LUCAS DE CARVALHO GUESSE

**Desempenho propulsivo de embarcações de pesca: estudo
aplicado à melhoria das embarcações do Espírito Santo**

São Paulo

2016

LUCAS DE CARVALHO GUESSE

**Desempenho propulsivo de embarcações de pesca: estudo
aplicado à melhoria das embarcações do Espírito Santo**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre em
Ciências.

Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador:
Prof. Dr. Bernardo Luis R. de Andrade.

São Paulo
2016

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Guesse, Lucas de Carvalho

Desempenho propulsivo de embarcações de pesca: estudo aplicado à melhoria das embarcações do Espírito Santo / L. C. Guesse -- versão corr. -- São Paulo, 2016.

151 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. .

1. Embarcações de pesca (Espírito Santo) 2. Propulsão (Eficiência)
3. Hélice de embarcações 4. Combustíveis (Consumo) 5. Custo econômico
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. II. t.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais por minha educação e suporte para chegar onde estou. À minha avó pela paciência e guarida nos dias de aula em São Paulo, sem ela este trabalho não seria possível.

À minha esposa Laís pela paciência nas minhas ausências/viagens, pela ajuda nas correções desta dissertação, puxões de orelha, entre outras qualidades que posso resumir em uma: companheirismo.

Aos amigos e professores Dr. Marcelo Fantini Polese pelo incentivo e Msc. André Baptista Souza pelos auxílios na revisão dos trabalhos enviados aos congressos e na ajuda com termos técnico da área da Pesca

Aos Professores Dr. Bernardo Luis R. de Andrade pelas orientações e auxílios durante este período do mestrado.

Ao Eng. João Francisco de Almeida Júnior da Superintendência Federal da Pesca e Aquicultura no Estado do Espírito Santo (SFPA/ES) do Ministério da Pesca e Aquicultura pelas informações prestadas referentes a este Ministérios, estatísticas e registros; e à Técnica em Pesca Amanda Soares dos Santos do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pelo auxílio na coleta de dados junto aos estaleiros.

RESUMO

Este trabalho apresenta um procedimento simples e robusto para avaliação e análise do desempenho de instalações propulsoras de embarcações de pesca operando no Estado do Espírito Santo. O objetivo é verificar se as embarcações estão operando com baixa eficiência propulsiva, portanto, com consumo de combustível maior do que o desejável, e identificar possíveis ações de melhoria desta eficiência que poderiam ser implementadas com baixo custo. Tendo em vista as condições artesanais da construção e operação das embarcações de pesca no Espírito Santo, o procedimento foi desenvolvido de forma a poder ser aplicado com relativa facilidade pelas pessoas envolvidas na atividade pesqueira artesanal neste Estado. O procedimento envolve o levantamento de informações sobre a geometria do casco, as características da instalação propulsora existente e sobre alguns aspectos do desempenho das embarcações. Para este levantamento são propostos métodos e técnicas suficientemente simples para que possam ser facilmente aplicadas nos estaleiros. Com base nestes dados levantados implementou-se no procedimento proposto diversos algoritmos que permitem determinar o coeficiente propulsivo das embarcações de pesca e a perda de energia útil que ocorre tanto no motor, por conta de condições inadequadas de operação, quanto na transmissão desta energia para o hélice. Para a validação dos métodos e técnicas envolvidos neste procedimento e dos resultados fornecidos por ele, o mesmo foi aplicado em alguns cascos de embarcações de pesca disponíveis em estaleiros visitados no Estado. Para uma destas embarcações o procedimento foi aplicado em sua totalidade, permitindo identificar a baixa eficiência da instalação propulsora e algumas das possíveis causas que provocam a perda de energia útil no sistema. Finalmente, com base nesse exemplo de aplicação, um estudo de possíveis melhorias na instalação propulsora é apresentado ao final do trabalho.

Palavras-Chave: Embarcação de Pesca. Instalação Propulsora, Eficiência Propulsiva. Consumo de Combustível.

ABSTRACT

This study presents a simple and robust procedure to the performance evaluation and analysis of propulsion systems of fishing vessels operating in the Espírito Santo State. The goals are to verify if the vessels are operating at low propulsive efficiency, therefore, with a fuel consumption greater than desired, and identify possible actions to improve this efficiency that could be implemented at a low cost. The procedure was developed in view of the conditions of construction and operation of fishing vessels in Espírito Santo, so that it can be applied with relative ease by the people involved in artisanal fishing activity in this State. The procedure involves the collection of information about the geometry of hull, the characteristics of existing propulsion plant and some aspects of the performance of the vessels. To do this data collection, this paper proposes methods and techniques simple enough to be easily applied in the shipyards. Based on these data collected, the proposed procedure implemented several algorithms to ascertain the propulsive coefficient of fishing vessels and the energy loss which may occur due to the inadequate operating conditions and in energy transmission to propeller. It has been applied in some fishing vessel hulls available on sites visited to validate the methods and techniques involved in this procedure and its results. The procedure was applied, in its entirety, in one of this vessels, that allowed to identify the low efficiency of the propulsion plant and some of the possible causes that justify this energy loss in the system. Finally, based on this application example, a study of possible improvements in propulsion plant is presented at the end of work.

