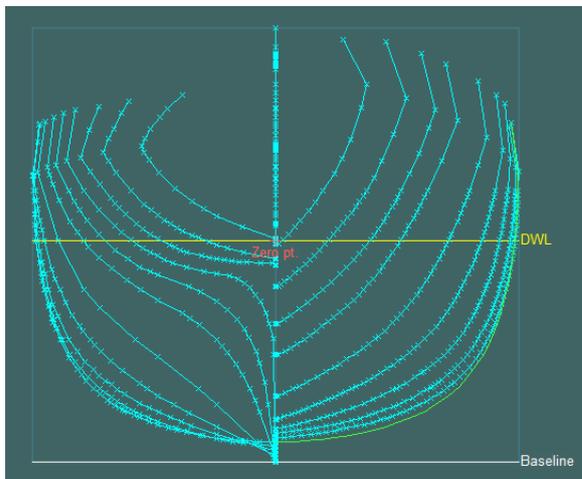
Fonte: Autor (2019).

Figura 44 - Plano de Baliza Gatika Original



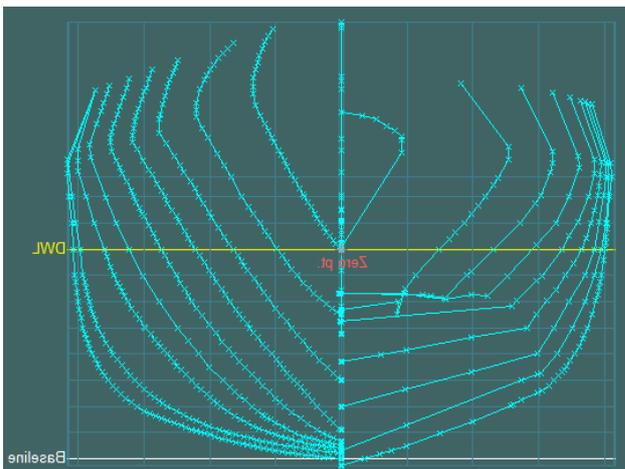
Fonte: CAPTAIN (2013).

Figura 46 - Plano de Baliza Odys Modelado



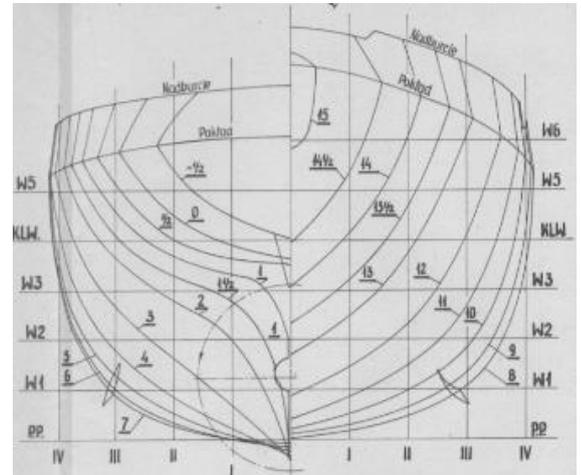
Fonte: Autor (2019).

Figura 49 – Plano de Baliza Kovdor Modelado



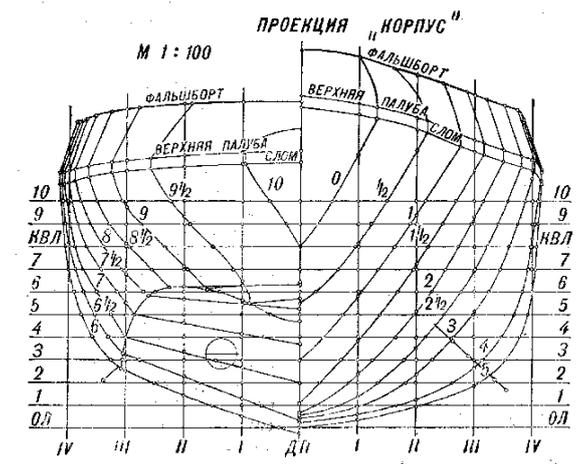
Fonte: Autor (2019).

Figura 47 - Plano de Baliza Odys Original



Fonte: CAPTAIN (2013).

Figura 48 - Plano de Baliza Kovdor Original



Fonte: CAPTAIN (2013).

Os cascos de navios deslocantes utilizados para o método de Holtrop passaram pelos mesmos processos utilizados pelos cascos de embarcações pequenas. Logo, para o método de Holtrop foram selecionadas e modeladas as seguintes embarcações:

- U.S.S. Bolster
- Le Mekong
- Auslag
- Saugatuck
- Arthur M. Huddel

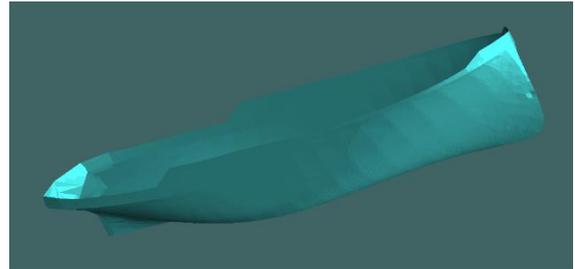
As figuras a seguir comparam os respectivos cascos modelados, com as fotos dos navios.

Figura 51 - U.S.S. Bolster



Fonte: PH2 Dagenhart (1974)

Figura 50 - U.S.S. Bolster Casco Modelado



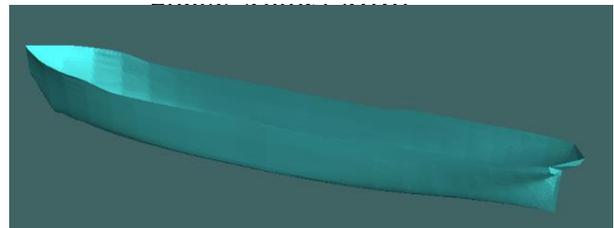
Fonte: Autor (2019).

Figura 53 - Le Mekong



Fonte: Marius Bar (1946)

Figura 52 - Le Mekong Modelado



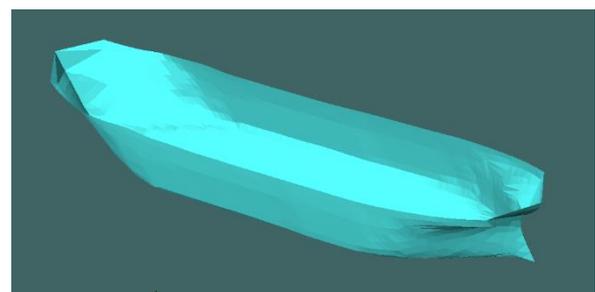
Fonte: Autor (2019).

Figura 55 - S/S Auslag



Fonte: CAPTAIN (2014)

Figura 54 - S/S Auslag Modelado



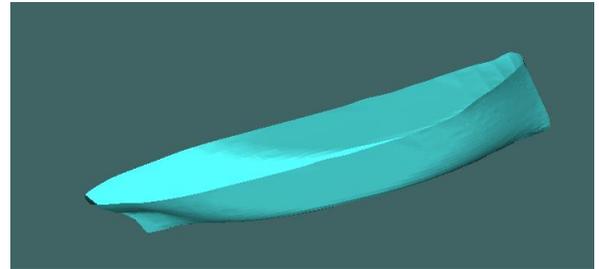
Fonte: Autor (2019).

Figura 57 - USS Saugatuck



Fonte: Darry Baker (1943).

Figura 56 - Saugatuck Modelado



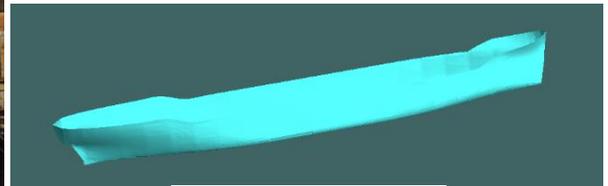
Fonte: Autor (2019).

Figura 59 – Arthur M. Huddel



Fonte: det (2019).

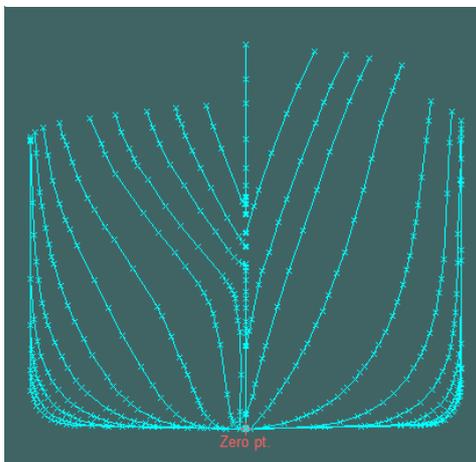
Figura 58 - Arthur M. Huddel Modelado



Fonte: Autor (2019).

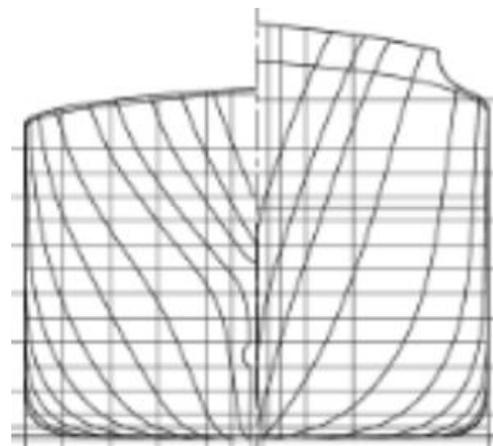
Também são comparadas o plano de baliza original com o realizado através da modelagem dos cascos.

Figura 60- Plano de Baliza Arthur M. Huddel Modelado



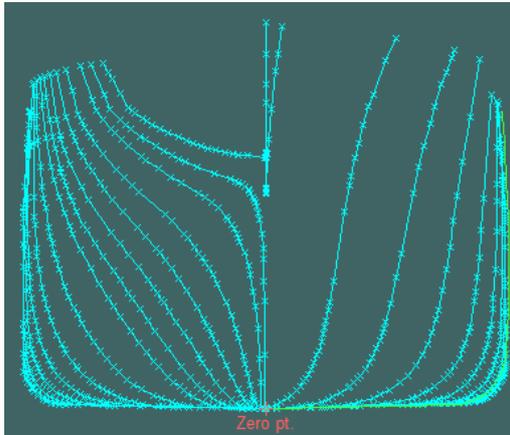
Fonte: Autor (2019).

Figura 61 - Plano de Baliza Arthur M. Huddel Original



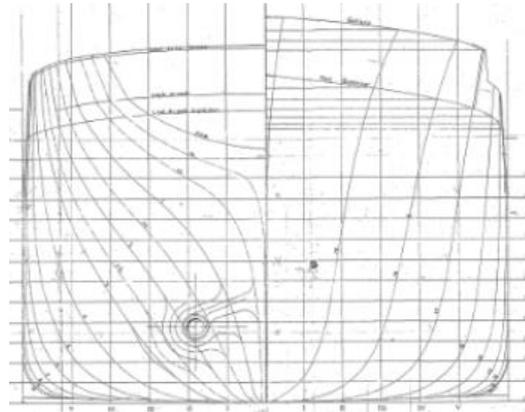
Fonte: HAER

Figura 63 - Plano de Baliza Le Mekong
Modelado



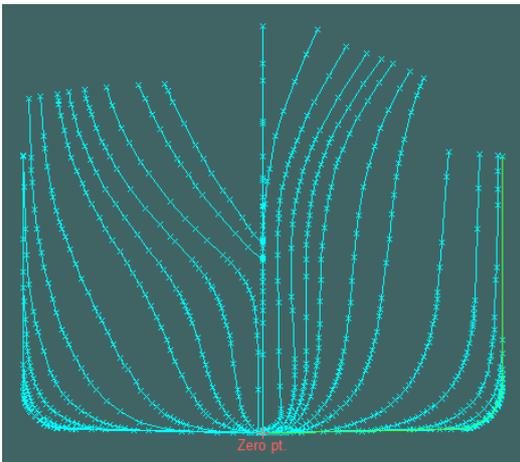
Fonte: Autor (2019).

Figura 62 - Plano de Baliza Le Mekong
Original



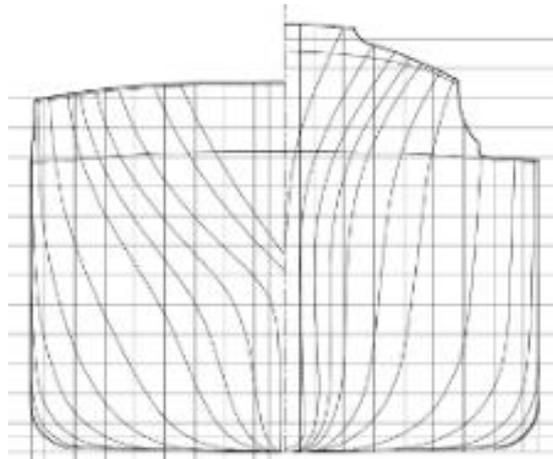
Fonte: The Model Shipwright (2017).

Figura 65 - Plano de Baliza Saugatuck
Modelado



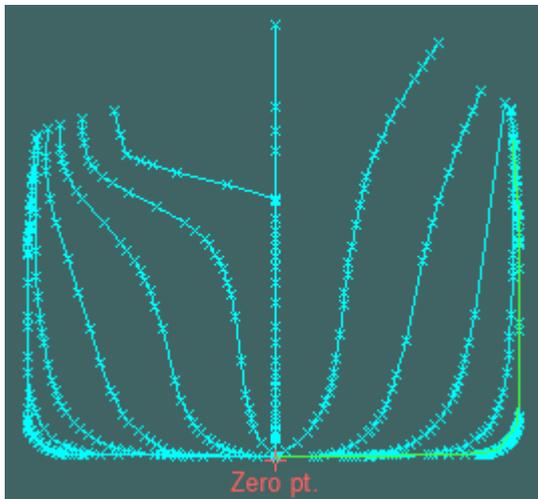
Fonte: Autor (2019).

Figura 64 - Plano de Baliza Saugatuck
Original



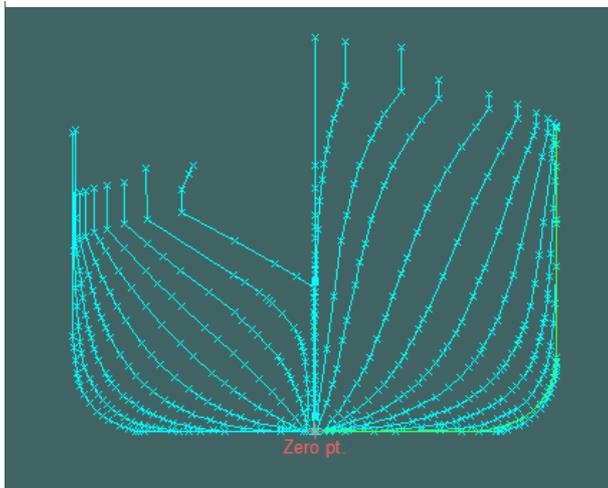
Fonte: HAER.

Figura 67 - Plano de Baliza SS Auslag
Modelado



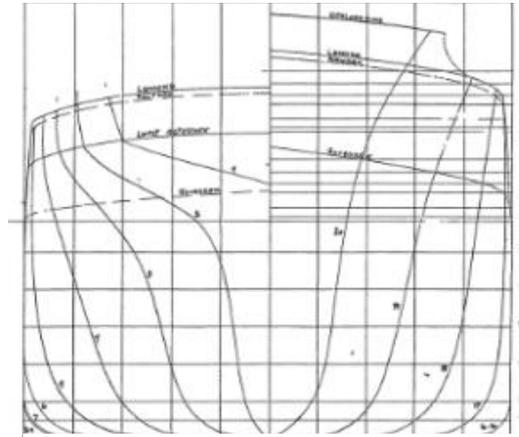
Fonte: Autor (2019).

Figura 69 - Plano de Baliza U.S.S. Bolster
Modelado



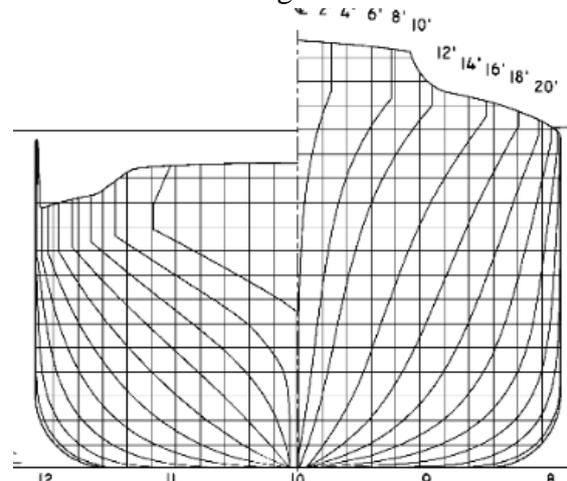
Fonte: Autor (2019).

Figura 66 - Plano de Baliza SS Auslag
Original



Fonte: CAPTAIN (2014)

Figura 68 - Plano de Baliza U.S.S. Bolster
Original



Fonte: HAER.

O conjunto de embarcações selecionadas para servir como dados de entrada para o método de estimativa de resistência para embarcações de planeio são apresentados a seguir.

- a. Cobra
- b. BG 60
- c. Higgins PT 70'
- d. Aquarama

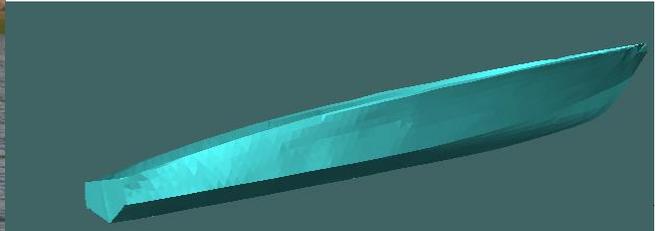
As figuras abaixo comparam os cascos de planeio com as suas embarcações reais. A exceção fica para o casco da empresa Higgins, no qual não possui imagem, logo foi representado por um casco semelhante da mesma empresa.

Figura 70 - Cobra



Fonte: Joe Fleming (2017)

Figura 71 – Cobra Modelado



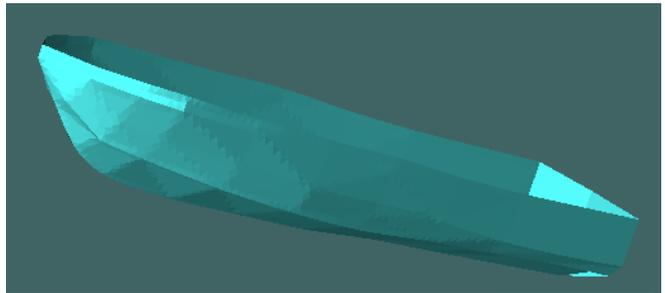
Fonte: Autor (2019).

Figura 72 - BG 60



Fonte: PowerYacht (2009)

Figura 73 – BG 60 Modelado



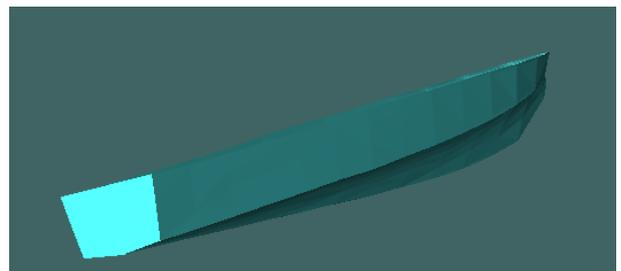
Fonte: Autor (2019).

Figura 75 - Higgins Hellcat



Fonte: NavSource

Figura 74 – Higgins Modelado



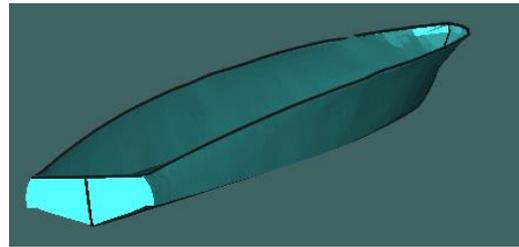
Fonte: Autor (2019).

Figura 76 - Aquarama



Fonte: Pursuitist

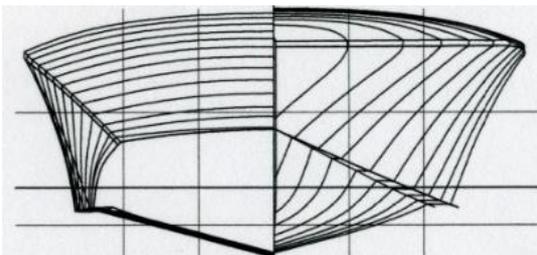
Figura 77 – Aquarama Modelado



Fonte: Autor (2019).

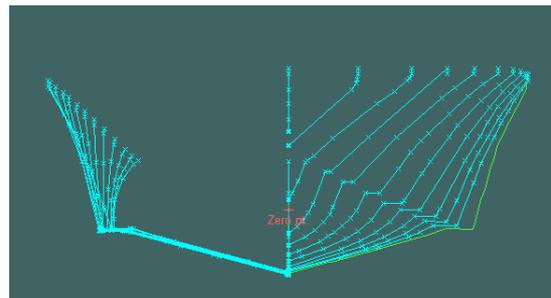
As figuras a seguir relacionam os planos de balizas entre o modelo e a o plano original. Alguns cascos apresentam no seu plano de baliza, o casco fechado ou parcialmente, o que resultou em falhas na aplicação do TriMesh, logo, optou-se por manter essa região em aberto.

Figura 78 – Cobra Plano de Baliza Original



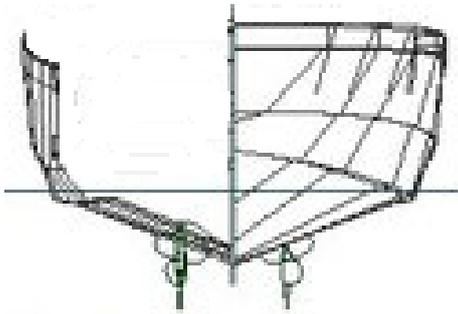
Fonte: Classic Wooden Boat

Figura 79 – Cobra Plano de Baliza



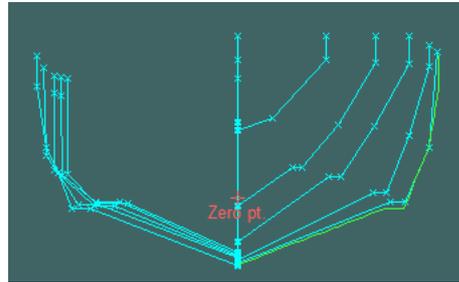
Fonte: Autor (2019).