Keywords: Fishing Vessels, Ship Machinery, Propulsive Efficiency, Fuel Consumption

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-1 Precariedade das Construções Pesqueiras	19
Figura 2-1 Crescimento da População e Produção de Pescado	24
Figura 2-2 Usos da Produção Pesqueira	25
Figura 2-3 Produção Brasileira de Pescado	25
Figura 2-4 Zona Econômica Exclusiva do Brasil	26
Figura 2-5 Mapa do Espírito Santo	27
Figura 2-6 Diferentes Embarcações de Arrasto	30
Figura 2-7 Arrasto de Parelha	30
Figura 2-8 Pesca com Rede de Cerco	31
Figura 2-9 Exemplo de Armadilha – Covo	32
Figura 2-10 Embarcações que utilizam Armadilha	32
Figura 2-11 Pesca com Espinhel	33
Figura 2-12 Gasto de Combustível em Viagem	34
Figura 2-13 Quantitativo de Embarcações no Estado	35
Figura 2-14 Idade da Frota do Espírito Santo	36
Figura 2-15 Tripulantes na Frota Pesqueira	36
Figura 2-16 Distribuição de Embarcações por Cidades	37
Figura 2-17 Idade da Frota de espinhel	39
Figura 2-18 Comprimento das embarcações de espinhel	39
Figura 2-19 Embarcação típica com Espinhel	40
Figura 2-20 Modelo de Construção	41
Figura 2-21 Montagem das peças estruturais	41
Figura 2-22 Embarcação com Tina Externa	42
Figura 2-23 Ampliação de Embarcação	43
Figura 2-24 Exemplo de motor utilizado em embarcações de espinhel	44
Figura 2-25 Potência Instalada no RGP	45
Figura 2-26 Hélices de embarcações semelhantes	46
Figura 2-27 Adaptação para Refrigeração	47
Figura 2-28 Entrada de ar da Praça de Máquinas	47
Figura 2-29 Região dos Pesqueiros	48
Figura 2-30 Consumo de Combustível com Espinhel	49
Figura 2-31 Consumo e Operação	51

Figura 2-32 Percentuais do Custo de Viagem.....	52
Figura 3-1 Parâmetros de uma instalação propulsora típica	54
Figura 3-2 Diagrama KT,KQ x J	67
Figura 3-3 Diagrama de Burril para previsão de cavitação	70
Figura 3-4 Curvas do Motor MWM 6T-12	72
Figura 3-5 Encontrando J de operação	77
Figura 3-6 Encontrando a rotação do motor.....	79
Figura 4-1 Fluxo do Procedimento de Análise.....	82
Figura 4-2 Material para medição.....	84
Figura 4-3 Medição de pontos numa seção transversal do casco.....	84
Figura 4-4 Cálculo da distancia longitudinal	85
Figura 4-5 Distâncias medidas	86
Figura 4-6 Cálculo das medidas.....	86
Figura 4-7 Exemplo de levantamento.....	87
Figura 4-8 Medição da área da pá	87
Figura 4-9 Medição do Passo.....	88
Figura 4-10 Características do Redutor.....	89
Figura 4-11 Tacômetro	91
Figura 4-12 Exemplo de Resistencias com variação de ω e t.....	92
Figura 4-13 Exemplo das curvas de resistencia ao avanço estimadas	93
Figura 4-14 Exemplo das curvas de Torques estimadas	94
Figura 5-1 Construção de diversos tamanhos.....	97
Figura 5-2 Comparação entre Comprimento e Deslocamento	98
Figura 5-3 Comparação entre Comprimento e Superfície Molhada	98
Figura 5-4 Comparação entre Comprimento e Boca.....	98
Figura 5-5 Comparativo entre a embarcação e o levantamento da geometria.....	99
Figura 5-6 Trajeto da Prova de Mar	101
Figura 5-7 Carregamento para Viagem.....	101
Figura 5-8 Variação de Calado para Viagem	102
Figura 5-9 Painel do Motor	102
Figura 5-10 Máxima leitura do GPS	103
Figura 5-11 Comparativo de KT	105
Figura 5-12 Máximo e Mínimo RT-casco	106
Figura 5-13 Resistências e Limites de ω e t.....	106

Figura 5-14 Comparativo de seção mestra	108
Figura 5-15 Torques do Motor e do hélice	110
Figura 6-1 Potências	112
Figura 6-2 Temperaturas na Prova de Mar	114
Figura 6-3 Tomadas de ar da embarcação	115
Figura 6-4 Mancais do Tubo Telecópico	117
Figura 6-5 Desgaste externo	118
Figura 6-6 Desgaste interno	118
Figura 6-7 Ensaio de desalinhamento	119
Figura 6-8 Motor desalinhado	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estruturas de Apoio	37
Tabela 2 - Produção por Método de Captura	38
Tabela 3 - Tempos de Viagens	48
Tabela 4 - Regime de Operação	50
Tabela 5 - Custo por Viagem.....	51
Tabela 6 - Campo de Validade do Método da FAO.....	61
Tabela 7 - Modelos avaliados para cada V/L½	61
Tabela 8 - Limites do Método de VAN OORTMERSEN.....	62
Tabela 9 - Limites da série Ridgeley-Nevitt.....	62
Tabela 10 - Limites do Método UBC	64
Tabela 11 - Variáveis do Método de Burril	71
Tabela 12 - Informações Coletadas	95
Tabela 13 - Coeficientes de Forma	96
Tabela 14 - Ângulo de Entrada e Clara do Hélice	97
Tabela 15 - Comparativo do Método	99
Tabela 16 - Características do Sistema Propulsivo	100
Tabela 17 - Resultados da Prova de Mar	103
Tabela 18 - Coeficientes ω e t calculados	104
Tabela 19 - Coeficientes w , t e eh	104
Tabela 20 - Coeficientes de Desempenho do hélice	105
Tabela 21 - Características dos cascos UBC e Pesca	108
Tabela 22 - Adimensional de área de balizas	108
Tabela 23 - Dados do Motor em Operação	109
Tabela 24 - Valores do Torque fornecido ao hélice	109
Tabela 25 - Potência fornecida ao hélice	110
Tabela 26 - Eficiências de Transmissão.....	110
Tabela 27 - Coeficiente Propulsivo.....	111
Tabela 28 - Comparativo das Provas de Mar	113
Tabela 29 - Perdas pelo desalinhamento	120
Tabela 30 - CEC Motor Atual	120
Tabela 31 - Novo Motor.....	121
Tabela 32 - CEC Novo Motor	121