Figura 80 - BG60 Plano de Baliza Original



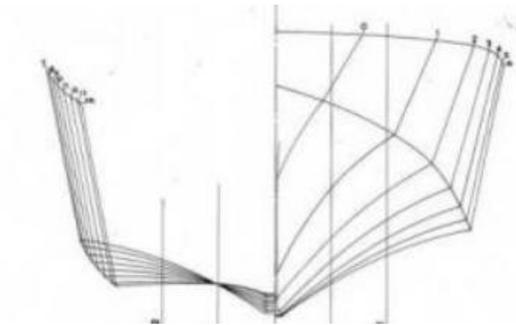
Fonte: PLANSBATEAUX

Figura 81 - BG60 Plano de Baliza Modelado



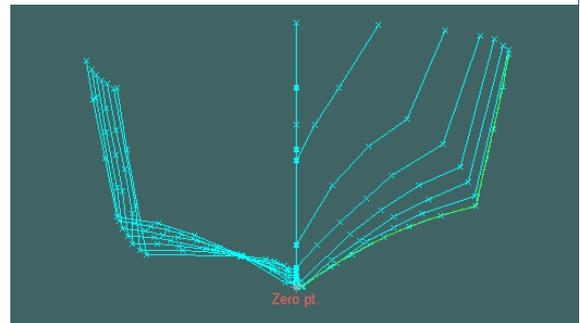
Fonte: Autor (2019).

Figura 84 - Higgins Plano de Baliza Original



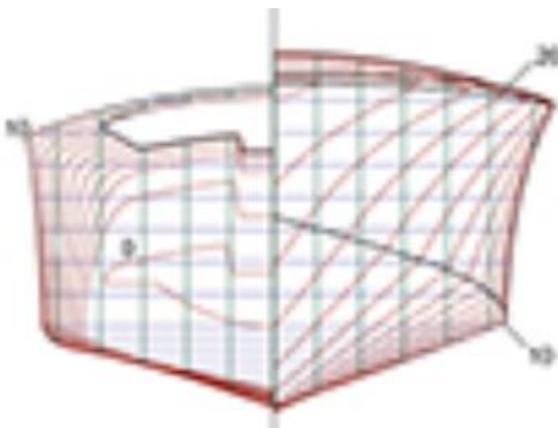
Fonte: Johnw (2019).

Figura 83 - Higgins Plano de Baliza Modelado



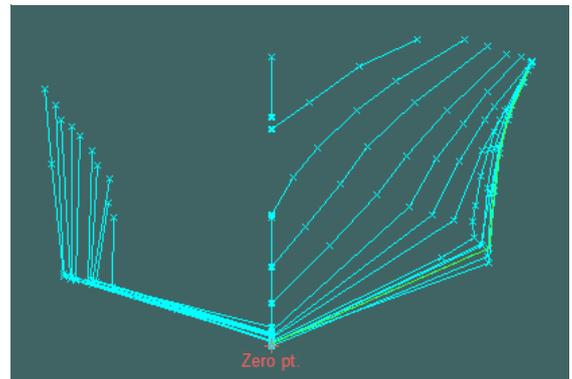
Fonte: Autor (2019).

Figura 85 - Aquarama Plano de Baliza Original



Fonte: M. Cracchiolo

Figura 86 - Aquarama Plano de Baliza Modelado



Fonte: Autor (2019).

APÊNDICE C – Resultado van Oortmerssen

Figura 87 - Comparação Odys

	Fr	Synapse			Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]
		Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência Total [kN]		
O d y s	0,028	0	0,1453	0,1453	0,1	45%
	0,087	0,0255	1,2063	1,2318	1,2	3%
	0,147	1,8305	3,1879	5,0184	4,9	2%
	0,206	5,8754	6,0386	11,914	11,7	2%
	0,265	10,784	9,729	20,513	20,8	1%
	0,325	31,775	14,238	46,013	45,4	1%
	0,384	70,866	19,551	90,417	89,9	1%
	0,443	217,11	25,654	242,764	242,5	0%
	0,503	327,85	32,538	360,388	359,5	0%
	0,562	364,41	40,193	404,603	403,0	0%

Fonte: Autor (2019).

Figura 88 - Comparação Gatika

	Fr	Synapse			Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]
		Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência Total [kN]		
G a t i k a	0,030	0	0,1643	0,1643	0,2	18%
	0,094	0,4023	1,3621	1,7644	1,7	4%
	0,157	5,9523	3,597	9,5493	9,0	6%
	0,220	13,391	6,8106	20,2016	18,9	7%
	0,284	43,977	10,969	54,946	51,1	8%
	0,347	72,102	16,049	88,151	80,1	10%
	0,411	244,46	22,033	266,493	254,0	5%
	0,474	210,1	28,907	239,007	246,1	3%
	0,538	163	36,658	199,658	211,1	5%
	0,601	222,09	45,277	267,367	269,8	1%

Fonte: Autor (2019).

Figura 89 - Comparação Alai

	Fr	Synapse			Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]
		Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência Total [kN]		
A l a i	0,034	0,000	0,089	0,089	0,1	11%
	0,105	0,115	0,732	0,847	0,8	6%
	0,176	2,030	1,930	3,959	3,7	7%
	0,247	4,799	3,650	8,449	8,0	6%
	0,318	12,462	5,874	18,336	17,8	3%
	0,389	53,737	8,590	62,327	55,0	13%
	0,460	110,310	11,787	122,097	116,3	5%
	0,531	115,550	15,458	131,008	130,0	1%
	0,602	124,200	19,596	143,796	142,1	1%
	0,673	158,800	24,196	182,996	176,9	3%

Fonte: Autor (2019).

Figura 90 - Comparação Kovdor

	Fr	Synapse			Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]
		Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência Total [kN]		
K o v d o r	0,030	0,000	0,101	0,1014	0,1	1%
	0,094	0,008	0,840	0,8479	0,8	6%
	0,157	1,136	2,219	3,3542	3,3	2%
	0,220	4,409	4,200	8,6087	8,5	1%
	0,284	8,992	6,764	15,7559	15,5	2%
	0,347	19,286	9,896	29,1823	29,2	0%
	0,411	82,607	13,585	96,192	96,4	0%
	0,474	163,630	17,823	181,453	182	0%
	0,538	215,050	22,601	237,651	238,4	0%
	0,601	272,720	27,914	300,634	301,8	0%

Fonte: Autor (2019).

Figura 91 - Comparação Hercules

	Fr	Synapse			Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]
		Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência Total [kN]		
H e r c u l e s	0,024	0,000	0,183	0,183	0,2	9%
	0,076	0,003	1,524	1,527	1,5	2%
	0,127	0,654	4,036	4,690	4,5	4%
	0,178	2,857	7,654	10,511	10,2	3%
	0,230	5,716	12,341	18,057	17,5	3%
	0,281	14,815	18,072	32,887	32,3	2%
	0,332	48,814	24,828	73,642	73	1%
	0,384	100,830	32,593	133,423	133,4	0%
	0,435	247,730	41,354	289,084	290,2	0%
	0,487	412,250	51,100	463,350	465,1	0%

Fonte: Autor (2019).

APÊNDICE D - Resultados Holtrop

Figura 92 - Comparação Bolster

B o l s t e r	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
	0,020	0,00	0,29	0,06	0,05	0,00	0,00	0,39	0,4	1%	0,01
0,107	0,00	6,31	1,27	1,33	0,00	0,00	8,91	9,6	7%	0,69	
0,194	1,49	19,09	3,91	4,36	0,00	0,00	28,85	31,1	7%	2,25	
0,281	35,09	38,11	6,61	9,14	0,00	0,00	88,94	94,9	6%	5,96	
0,368	163,12	63,08	6,69	15,67	0,00	0,00	248,56	263,1	6%	14,54	
0,455	623,15	93,82	5,72	23,95	0,00	0,00	746,64	773,4	3%	26,76	
0,543	1100,70	130,18	4,58	33,98	0,00	0,00	1269,45	1311,0	3%	41,55	
0,630	1339,30	172,07	2,72	45,77	0,00	0,00	1559,86	1617,9	4%	58,04	
0,717	1497,40	219,37	0,90	59,30	0,00	0,00	1776,96	1853,4	4%	76,44	
0,804	1670,30	272,01	0,00	74,58	0,00	0,00	2016,89	2112,7	5%	95,81	

Fonte: Autor (2019).

Figura 93 - Comparação Le Mekong

L e M e k o n g	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
	0,014	0,00	1,05	0,25	0,13	0,00	0,00	1,43	1,5	5%	0,07
0,074	0,00	23,62	4,93	3,74	0,00	0,00	32,29	34,7	7%	2,41	
0,134	1,37	71,75	15,21	12,29	0,00	0,00	100,63	108,0	7%	7,37	
0,194	42,24	143,56	30,61	25,79	0,00	0,00	242,20	255,4	5%	13,20	
0,254	269,01	238,02	46,56	44,22	0,00	0,00	597,82	614,8	3%	16,99	
0,315	1012,10	354,46	55,31	67,60	0,00	0,00	1489,47	1494,2	0%	4,73	
0,375	1518,30	492,35	51,75	95,91	0,00	0,00	2158,31	2229,9	3%	71,59	
0,435	4705,70	651,28	43,69	129,17	0,00	0,00	5529,84	5629,8	2%	99,96	
0,495	9206,30	830,92	66,46	167,37	0,00	0,00	10271,05	10251,5	0%	-19,55	
0,555	13711,00	1031,00	34,24	210,50	0,00	0,00	14986,74	14889,9	1%	-96,84	

Fonte: Autor (2019).

Figura 94 - Comparação Auslag

A u s l a g	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
	0,019	0,00	0,35	0,09	0,06	0,00	0,00	0,50	0,5	1%	0,00
0,099	0,01	7,86	1,91	1,59	0,00	0,00	11,36	12,1	6%	0,74	
0,179	4,07	23,81	5,93	5,21	0,00	0,00	39,02	40,8	4%	1,78	
0,259	55,89	47,55	10,68	10,93	0,00	0,00	125,05	125,9	1%	0,85	
0,339	249,76	78,74	12,39	18,74	0,00	0,00	359,63	345,8	4%	-13,83	
0,419	657,37	117,14	10,04	28,65	0,00	0,00	813,20	818,5	1%	5,30	
0,500	1911,70	162,59	15,95	40,65	0,00	0,00	2130,89	2057,5	4%	-73,39	
0,580	3105,70	214,94	6,75	54,74	0,00	0,00	3382,13	3205,9	5%	-176,23	
0,660	3615,40	274,07	3,60	70,93	0,00	0,00	3964,00	3710,5	7%	-253,50	
0,740	3738,90	339,89	0,91	89,22	0,00	0,00	4168,92	3916,1	6%	-252,82	

Fonte: Autor (2019).