Tabela 33 - Comparativo dos Custos de Operação	122
Tabela 34 - Custo Governamental	122

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AB	Arqueação Bruta
EC	Embarcações Certificadas
EC1	Embarcações Certificadas Classe 1
EC2	Embarcações Certificadas Classe 2
EM	Embarcação Miúda
EMBRAPA	Empresa Brasileiras de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Fome e Agricultura
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
IFES	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo
ITTC	International Towing Tank Conference
MARIN	Maritime Research Institute Netherlands
MEC	Ministério da Educação
MPA	Ministério da Pesca e Aquicultura
NORMAM	Normas da Autoridade Marítima
NPL	National Physical Laboratory
PIB	Produto Interno Bruto
PROZEE	Fundação de Amparo à Pesquisa de Recursos Vivos na Zona Economia Exclusiva
RGP	Registro Geral da Pesca
UBC	University British Columbia
UNESP	Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
USP	Universidade de São Paulo
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense "Darcy Ribeiro"
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

LISTA DE SÍMBOLOS

A_E/A_0	Relação entre a área da pá e área do disco
A_{SM}	Área da Seção Mestra
B	Boca
C_a	Coeficiente de Resistencia ao Atrito
C_b	Coeficiente de Bloco
CEC	Consumo específico de combustível
C_m	Coeficiente de Seção Mestra
C_p	Coeficiente Prismático
C_{pp}	Coeficiente Propulsivo
C_r	Coeficiente de Resistencia residual
C_t	Coeficiente de Resistencia Total
D_{e-r}	Distância do esquadro à regra
EHP	Potência Efetiva em hp
J	Coeficiente ao avanço
KQ	Coeficiente de Torque
KT	Coeficiente de Empuxo
L	Comprimento total
LCB	Posição Longitudinal do centro de flutuação
L_{wl}	Comprimento na Linha d'água
N	Rotação
N_{motor}	Rotação do motor
P/D	Relação passo e diâmetro
P_e	Potência Efetiva
Pot_{AP}	Potência absorvida pelo hélice
Pot_{FP}	Potência fornecida pelo hélice
Pot_{motor}	Potência do motor
Q	Torque
Q_0	Torque do hélice em agua aberta
Q_{motor}	Torque do motor
R_a	Resistencia de Atrito
Re	Número de Reynolds
R_r	Resistência Residual

R_T	Resistência ao avanço
R_{T-real}	Resistência ao avanço na prova de mar
S	Superfície molhada
t	Coeficiente de redução da força propulsora
T	Empuxo do hélice
T_{req}	Empuxo requerido pelo hélice
V	Velocidade
V_a	Velocidade de avanço
V_s	Velocidade de serviço
Z	Número de pás

$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}}$	Número de Taylor
$0,7r$	Medida correspondente a 70% do raio
Δ	Deslocamento
e_h	Eficiência do casco
e_{rr}	Eficiência relativa rotativa
h_e	Medida da altura do esquadro
$\delta_{superior}$	Coeficiente de referência da combinação do menor ω e maior t
$\delta_{inferior}$	Coeficiente de referência da combinação do maior ω e menor t
ρ	Densidade do fluido
μ	Viscosidade do fluido
λ	Relação de redução da caixa redutora
η_t	Eficiência de transmissão
η_h	Eficiência do propulsor
τ_c	Coeficiente de carregamento do hélice
t	Coeficiente de redução da força propulsora
$\sigma_{0,7r}$	Número de cavitação
ω	Coeficiente de esteira

SUMÁRIO

Capítulo 1 - Introdução	17
1.1. Generalidades	17
1.2. Objetivos do Trabalho	21
1.3. Organização do Trabalho	22
Capítulo 2 - Aspectos da Pesca no Mundo, no Brasil e no Espírito Santo.....	24
2.1. A classificação das embarcações de pesca e dos tipos de captura.....	28
2.2. O regime de operação das embarcações de pesca	34
2.3. As Embarcações de Pesca do Espírito Santo e seus Métodos de Captura .	34
2.4. Embarcações de pesca com espinhel no Espírito Santo	40
2.4.1. Característica da Instalação Propulsora	43
2.4.2. Regime de operação.....	48
2.4.3. Custos Operacionais.....	51
Capítulo 3 - Principais aspectos relacionados à análise e ao desempenho da instalação propulsora das embarcações	53
3.1. Resistência ao Avanço.....	56
3.2. O funcionamento e o desempenho de um propulsor	65
3.3. Motor principal e o seu desempenho	71
3.4. Integração Casco-Motor-Hélice.....	73
Capítulo 4 - Proposta de Procedimento para a avaliação e análise do desempenho propulsivo de embarcações de pesca	81
4.1. Levantamento das características da embarcação a ser analisada	84
4.1.1. Geometria do Casco.....	84
4.1.2. Geometria e desempenho do Hélice	87
4.1.3. Levantamento dos Motores e Redutores	89
4.1.4. Prova de Mar	90
4.2. Análise do Desempenho Propulsivo.....	91