Figura 95 - Comparação Saugatuck

S a u g a t u c k	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
	0,013	0,00	1,10	0,22	0,12	0,00	0,00	0,00	1,44	1,5	4%
0,069	0,00	24,62	4,41	3,55	0,00	0,00	0,00	32,58	35,2	7%	2,62
0,125	1,03	74,86	13,51	11,67	0,00	0,00	0,00	101,07	109,4	8%	8,33
0,181	28,53	149,83	27,45	24,48	0,00	0,00	0,00	230,29	246,2	6%	15,91
0,237	175,90	248,50	43,17	41,98	0,00	0,00	0,00	509,54	534,7	5%	25,16
0,293	597,01	370,14	54,57	64,16	0,00	0,00	0,00	1085,88	1129,2	4%	43,32
0,349	1006,60	514,23	55,85	91,04	0,00	0,00	0,00	1667,73	1728,9	4%	61,17
0,405	2059,70	680,33	47,86	122,61	0,00	0,00	0,00	2910,50	3064,1	5%	153,61
0,461	5887,40	868,10	47,31	158,87	0,00	0,00	0,00	6961,68	7035,6	1%	73,92
0,517	9715,10	1077,20	40,55	199,82	0,00	0,00	0,00	11032,67	11042,2	0%	9,53

Fonte: Autor (2019).

Figura 96 - Comparação Arthur M. Huddel

A r t h u r M · H u d d e l	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
	0,014	0,00	0,68	0,11	0,09	0,00	0,00	0,00	0,88	0,9	2%
0,077	0,00	15,23	2,19	2,60	0,00	0,00	0,00	20,01	21,7	8%	1,69
0,139	1,12	46,24	6,77	8,53	0,00	0,00	0,00	62,67	67,9	8%	5,23
0,201	24,02	92,50	13,54	17,89	0,00	0,00	0,00	147,95	159,6	7%	11,65
0,264	128,58	153,35	20,18	30,68	0,00	0,00	0,00	332,79	357,2	7%	24,41
0,326	323,83	228,34	23,10	46,90	0,00	0,00	0,00	622,18	669,3	7%	47,12
0,388	700,47	317,14	20,63	66,55	0,00	0,00	0,00	1104,79	1187,8	7%	83,01
0,450	1828,30	419,48	18,41	89,63	0,00	0,00	0,00	2355,82	2547,5	8%	191,68
0,513	3023,50	535,14	16,73	116,13	0,00	0,00	0,00	3691,50	4007,8	8%	316,30
0,575	3907,80	663,95	12,89	146,06	0,00	0,00	0,00	4730,70	5149,9	8%	419,20

Fonte: Autor (2019).

As seguintes tabelas são referentes aos coeficientes obtidos pelo Maxsurf.

Tabela 31 - Maxsurf Arthur M. Huddel

Fr	Velocidade [m/s]	Cf	Ca	1+k	Rfricção	Rcorrelação	(1+k)*Rf	Rforma
0,014	0,5	2,224	0,426	1,131	0,659	0,126	0,745	0,087
0,201	7	1,551	0,426	1,131	90,067	24,751	101,895	11,828
0,388	13,5	1,431	0,426	1,131	309,113	92,058	349,707	40,594
0,575	20	1,366	0,426	1,131	647,538	202,049	732,575	85,038

Fonte: Autor (2019).

Tabela 32 - Maxsurf Saugatuck

Fr	Velocidade [m/s]	Cf	Ca	1+k	Rfricção	Rcorrelação	(1+k)*Rf	Rforma
0,013	0,500	2,224	0,426	1,154	1,096	0,210	1,264	0,168
0,181	7,000	1,551	0,426	1,154	149,832	41,175	172,865	23,032
0,349	13,500	1,431	0,426	1,154	514,230	153,145	593,278	79,047
0,517	20,000	1,366	0,426	1,154	1077,223	336,122	1242,813	165,590

Fonte: Autor (2019).

Tabela 33 - Maxsurf Auslag

Fr	Velocidade [m/s]	Cf	Ca	1+k	Rfricção	Rcorrelação	(1+k)*Rf	Rforma
0,019	0,500	2,483	0,577	1,190	0,354	0,082	0,422	0,067
0,259	7,000	1,700	0,577	1,190	47,549	16,144	56,584	9,035
0,500	13,500	1,563	0,577	1,190	162,589	60,044	193,481	30,893
0,740	20,000	1,489	0,577	1,190	339,890	131,785	404,470	64,581

Fonte: Autor (2019).

Tabela 34 - Maxsurf Le Mekong

Fr	Velocidade [m/s]	Cf	Ca	1+k	Rfricção	Rcorrelação	(1+k)*Rf	Rforma
0,014	0,5	2,271949	0,577	1,169	1,054	0,268	1,232	0,178
0,194	7	1,579108	0,577	1,169	143,558	52,476	167,839	24,282
0,375	13,5	1,456083	0,577	1,169	492,348	195,178	575,625	83,277
0,555	20	1,389215	0,577	1,169	1030,975	428,374	1205,357	174,381

Fonte: Autor (2019).

As seguintes tabelas são referentes as comparações entre a parcelas de resistência total do Maxsurf e o Synapse.

Tabela 35 - Comparação Resistências Le Mekong

Velocidade [m/s]	Resistência Correlação Synapse	Resistência Correlação Maxsurf	Resistência Forma Synapse	Resistência Forma Maxsurf	Resistência Fricção Synapse	Resistência Fricção Maxsurf
0,5	0,13	0,27	0,25	0,18	1,05	1,05
7	25,79	52,48	30,61	24,28	143,56	143,56
13,5	95,91	195,18	51,75	83,28	492,35	492,35
20	210,50	428,37	34,24	174,38	1031,00	1030,98

Fonte: Autor (2019).

Tabela 36 - Comparação Resistências Auslag

Velocidade [m/s]	Resistência Correlação Synapse	Resistência Correlação Maxsurf	Resistência Forma Synapse	Resistência Forma Maxsurf	Resistência Fricção Synapse	Resistência Fricção Maxsurf
0,5	0,06	0,08	0,09	0,07	0,35	0,35
7	10,93	16,14	10,68	9,03	47,55	47,55
13,5	40,65	60,04	15,95	30,89	162,59	162,59
20	89,22	131,78	0,91	64,58	339,89	339,89

Fonte: Autor (2019).

Tabela 37 - Comparação Resistências Saugatuck

Velocidade [m/s]	Resistência Correlação Synapse	Resistência Correlação Maxsurf	Resistência Forma Synapse	Resistência Forma Maxsurf	Resistência Fricção Synapse	Resistência Fricção Maxsurf
0,5	0,12	0,21	0,22	0,17	1,10	1,10
7	24,48	41,17	27,45	23,03	149,83	149,83
13,5	91,04	153,15	55,85	79,05	514,23	514,23
20	199,82	336,12	40,55	165,59	1077,20	1077,22

Fonte: Autor (2019).

Tabela 38 - Comparação Resistências Arthur M. Huddel

Velocidade [m/s]	Resistência Correlação Synapse	Resistência Correlação Maxsurf	Resistência Forma Synapse	Resistência Forma Maxsurf	Resistência Fricção Synapse	Resistência Fricção Maxsurf
0,5	0,12	0,13	0,22	0,09	1,10	0,66
7	24,48	24,75	27,45	11,83	149,83	90,07
13,5	91,04	92,06	55,85	40,59	514,23	309,11
20	199,82	202,05	40,55	85,04	1077,20	647,54

APÊNDICE E - Resistências de Apêndices

Figura 97 - Comparação Saugatuck com Apêndices

	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
S a u g a t u c k	0,014	0,00	1,38	0,31	0,16	0,00	0,00	1,850	1,9	3%	0,050
	0,077	0,00	31,10	6,15	4,53	0,00	0,00	41,781	45,1	7%	3,319
	0,139	1,01	94,56	18,84	14,88	0,00	0,00	129,286	139,7	7%	10,414
	0,201	35,54	189,28	38,34	31,21	0,00	0,00	294,364	313,7	6%	19,336
	0,264	250,22	313,95	60,63	53,51	0,00	0,00	678,308	704,9	4%	26,592
	0,326	881,96	467,65	77,46	81,80	0,00	0,00	1508,871	1548,4	3%	39,529
	0,388	1798,30	649,71	80,59	116,06	0,00	0,00	2644,658	2650,7	0%	6,042
	0,450	2912,70	859,60	69,96	156,31	0,00	0,00	3998,566	4135,8	3%	137,234
	0,513	9067,00	1096,90	65,79	202,53	0,00	0,00	10432,222	10120,2	3%	-312,022
	0,575	15261,00	1361,10	59,50	254,74	0,00	0,00	16936,335	16179,4	5%	-756,935

Fonte: Autor (2019).

Figura 98 - Comparação U.S.S. Bolster com Apêndices

	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
U S S B o l s t e r	0,014	0	0,29	0,06	0,12	0,00	0,00	0,473	0,4	18%	-0,073
	0,077	0,0006	6,31	1,27	3,55	0,00	0,00	11,132	9,6	16%	-1,532
	0,139	1,489	19,09	3,91	11,67	0,00	0,00	36,164	31,1	16%	-5,064
	0,201	35,087	38,11	6,61	24,48	0,00	0,00	104,278	94,9	10%	-9,378
	0,264	163,12	63,08	6,69	41,98	0,00	0,00	274,869	263,1	4%	-11,769
	0,326	623,15	93,82	5,72	64,16	0,00	0,00	786,855	773,4	2%	-13,455
	0,388	1100,7	130,18	4,58	91,04	0,00	0,00	1326,507	1311,0	1%	-15,507
	0,450	1339,3	172,07	2,72	122,61	0,00	0,00	1636,703	1617,9	1%	-18,803
	0,513	1497,4	219,37	0,90	158,87	0,00	0,00	1876,535	1853,4	1%	-23,135
	0,575	1670,3	272,01	0,00	199,82	0,00	0,00	2142,130	2112,7	1%	-29,430

Fonte: Autor (2019).

Tabela 39 – Dados de Saída do Saugatuck Maxsurf

Fr	Velocidade [m/s]	Cf	Ca	1+k	Rfricção	Rcorrelação	(1+k)*Rf	Rforma
0,013	0,50	2,21	0,419	1,198	1,384	0,262	1,658	0,274
0,178	7,00	1,55	0,419	1,198	189,282	51,367	226,809	37,527
0,344	13,50	1,43	0,419	1,198	649,715	191,054	778,526	128,812
0,510	20,00	1,36	0,419	1,198	1361,144	419,322	1631,002	269,859

Fonte: Autor (2019).

Tabela 40 - Dados de Saída Le Meckong Maxsurf

Fr	Velocidade [m/s]	Cf	Ca	1+k	Rfricção	Rcorrelação	(1+k)*Rf	Rforma
0,014	0,5	2,272	0,459	1,169	1,054	0,213	1,232	0,178
0,194	7	1,579	0,459	1,169	143,558	41,728	167,839	24,282
0,375	13,5	1,456	0,459	1,169	492,348	155,203	575,625	83,277
0,555	20	1,389	0,459	1,169	1030,975	340,637	1205,357	174,381

Fonte: Autor (2019).

Tabela 41 - Influência do Apêndice no Erro Saugatuck

Fr	Resistên- cia de Onda [kN]	Resistên- cia de Fricção [kN]	Resistên- cia de Forma [kN]	Resistên- cia de Correlaç ão [kN]	Resistên- cia de Bulbo [kN]	Resistên- cia Transo m [kN]	Resistênc ia Total [kN]	Resistên- cia Total Maxsurf [kN]	Erro Absol uto	Err o [%]
0,00 0	0,00	0,29	0,0536	0,068	0	0	0,406647 545	0,4	0,007	2%
1,41 0	35,09	38,11	7,1578	13,282	0	0	93,63361 589	94,9	1,266	1%
44,2 38	1100,70	130,18	24,4534	49,400	0	0	1304,733 578	1311,0	6,266	0%
67,1 31	1670,30	272,01	51,0938	108,423	0	0	2101,826 83	2112,7	10,87 3	1%

Fonte: Autor (2019).