4.2.1.	Estimativa da Resistência ao Avanço da embarcação em operação	92
4.2.2.	Eficiência do Sistema Propulsivo.....	93
Capítulo 5 -	Exemplo de aplicação do procedimento proposto.....	95
5.1.	Levantamentos das Embarcações	96
5.2.	Desempenho Propulsivo da embarcação.....	103
5.2.1.	Estimativa dos coeficientes ω e t	103
5.2.2.	Estimativa do desempenho do hélice	104
5.2.3.	Escolha do método de previsão da Resistencia ao Avanço e estimativa da Resistencia ao Avanço da embarcação em operação	105
5.2.4.	Estimativa do Desempenho Propulsivo.....	109
Capítulo 6 -	Análise dos Resultados	112
6.1.	Possíveis causas de perda de eficiência.....	113
6.1.1.	Temperatura do ambiente de operação.....	113
6.1.2.	Temperatura do liquido de arrefecimento	115
6.1.3.	Alinhamento do Eixo	117
6.2.	Análise econômica da melhoria do Desempenho Propulsivo.....	120
Capítulo 7 -	Conclusões.....	123
7.1.	Sugestão para Trabalhos Futuros	125
REFERÊNCIAS.....		126
APÊNDICE A – Resultados.....		131
APÊNDICE B – Comparativo de KT e KQ.....		132
ANEXO A – Método de Hayes e Engvall (1969)		135
ANEXO B – Método de Van Oortmerssen (1971)		137
ANEXO C – Método de Ridgeley-Nevitt (1956, 1963, 1967).....		139
ANEXO D – Método de Calisal e McGreer (1993)		141
ANEXO E – Cálculo de KT e KQ (B-Troost).....		142
ANEXO F – Cálculo de KT e KQ (Gawn)		146

ANEXO G – Cálculo de ω e t	149
---	-----

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Generalidades

A origem do pescado brasileiro é principalmente da pesca extrativa, sendo apenas uma pequena parcela oriunda da aquicultura. Esta captura é realizada por meio da pesca artesanal, por grupos de pescadores em pequenas embarcações, e industrial, por empresas com grandes embarcações (ASSUMPÇÃO; GIULIETTI, 1995).

A vantagem da pesca artesanal está no aproveitamento do pescado, já que tudo que é capturado é utilizado no repasse as unidades de processamento. Como a pesca industrial é direcionada a espécies-alvo, com maior valor comercial, pode ocorrer a predação das espécies que são descartadas após a pescaria por não ser o objetivo desta (ASSUMPÇÃO; GIULIETTI, 1995).

O uso de linha e anzol é uma das poucas artes de pesca que oferecem condições operacionais diversas podendo ser utilizadas em diversos tipos de relevo marinho. A comunidade pesqueira é favorecida por este tipo devido ao seu baixo custo operacional e alto valor das espécies capturadas com este método (MARTINS, et al., 2005).

Os pescadores do sul do Estado do Espírito Santo que capturavam inicialmente peixes demersais de talude mudaram para a pesca de atuns e afins, onde a pescaria é feita com linha e atraída principalmente devido ao alto valor de mercado da espécie. Esta mudança está associada a sobrepesca de algumas espécies e as alterações da migração de alguns cardumes devido ao surgimento das plataformas de petróleo, o que fez com que as embarcações navegassem distâncias maiores para alcançar estas regiões (MARTINS, et al., 2005).

Em 2002, esta frota no Espírito Santo representou importante parcela da pesca marítima, mobilizando cerca de 23% da frota pesqueira do Estado e 58% dos desembarques. É composta por barcos de madeira motorizados com comprimento variando de 8 a 18 metros e com autonomia de 20 dias (PROZEE, 2005). A frota que captura atuns e espécies semelhantes valorizadas no mercado, como o dourado, está localizada na região de Itaipava, no sul do litoral capixaba na cidade de Itapemirim e faz sua pescaria na região oceânica da Baía de Campos (MARTINS, et al., 2005).

A construção naval pesqueira no Brasil é feita principalmente utilizando-se madeira, inclusive no Estado do Espírito Santo, onde mais de 95% de toda a frota é construída com este material (PROZEE, 2005). Este tipo de construção teve seu início no país em 1549 quando um grupo de profissionais especializados, tais como mestres de construção, carpinteiros e calafetadores foram trazidos aos país por Tomé de Souza, então governador-geral do Brasil. Estes profissionais tiveram a função de iniciar as atividades do setor e ensinar aos portugueses e mestiços, que já habitavam no Brasil, a reparação e construção de embarcações em madeira (LINS, 2010)

O trabalho com madeira é semelhante em diversos pontos do Brasil. Uma das regiões com maior número de estaleiros de embarcações de madeira é a região norte do país devido a geografia e a necessidade de locomoção, o que aumentou a demanda de embarcações e serviços de manutenção (LINS, 2010). Estes estaleiros, no entanto, funcionam em sua maioria de maneira informal, como “empresas” familiares, com o conhecimento das técnicas adquirido dos antepassados. A quantidade de trabalhadores é mínima sendo empregadas mais pessoas, quando necessário, na forma de empreitada, ou seja, na realização de serviço específico. Realidade semelhante existe no Estado do Espírito Santo (PROZEE, 2005).