APÊNDICE F - Resistências de Popa Transom

Figura 99 - Comparação Le Mekong com Popa Transom

L o c o n o	Fr	Synapse							Resistência Total Maxsurf	Erro [%]	Erro Absolut
		Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]			
	0,014	0,00	1,05	0,24	0,13	0,00	2,53	3,96	4,00	1%	0,0422
	0,077	0,00	23,62	4,88	3,74	0,00	67,73	99,37	102,50	2%	2,5265
	0,139	0,62	71,75	15,06	12,29	0,00	208,75	308,48	316,30	2%	7,8241
	0,201	19,23	143,56	30,30	25,79	0,00	408,99	627,87	643,60	2%	15,728
	0,264	122,50	236,02	46,09	44,22	0,00	651,86	1102,69	1131,90	3%	29,209
	0,326	460,89	354,46	54,75	67,60	0,00	920,76	1858,46	1908,40	3%	49,945
	0,388	691,36	492,35	51,22	95,91	0,00	1199,10	2529,94	2645,10	4%	115,16
	0,450	2142,80	651,28	43,25	129,17	0,00	1470,30	4436,80	4642,20	4%	205,4
	0,513	4192,20	830,92	65,78	167,37	0,00	1717,80	6974,07	7205,90	3%	231,83
	0,575	6243,60	1031,00	33,90	210,50	0,00	1924,90	9443,90	9754,60	3%	310,7

Fonte: Autor (2019).

Figura 100 - Comparação Saugatuck com Popa Transom

S a u g a t u c k	Fr	Synapse							Resistência Total Maxsurf	Erro [%]	Erro Absolut
		Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]			
	0,014	0	1,096	0,22	0,1249	0,00	3,8015	5,24	5,3	1%	0,0576
	0,077	0	24,623	4,4054	3,5523	0,00	102,92	135,50	138,1	2%	2,5393
	0,139	0,0393	74,857	13,51	11,67	0,00	320,99	421,07	429	2%	7,9337
	0,201	1,0856	149,83	27,451	24,478	0,00	637,36	840,20	855,9	2%	15,695
	0,264	6,6932	248,5	43,168	41,976	0,00	1031,4	1371,74	1400,6	2%	28,863
	0,326	22,717	370,14	54,57	64,164	0,00	1482,5	1994,09	2047,9	3%	53,809
	0,388	38,302	514,23	55,853	91,043	0,00	1969,9	2669,33	2763,2	3%	93,872
	0,450	78,373	680,33	47,855	122,61	0,00	2473,1	3402,27	3557,5	4%	155,23
	0,513	224,02	868,1	47,312	158,87	0,00	2971,4	4269,70	4494,8	5%	225,1
	0,575	369,66	1077,2	40,548	199,82	0,00	3444,1	5131,33	5437,2	6%	305,87

Fonte: Autor (2019).

Tabela 42 - Valores de Saída Maxsurf Le Meckong

Fr	Velocidade [m/s]	Cf	Ca	1+k	Rfricção	Rcorrelação	(1+k)*Rf	Rforma
0,014	0,5	2,272	0,459	1,169	1,054	0,213	1,232	0,178
0,194	7	1,579	0,459	1,169	143,558	41,728	167,839	24,282
0,375	13,5	1,456	0,459	1,169	492,348	155,203	575,625	83,277
0,555	20	1,389	0,459	1,169	1030,975	340,637	1205,357	174,381

Fonte: Autor (2019).

Tabela 43 - Influência da Resistência de Onda e Resistência Transom no Erro

Fr	Resistên cia de Onda [kN]	Resistên cia de Fricção [kN]	Resistên cia de Forma [kN]	Resistên cia de Correlaç ão [kN]	Resistên cia de Bulbo [kN]	Resistên cia Transo m [kN]	Resistên cia Total [kN]	Resistên cia Total Maxsurf [kN]	Erro Absolu to	Err o [%]
0,01 4	0,00	1,05	0,1782	0,213	0	2,53	3,97	4,0	0,027	1%
0,19 4	19,23	143,56	24,2817	41,728	0	408,99	637,79	643,6	5,807	1%
0,37 5	691,36	492,35	83,2769	155,203	0	1199,10	2621,29	2645,1	23,811	1%
0,55 5	6243,60	1031,00	174,381 4	340,637	0	1924,90	9714,52	9754,6	40,082	0%

Fonte: Autor (2019).

APÊNDICE G - Resistências de Bulbo

Figura 101 – Comparação Arthur M. Huddel com Bulbo

A r t h u r e M .	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
		0,014	0,00	0,94	0,17	0,12	0,04	0,00	1,27	1,3	2%
	0,077	0,00	21,04	3,47	3,38	4,38	0,00	32,27	34,8	7%	2,53
	0,139	0,76	63,92	10,72	11,11	15,45	0,00	101,96	111,9	9%	9,94
	0,201	21,86	127,88	21,52	23,31	23,47	0,00	218,03	234,7	7%	16,67
	0,264	131,87	212,02	32,52	39,96	25,71	0,00	442,09	429,2	3%	-12,89
	0,326	441,73	315,73	38,17	61,09	28,52	0,00	885,24	744,0	19%	-141,24
	0,388	766,73	438,53	35,14	86,68	45,74	0,00	1372,82	1093,3	26%	-279,52
	0,450	2215,30	580,08	30,04	116,73	151,40	0,00	3093,55	1986,5	56%	-1107,05
	0,513	3938,50	740,07	28,68	151,26	560,79	0,00	5419,30	3031,0	79%	-2388,30
	0,575	5611,90	918,23	22,83	190,24	642,41	0,00	7385,61	4079,6	81%	-3306,01

Fonte: Autor (2019).

Figura 102 - Comparação Auslag com Bulbo

U o l s t e r .	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
		0,014	0	0,2853	0,0627	0,0466	1,0822	0,00	1,48	0,8	85%
	0,077	0,0004	6,3095	1,2693	1,3259	49,325	0,00	58,23	43,1	35%	-15,13
	0,139	0,8934	19,091	3,9135	4,3559	142,61	0,00	170,86	123,6	38%	-47,26
	0,201	21,052	38,107	6,6062	9,1364	248,45	0,00	323,35	210,5	54%	-112,85
	0,264	97,874	63,079	6,6942	15,668	374,07	0,00	557,39	311,3	79%	-246,09
	0,326	373,89	93,818	5,7227	23,95	565,61	0,00	1062,99	476,1	123%	-586,89
	0,388	660,4	130,18	4,5838	33,982	775,09	0,00	1604,24	646,4	148%	-957,84
	0,450	803,56	172,07	2,7234	45,765	944,73	0,00	1968,85	773,7	154%	-1195,15
	0,513	898,44	219,37	0,8952	59,299	1109,2	0,00	2287,20	890,3	157%	-1396,90
	0,575	1002,2	272,01	0	74,583	1288,7	0,00	2637,49	1017,1	159%	-1620,39

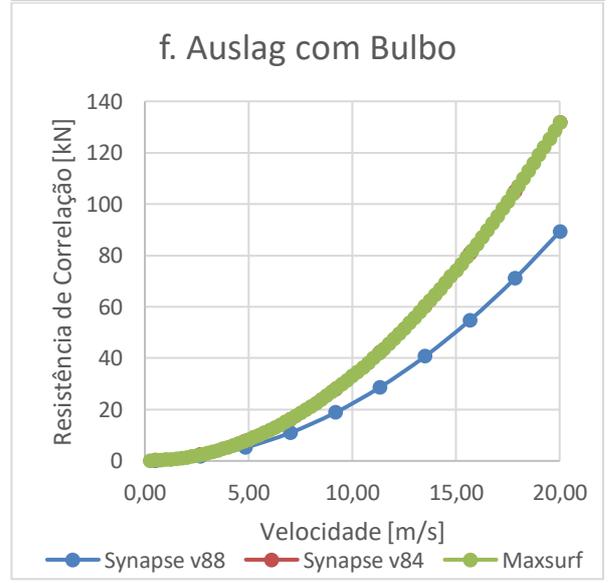
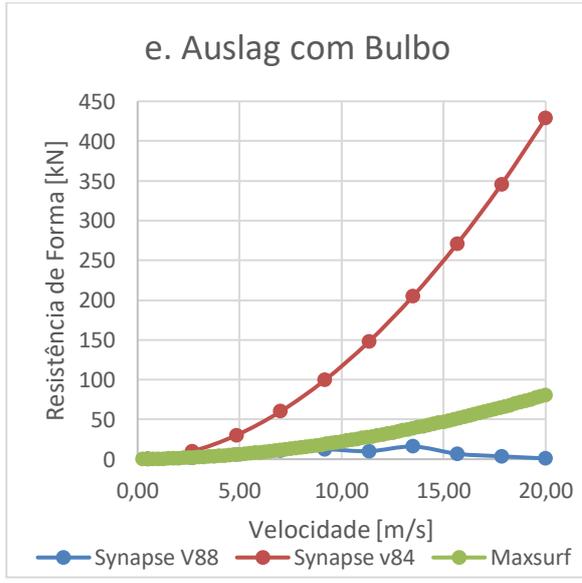
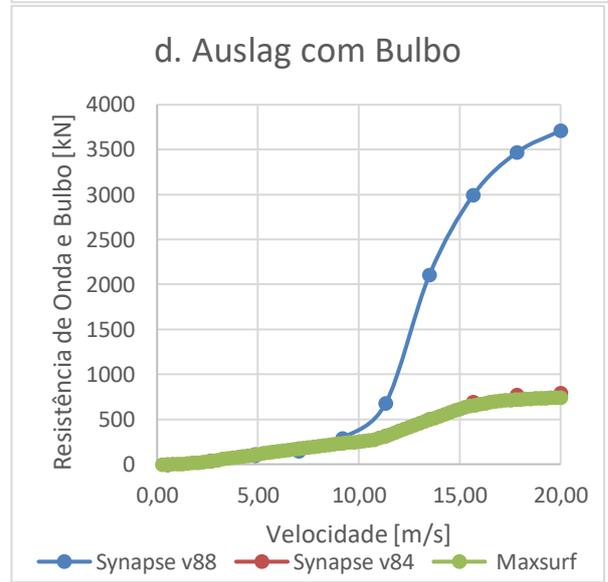
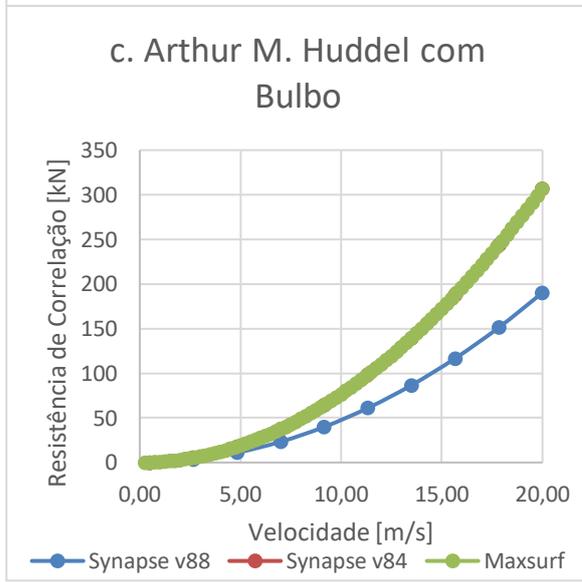
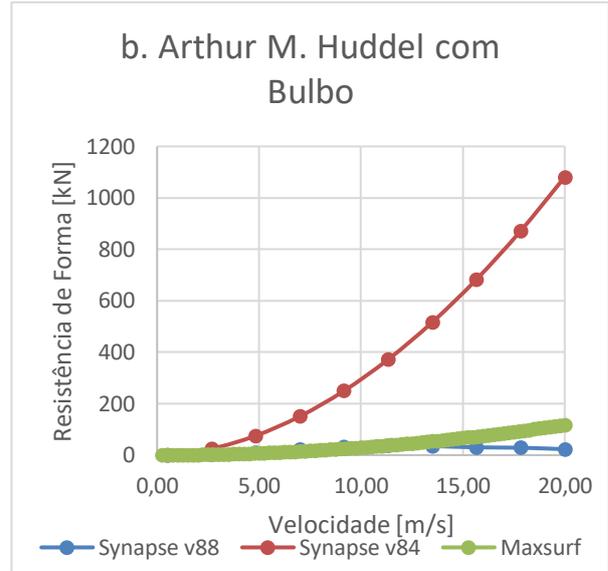
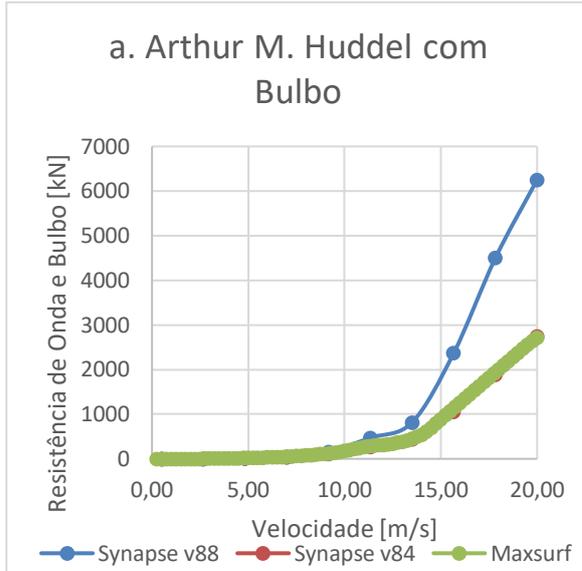
Fonte: Autor (2019).