Um dos grandes problemas do setor pesqueiro em geral é a falta de mão de obra qualificada, tanto para a pesca quanto para a fabricação e construção de equipamentos e embarcações. Esta é formada de modo empírico e possui, em geral, baixa escolaridade. Este setor tem cultura própria, que muitas vezes conflita com o emprego de modernas tecnologias. Some-se a isso o fato de, muitas vezes, o Governo não interpretar adequadamente esta realidade, o que provoca um aumento da resistência destes profissionais em aceitar alguns dos programas governamentais, principalmente àqueles voltados ao desenvolvimento tecnológico e científico (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2000)

Além disto, no caso da construção de embarcações de pesca de pequeno porte, como sua inscrição nos órgãos fiscalizadores não exige a apresentação de documentação detalhada sobre a mesma (NORMAM-01, Marinha do Brasil, 2012) a maioria delas é construída sem um projeto prévio detalhado ou um acompanhamento técnico especializado. Muitos estaleiros acabam utilizando-se dessa facilidade para não contratar um engenheiro no desenvolvimento do projeto e acompanhamento da

construção. Em função disto a construção das embarcações baseia-se, em geral, apenas nos conhecimentos tácitos dos construtores artesanais, o que tende a não estimular avanços tecnológicos relacionados com a melhoria das condições de operação e desempenho das embarcações pesqueiras, conforme discutido em Menezes (2012). Um exemplo das condições típicas da construção destas embarcações está visível na foto da Figura 1-1, que mostra a precariedade das instalações e das técnicas de construção.

Figura 1-1 Precariedade das Construções Pesqueiras

Segundo Oliveira (2009), é comum na pesca artesanal no Brasil, os estaleiros e proprietários empregarem as mesmas embarcações para a pesca de diferentes espécies-alvo, que necessitam de diferentes métodos de captura, substituindo na embarcação apenas os petrechos de pesca. O autor cita como exemplo embarcações semelhantes construídas em Itajaí ou no Rio de Janeiro, para uso com diferentes métodos de captura, como espinhel e arrasto, nas quais são substituídos apenas os petrechos de pesca no convés da embarcação. Isto pode ser considerado como um indicativo de que não há preocupação com um projeto de embarcação específico que procure aumentar a eficiência de capturas que empregam diferentes métodos.

Por outro lado, no caso da produção pesqueira através da aquicultura, verifica-se que este setor, por ser mais formalmente organizado, vem conhecendo um desenvolvimento tecnológico mais acentuado uma vez que conta com o suporte de diversos centros de pesquisa espalhados pelo país que realizam estudos em todos os aspectos relevantes desta atividade tais como: projeto das instalações e seus

equipamentos; técnicas de criação e alimentação do pescado; técnicas de reprodução e melhoramento genético; etc. Dentre esses centros pode-se citar aqueles localizados na região sudeste do país, tais como: o Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), o Instituto de Pesca – SP, o Laboratório de Zootecnia e Nutrição Animal da Universidade Estadual do Norte Fluminense "Darcy Ribeiro" (UENF), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e os campi Alegre e Itapina do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

No caso da pesca extrativa embora existam no país centros dedicados a pesquisas sobre esta atividade, eles se concentram basicamente na formação de técnicos e engenheiros de pesca e em estudos focados no desenvolvimento de técnicas e de aparelhos de captura e também no estudo dos estoques pesqueiros marinhos. Não se desenvolve em tais centros estudos sistemáticos e específicos sobre as embarcações de pesca e seu desempenho. Exemplos importantes desses centros são: o Departamento de Pesca da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), o Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará (UFC), a Faculdade de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Pará (UFPA), o Centro de Referência em Pesca e Navegação Marítima do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) e o Campus Piúma do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

Finalmente, no caso do último estágio da cadeia produtiva, ou seja, a industrialização do pescado, ASSUMPÇÃO e GIULIETTI (1995) mostram que este setor no Brasil já emprega, em boa parte das empresas, tecnologias mais modernas de tratamento do pescado e produção de produtos derivados de maior valor agregado, já possibilitando até alguma exportação para mercado externo. Os mesmos autores preconizam que ainda há espaço relevante para o aumento da produção brasileira de forma competitiva, deste que este aumento não seja somente ligado à maior captura de peixes, mas, principalmente, relacionado à maior eficiência das embarcações e das técnicas de pesca, o que redundaria num aumento do volume pescado com redução, talvez expressiva, do custo operacional.

Segundo HAZIN (2007), a lucratividade e a renda dos pescadores de atum e afins no Brasil é influenciada fortemente pelos preços do mercado internacional

(entre eles preços do petróleo e de comercialização) pelo câmbio. Estes fatores têm dificultado a consolidação de uma frota nacional de pesca relevante.

Tais afirmações justificam plenamente o desenvolvimento de pesquisas e estudos científicos e tecnológicos relacionados à melhoria de desempenho das embarcações pesqueiras, tanto para novas embarcações quanto para aquelas já existentes no país.

Como resultado, tais tipos de estudos podem redundar tanto num aumento da produção da embarcação quanto numa redução de seu custo operacional, principalmente no que diz respeito ao consumo de combustível, que atualmente responde por quase 50% do total deste custo.