Figura 103 - Comparação U.S.S. Bolster com Bulbo

A u s l a g	Fr	Resistência de Onda [kN]	Resistência de Fricção [kN]	Resistência de Forma [kN]	Resistência de Correlação [kN]	Resistência de Bulbo [kN]	Resistência Transom [kN]	Resistência Total [kN]	Resistência Total Maxsurf [kN]	Erro [%]	Erro Absoluto [kN]
		0,019	0,00	0,35	0,09	0,06	0,45	0,00	0,96	1,4	32%
	0,099	0,01	7,86	1,91	1,59	38,24	0,00	49,60	77	36%	27,40
	0,179	4,07	23,81	5,93	5,21	91,67	0,00	130,69	197,8	34%	67,11
	0,259	55,89	47,55	10,68	10,93	114,90	0,00	239,95	311,6	23%	71,65
	0,339	249,76	78,74	12,39	18,74	141,83	0,00	501,46	432,5	16%	-68,96
	0,419	657,37	117,14	10,04	28,65	284,20	0,00	1097,40	587,2	87%	-510,20
	0,500	1911,70	162,59	15,95	40,65	958,71	0,00	3089,60	861,3	259%	-2228,30
	0,580	3105,70	214,94	6,75	54,74	1129,60	0,00	4511,73	1125,3	301%	-3386,43
	0,660	3615,40	274,07	3,60	70,93	1299,00	0,00	5263,00	1295,1	306%	-3967,90
	0,740	3738,90	339,89	0,91	89,22	1467,20	0,00	5636,12	1428,7	294%	-4207,42

Fonte: Autor (2019).

Os restantes dos gráficos comparando os métodos de Holtrop de 1988 e 1984 presentes no módulo da ferramenta computacional apresentadas no Synapse serão mostradas a seguir:



APÊNDICE H – Limites

A seguir são apresentados os limites dos métodos e os valores dos cascos dos navios, onde para os casos que aparecem “Erro!” quer dizer que o valor está fora do limite do método proposto na fundamentação teórica.

Figura 104 – Limites das Embarcações Método de Holtrop

Limite Holtrop					
Limites	Arthur M.	Saugatuck	Auslag	Mekong	U.S.S. Bolster
L/B	7,098	7,356	6,264	6,968	4,786
B/T	3,983	3,340	3,316	2,360	3,338
Fr	0,345	0,310	0,444	1,388	0,650
Cp	0,666	0,738	0,754	0,737	0,576
L/B 1	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!
L/B 2	Erro!	Erro!	Erro!	Erro!	Ok!
B/T 1	Ok!	Ok!	Ok!	Erro!	Ok!
B/T 2	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!
Cp 1	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!
Cp 2	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!	Ok!

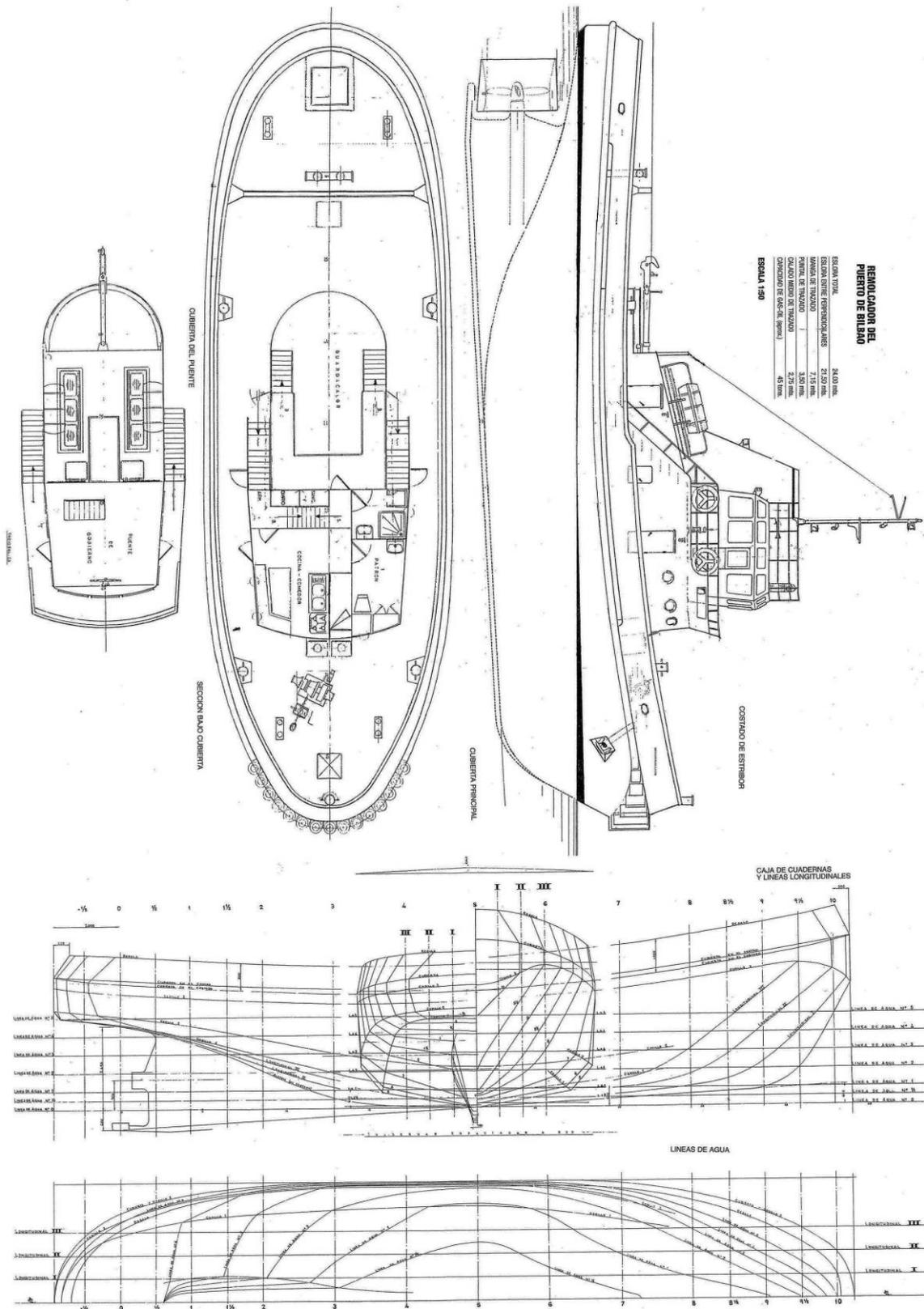
Fonte: Autor (2019).

Figura 105 - Limites do Método de van Oortmerssen

Lwl Inf.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Lwl Sup.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Deslocamento Inf.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Deslocamento Sup.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
L/B Inf.	Erro!	Ok	Ok	Erro!	Ok
L/B Sup.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
B/T Inf.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
B/T Sup.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Cp Inf.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Cp Sup.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Cm Inf.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Cm Sup.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
LCB Inf.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
LCB Sup.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ie Inf.	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ie Sup.	Erro!	Ok	Ok	Ok	Ok
Lwl	28,93	32,28	28,20	22,51	43,07
Deslocamento	717,334	558,952	312,101	255,195	650,462
L/B	2,647	3,516	3,463	2,932	5,307
Cp	0,688	0,591	0,518	0,595	0,605
Cm	0,957	0,744	0,794	0,867	0,774
LCB	1,224%	-2,839%	1,311%	-0,833%	1,167%
ie	49,6	31,6	28,5	37,6	19,5