Neste sentido, o Governo Federal vem adotando medidas para melhorar produtividade e a lucratividade do setor e aumentar o avanço tecnológico das embarcações e equipamentos de pesca. Por exemplo, como medidas de curto prazo foram instituídos os Programas de Subvenção Econômica do Óleo Diesel e de Arrendamento de Embarcações Estrangeiras. Para resultados de longo prazo, foram lançados Editais de Incentivo a Pesquisa, Programas de financiamento à frota e às instalações em terra e Programas de incentivos e estímulos à construção naval e de terminais pesqueiros.

1.2. Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo principal propor um procedimento simples e robusto que permita a avaliação e análise do desempenho propulsivo das embarcações de pesca artesanal já existentes e operando na região sul do Espírito Santo. A finalidade da aplicação do procedimento é a identificação dos aspectos da instalação propulsora da embarcação que possam, eventualmente, estar contribuindo para a sua baixa eficiência. Com base nesta identificação serão estudadas e sugeridas possíveis alterações de baixo custo que possam melhorar seu desempenho e eficiência, visando principalmente a diminuição do consumo de combustível nas operações de pesca.

Além do procedimento em si, é também objetivo do trabalho apresentar técnicas simplificadas para o levantamento de informações essenciais para a

aplicação do procedimento relacionadas com: a geometria do casco; a instalação propulsora (hélice, motor, sistema de transmissão, refrigeração); o levantamento do desempenho em águas calmas da embarcação (prova de mar simplificada). Tais informações servirão como dados de entrada nos procedimentos e técnicas de análise empregados posteriormente para a análise computacional da eficiência propulsiva e das perdas de energia da instalação propulsora.

Como objetivos secundários o trabalho também apresentará:

- Um levantamento das características da frota pesqueira artesanal do Espírito Santo;
- A identificação dos tipos de embarcação responsáveis pela maior parte da produção pesqueira do Estado.

1.3. Organização do Trabalho

O trabalho está organizado em oito capítulos:

- No Capítulo 1 discute-se o problema de pesquisa e apresenta-se os objetivos do trabalho.

- No Capítulo 2 discute-se a importância da pesca no mundo e no Brasil e detalha-se suas condições na região do Espírito Santo. Apresenta-se dados de produção pesqueira elaborados pela FAO e pelo Ministério da Pesca e Aquicultura do Brasil (MPA) e ainda os diversos tipos de métodos de pesca e de embarcações envolvidas em cada um destes. Ainda neste capítulo, são discutidas e apresentadas as características das embarcações de pesca do Espírito Santo que serão posteriormente estudadas no trabalho. Informações como forma do casco, regime de operação e problemas da frota são detalhados.

- No Capítulo 3 discute-se os principais aspectos e conceitos associados à análise do desempenho do sistema propulsivo de embarcações.

- No Capítulo 4 apresenta-se o procedimento proposto para avaliação e análise do desempenho propulsivo das embarcações de pesca. Além disso, são apresentadas também as técnicas para levantamento das informações essenciais das embarcações.

- No Capítulo 5 apresenta-se um exemplo de aplicação do procedimento proposto em uma embarcação típica de pesca construída e operada no Espírito Santo
- No Capítulo 6 realiza-se a análise e discussão dos resultados obtidos com aplicação do procedimento à embarcação de pesca selecionada.
- No Capítulo 7 apresenta-se as conclusões do trabalho e sugestões e recomendações para futuros desenvolvimentos.

Capítulo 2 - Aspectos da Pesca no Mundo, no Brasil e no Espírito Santo

O aumento crescente da população mundial tem como contrapartida uma demanda cada vez maior por alimentos. A produção desta maior quantidade, por sua vez, exige tecnologias cada vez mais avançadas tendo em vista a limitação física que existente no planeta para esta produção.

Este aumento da demanda pode ser observado nos dados fornecido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (FAO, 2010) e pode ser visualizado na Figura 2-1.

Figura 2-1 Crescimento da População e Produção de Pescado

Pode-se dividir a utilização do pescado, de acordo com o seu uso, em: alimentar, para o consumo humano; e não alimentar, para empregado na produção de farinha de peixe, isca e ração para outros animais.

Na Figura 2-2 pode-se observar o crescimento da produção de pescado (FAO,2010) e seu uso cada vez maior para consumo humano.

Figura 2-2 Usos da Produção Pesqueira

No Brasil o cenário não é diferente. Há um aumento da produção de pescado, até em taxas superiores ao crescimento da população, e uma aplicação cada vez maior como alimento humano. A Figura 2-3 mostra estas evoluções.

Figura 2-3 Produção Brasileira de Pescado

Tanto no mundo quanto no Brasil, a produção pesqueira pode ser dividida basicamente em duas modalidades: a Aquicultura; e a Pesca Extrativa. Em 2010 a pesca extrativa representava aproximadamente 67% da produção total de pescado (FAO,2010). No entanto, segundo os mesmos dados, verifica-se a partir do ano de 2004 uma estagnação da parcela correspondente à Pesca Extrativa, indicando que as novas tecnologias de aquicultura começam a substituir a modalidade extrativa.

No Brasil, o PIB do setor pesqueiro representa aproximadamente 7% do PIB do Agronegócio (BRASIL, 2010). Segundo BRASIL (2010) a renda anual referente

ao PIB do setor pesqueiro é da ordem de R\$ 5 bilhões e tal atividade emprega aproximadamente 3,4 milhões de pessoas (BRASIL, 2010).

As atividades pesqueiras no Brasil se desenvolvem principalmente na Zona Economicamente Exclusiva de nosso mar territorial, conforme marcado em amarelo na Figura 2-4.

Figura 2-4 Zona Econômica Exclusiva do Brasil
Fonte: Ministério da Pesca e Aquicultura (2011)

Com uma costa de aproximadamente 460 km de extensão, o Espírito Santo participa desta atividade pesqueira com produção e industrialização distribuída em 14 municípios do Estado, conforme pode ser identificado na Figura 2-5. Nestes municípios o setor pesqueiro possui grande impacto na economia local, sendo responsável por cerca de 14.000 empregos (MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA (2011). Dentre os municípios litorâneos, Marataízes, Itapemirim, Piúma (localizados no Litoral Sul) e Conceição da Barra (litoral norte) têm na pesca sua principal fonte de emprego e renda (PROZEE, 2005).

Também, segundo Ministério da Pesca e Aquicultura (2011) o Estado do Espírito Santo encontra-se em 10º lugar na produção total de pescado no Brasil, fornecendo anualmente cerca de 14.000 toneladas.

Figura 2-5 Mapa do Espírito Santo
 Fonte: Governo do Estado Espírito Santo (2003)

O litoral sul (área verde da Figura 2-5) tem a maior concentração de pontos de desembarque de pescado (36 pontos), que representam metade dos existentes no Espírito Santo. Um dos motivos desta concentração está ligado ao fato que o Litoral Sul é atendido pela rodovia BR-101, uma das mais importantes do País (PROZEE, 2005).

Devido à esta concentração de locais de desembarque, estruturas de apoio a pesca acabaram se instalando nos mesmos municípios do litoral sul do Estado. Tais estruturas são, principalmente: estaleiros de construção e reparo de embarcações; fábricas de gelo; unidades de processamento/beneficiamento de pescado; oficinas de mecânica de motores; etc.

Já no Litoral Norte uma situação oposta ocorre. Diversos pontos de desembarque não possuem acesso por rodovia asfaltada e em alguns dos municípios não existem serviços básicos de manutenção de embarcações. Quando necessário, as mesmas são deslocadas ao Litoral Sul do Estado ou à Bahia para reparo e manutenção (PROZEE, 2005).

2.1. A classificação das embarcações de pesca e dos tipos de captura

O Governo Federal através da Lei 11.959 de 2009 (BRASIL, 2009), define a embarcação de pesca como aquela que é autorizada e registrada perante as autoridades competentes e opera com exclusividade na pesca, na aquicultura, na conservação do pescado, no seu processamento e transporte ou na pesquisa de recursos pesqueiros. A mesma lei define ainda o porte das embarcações classificando-as como: de pequeno porte, quando possui arqueação bruta (AB)¹ igual ou menor do que 20; de médio porte, quando possui AB entre 20 e 100; e de grande porte, quando possui AB maior ou igual 100.

Ainda segundo esta lei existem duas naturezas de pesca: a comercial e a não comercial. A comercial, como o próprio nome diz, é aquele tem o comércio como objetivo. Ela pode ocorrer em duas formas: (1) artesanal, quando praticada diretamente por pescador profissional, de forma autônoma ou em regime de economia familiar, com meios de produção próprios ou mediante contrato de parceria; (2) industrial, quando praticada por pessoa física ou jurídica e envolver pescadores profissionais, empregados ou em regime de parceria por cotas-partes.

Já as não comerciais podem ser subdivididas em: (1) científica, quando utilizada para pesquisas; (2) amadoras, para a pratica desportiva; (3) de subsistência, quando praticada para fins de consumo doméstico ou escambo (BRASIL, 2009).

Por outro lado, segundo a Marinha do Brasil, toda embarcação de carga destinada à captura dos seres vivos, que tenham nas águas seu meio natural ou mais frequente de vida, é definida como embarcação de pesca (MARINHA DO BRASIL, 2012). Do ponto de vista da Marinha as embarcações em geral podem ser denominadas ou como Embarcações Classificadas, ou como Embarcações Certificadas (EC). As Embarcações Classificadas são aquelas que recebem certificação das Sociedades Classificadoras. As Embarcações Certificadas são aquelas classificadas pela Marinha. Existem três tipos de classificação: as embarcações EC1, que são aquelas com AB maior do que 50; as embarcações EC2, que são aquelas com AB inferior a 50; e as embarcações miúdas (EM), que são aquelas com comprimento menor ou igual a cinco metros. Em alguns casos, as

¹ Arqueação Bruta é uma medida adimensional relacionado ao volume interno de uma embarcação.

embarcações com comprimento inferior a oito metros podem também ser classificadas como Miúda desde que: apresentem convés aberto ou convés fechado, mas sem cabine habitável; não apresentem propulsão mecânica fixa; ou que utilizem motor de popa com potência inferior a 30 HP.

No caso das embarcações de pesca, diferentemente do Governo Federal, a Marinha do Brasil as distingue apenas pelo seu porte, não considerando as formas de contratação existentes entre tripulação e armador.

As embarcações de pesca, além da função de transportar a carga é responsável também pela localização e captura do pescado no oceano. Características como o tamanho, layout de convés, capacidade de transporte, alojamento, máquinas e equipamentos são dimensionadas de acordo com o tipo de pescaria a ser realizada, em outras palavras, seu objetivo. Este objetivo está relacionado com a espécie alvo, o que determina os equipamentos que serão utilizados para a sua captura, chamados de petrechos de pesca.