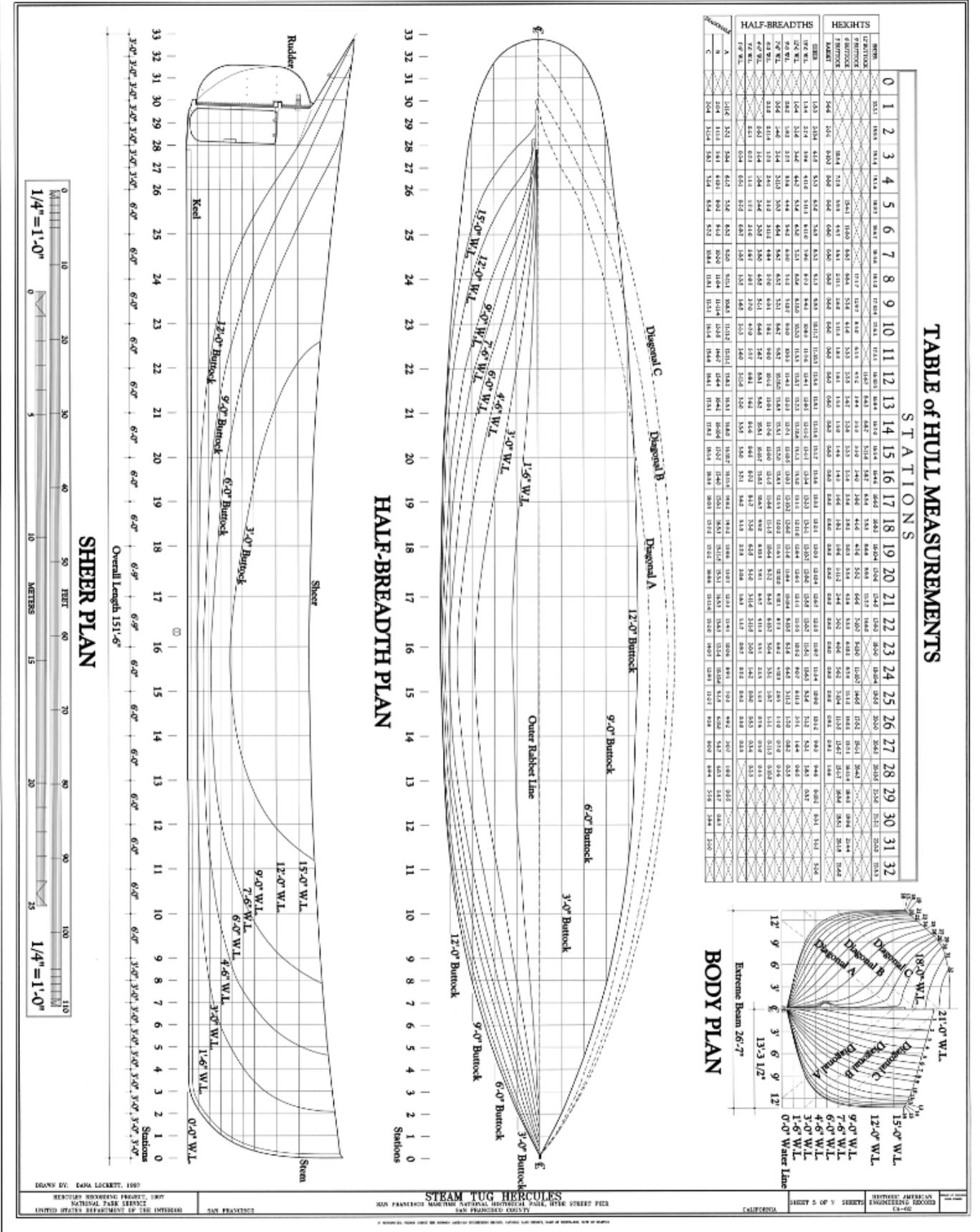
Fonte: Autor (2019).

Figura 109 - Plano de Linhas Alai



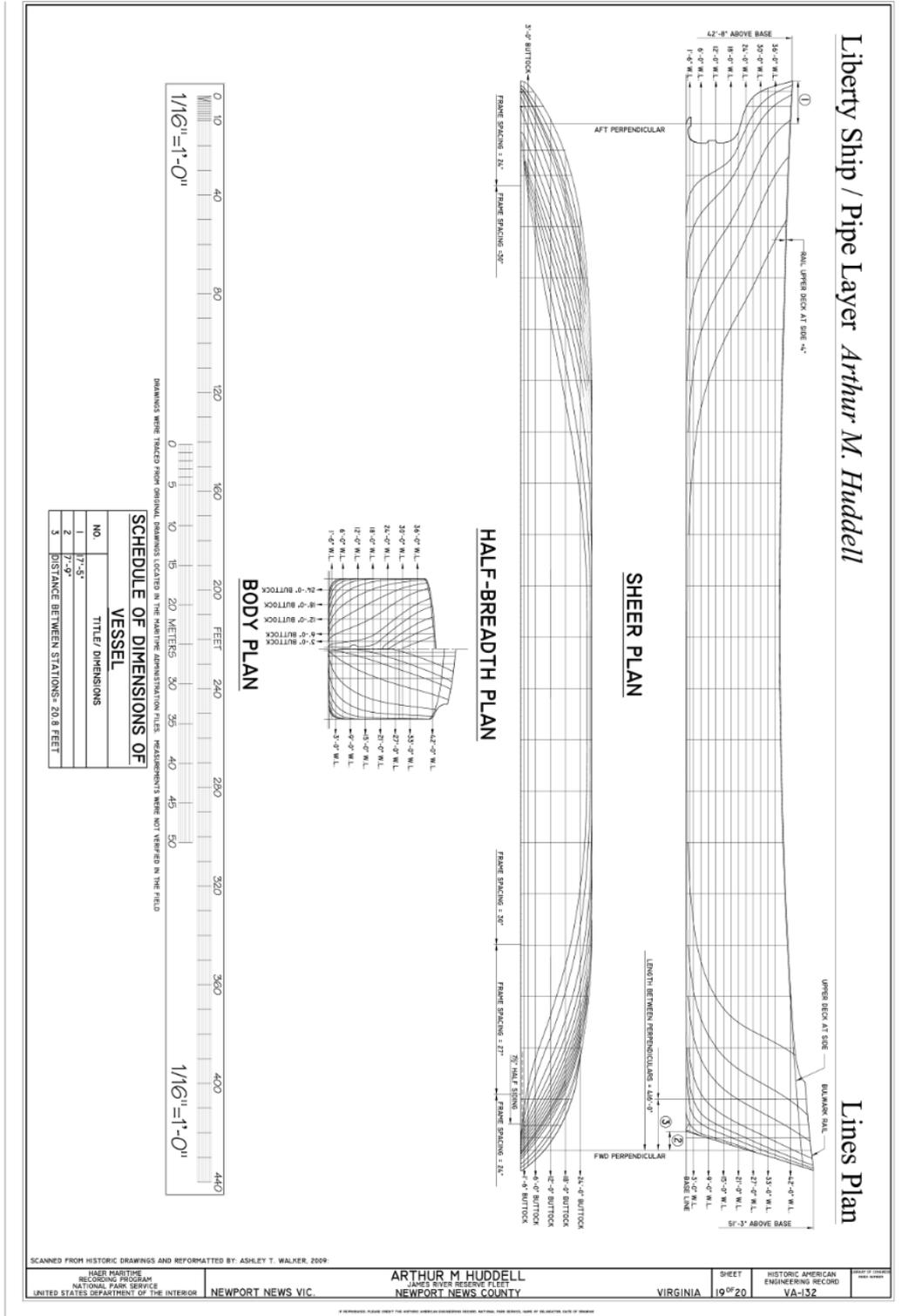
Fonte: CAPTAIN (2013).

Figura 110 - Plano de Linhas Hercules



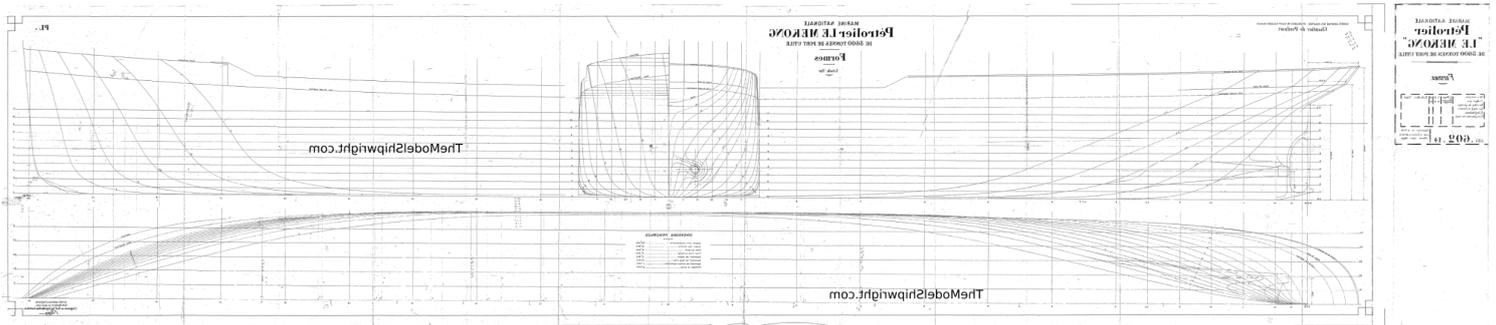
ANEXO B – PLANOS DE LINHA CASCOS DESLOCANTES

Figura 111 - Plano de Linhas Arthur M. Huddell



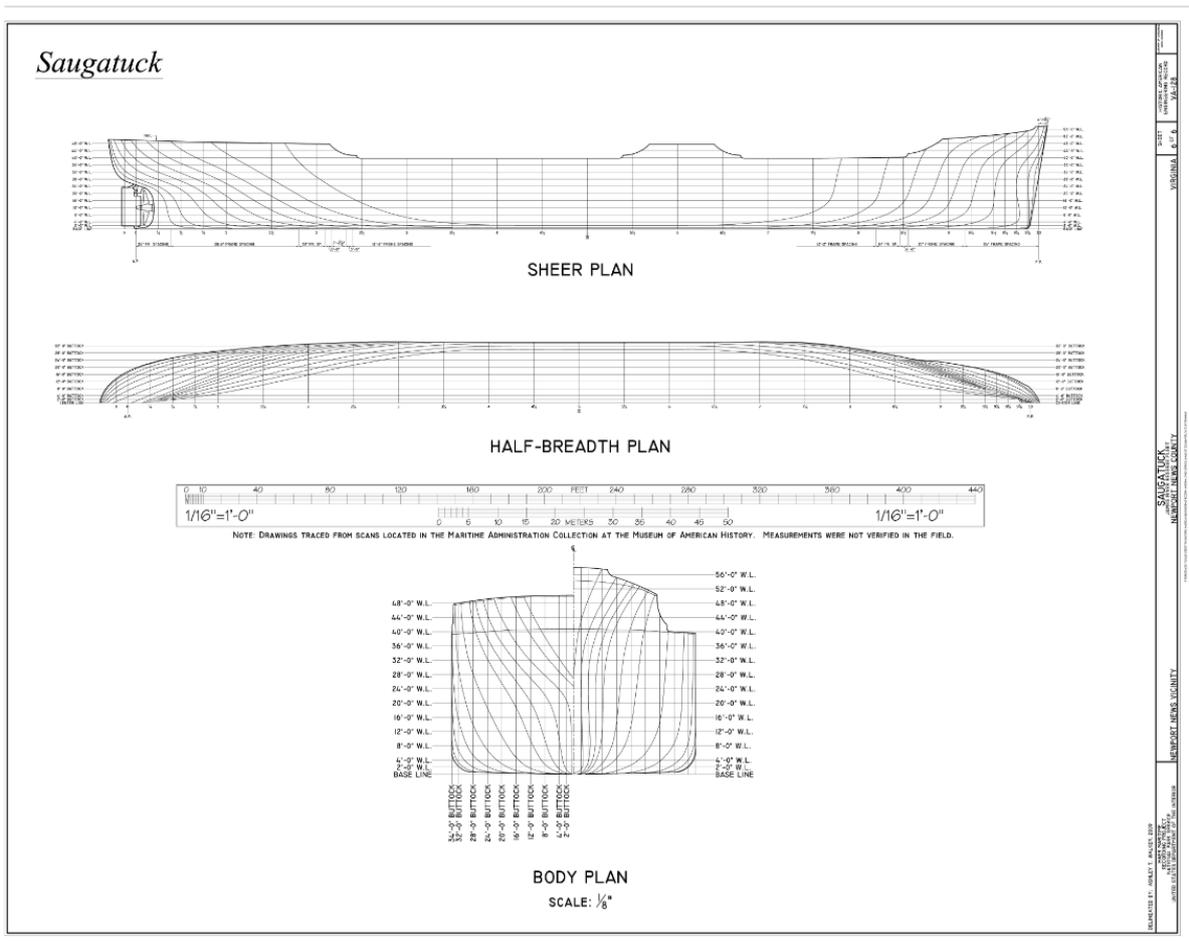
Fonte: HAER (1968).

Figura 113 - Plano de Linhas Le Mekong



Fonte: The Model Ship Wright

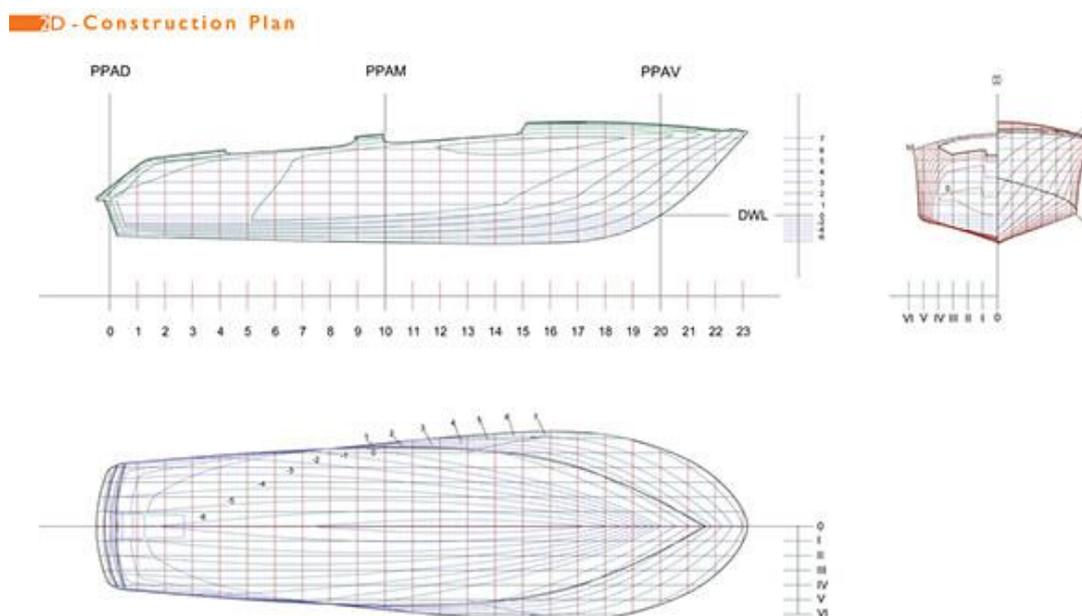
Figura 112 - Plano de Linhas Saugatuck



Fonte: HAER (1968).

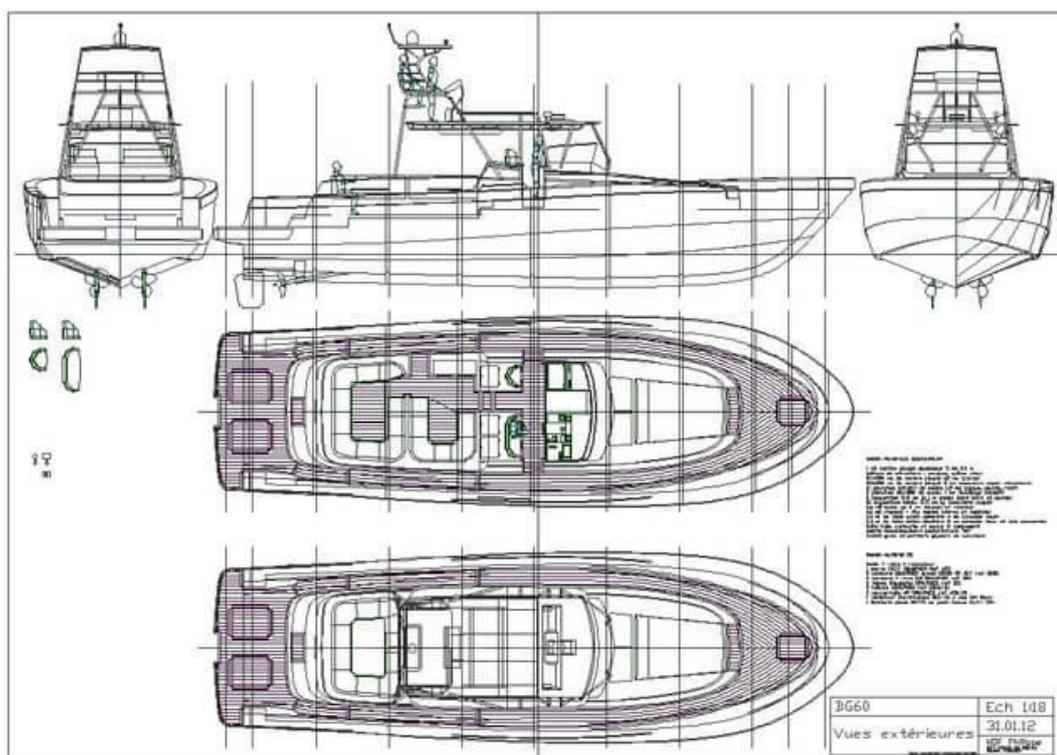
ANEXO C - PLANOS DE LINHAS CASCOS PLANANTES

Figura 116 – Planos de Linhas Aquarama



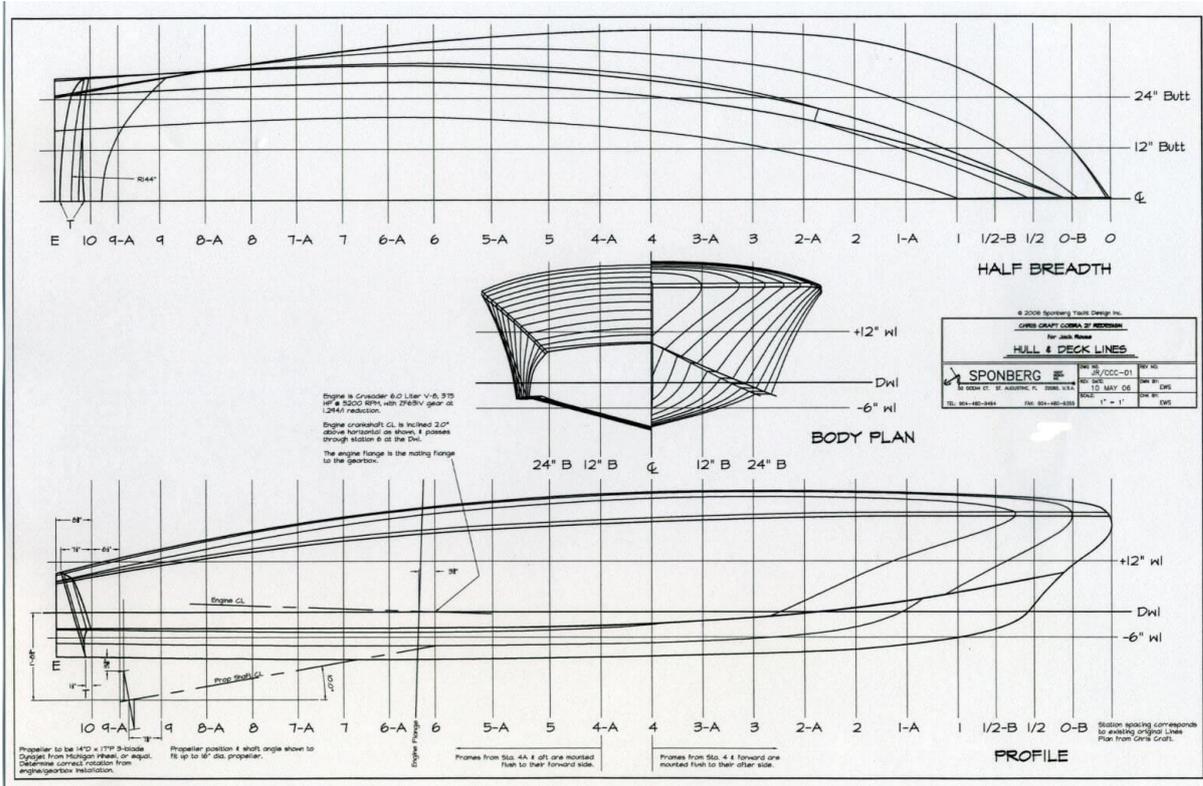
Fonte: Cracchiolo

Figura 117 -BG 60



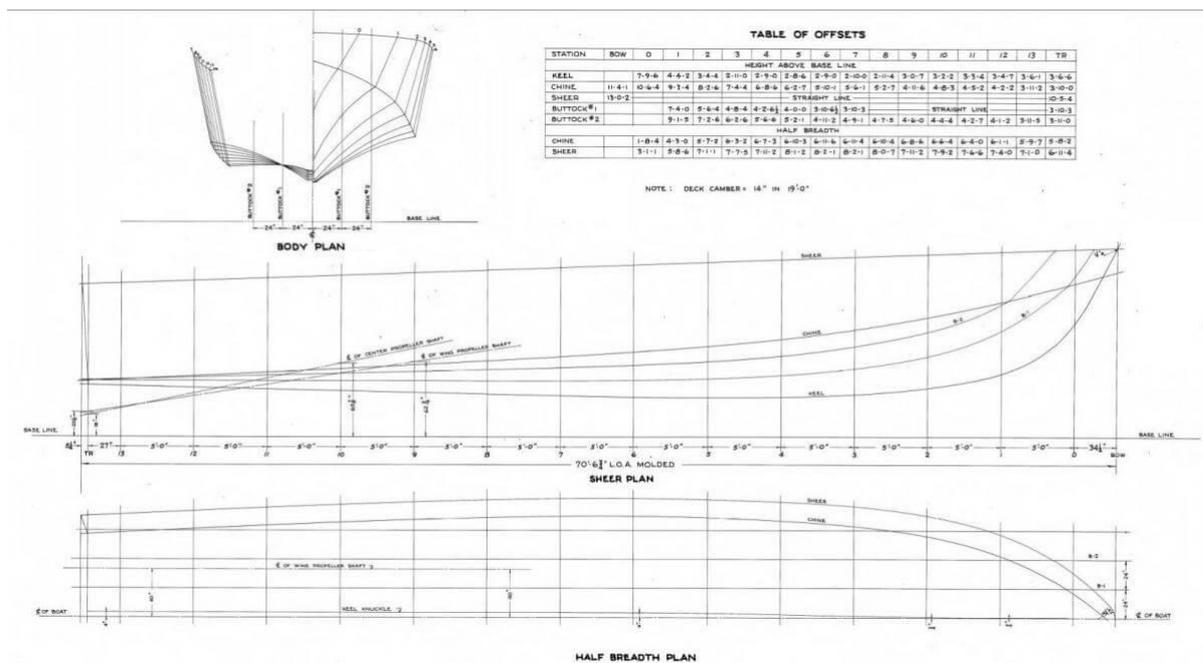
Fonte: PLANSBATEAUX

Figura 118 - Cobra 21'



Fonte: Classic Wooden Boat Plans

Figura 119 - Higgins



Fonte: Johnw (2019)