As embarcações de pesca podem também ser classificadas de acordo com a norma “International Standard Statistical Classification of Fishery Vessels (ISSCFV) by GRT Categories” (FAO, 2002). Segundo esta norma, as embarcações podem ser classificadas de acordo com o método de captura empregado em: Arrasto; Cerco; Emalhe; Armadilha; Aparelhos de Anzol (linha/vara e espinhel); e Multipetrecho. Entende-se por Método de Pesca ou Captura o processo pelo qual é feita a captura/extração dos recursos pesqueiros, considerando os equipamentos e petrechos utilizados (PROZEE, 2005).

O arrasto é feito com redes em forma de cone utilizadas na pesca de fundo ou de profundidade média. As embarcações de arrasto são aquelas que fazem a captura do pescado lançando uma rede e a arrastando em velocidade adequada. Este arrasto pode acontecer na superfície da água assim como em profundidades maiores, dependendo da espécie alvo. De acordo com a área onde operam e da rede que utilizam as embarcações podem ter diversos tamanhos, configurações de convés (quando possuir) e potência instalada (FAO, 2002).

Assim, o tipo de lançamento de rede vai definir a configuração do convés e da estrutura da embarcação, conforme indicado na Figura 2-6. O lançamento da rede

de arrasto pode ser feito pela borda ou pela popa. Quando feito pela borda pode ser no costado ou auxiliado por uma estrutura chamada “tangone”, semelhante a um braço de guindaste que é lançado pelo través; quando feito pela popa o lançamento ocorre a ré, com os equipamentos posicionados de modo a facilitar o recolhimento da rede. O arrasto pode ser feito de forma simples, com apenas uma embarcação, ou em dupla, com duas embarcações arrastando a mesma rede, mais conhecido como Arrasto de Parelha, conforme indicado na Figura 2-7.

Figura 2-6 Diferentes Embarcações de Arrasto
Fonte: FAO (2002)

Figura 2-7 Arrasto de Parelha
Fonte: FAO (2002)

A técnica da rede de cerco é diferente das técnicas de arrasto. Neste tipo de pesca a embarcação circunda o cardume com uma rede e depois a embarca com as diversas espécies presentes neste cardume, conforme indicado na Figura 2-8. Embarcações de Cerco são normalmente utilizados para pegar espécies pelágicas (grandes cardumes e vivem na camada superficial do mar), mas existem aplicações

especiais que visam espécies demersais (peixes que habitam as profundezas) (FAO, 2002).

As embarcações de cerco podem variar de pequenas embarcações com convés aberto até navios oceânicos. O arranjo do convés também pode aparecer de diversas formas. Normalmente possui uma superestrutura (a vante ou a ré) com comprimento inferior a metade do comprimento do convés sendo o restante do mesmo liberado com área de trabalho (FAO, 2002). O carregamento da rede a bordo pode ser feito através de equipamentos, como nas embarcações maiores, ou à mão pelos pescadores.

Figura 2-8 Pesca com Rede de Cerco
Fonte: FAO (2002)

A rede de emalhar, diferentemente das anteriores, captura o peixe nas malhas da rede, ou seja, os peixes ficam presos entre as linhas que formam os “retângulos” de rede ao se movimentarem dentro destes. São aparelhos relativamente simples e que na sua forma básica apresentam numa extremidade retângulos de rede com flutuadores (tralha de boias) e na outra um cabo inferior com pesos (tralha de chumbos) (LINS, 2011).

A pesca com rede de emalhe pode ser realizada tanto em barcos de pequeno porte, com convés aberto, como também em barcos de grande porte que operam em alto-mar. Em águas costeiras, a pesca com emalhe é também utilizado como um segundo método de captura, de acordo com a temporada de pesca e as espécies-alvo. Como a maioria dos barcos envolvidos são pequenos e como eles provavelmente utilizam mais de um tipo de arte, existem consideráveis limitações de layout e de equipamento de convés. (FAO, 2002).

A pesca com armadilha utiliza petrechos com isca que encorajem a entrada dos animais nas mesmas, porém dificulte ou impeça sua saída (LINS, 2001). Os petrechos mais utilizados são o Manzuá e o Covo, como mostrado na Figura 2-9.

Figura 2-9 Exemplo de Armadilha – Covo
Fonte: FAO (2002)

As embarcações empregadas na pesca com armadilha podem ser desde pequenas embarcações até as com comprimento entre 20 e 50 metros, conforme ilustrado na Figura 2-10. (FAO, 2002).

Figura 2-10 Embarcações que utilizam Armadilha
Fonte: FAO (2002)

Os métodos que utilizam aparelhos com anzol são basicamente os métodos com linha e vara e o espinhel. A linha e vara está presente em quase todas as embarcações, diferentemente do espinhel que, muitas vezes, depende de um aparato específico como o guincho.

Na pescaria com linha/vara as linhas são lançadas no sentido vertical, com comprimento variável em função da espécie a ser capturada e da profundidade local. Geralmente as linhas são de nylon monofilamento e possuem um ou mais anzóis na

sua ponta. Os petrechos empregados neste tipo de pesca são conhecidos como: linha de corso; linha de mão; linha de fundo; e linha de superfície. Pode utilizar-se de caniço ou vara neste tipo pescaria (FAO, 2002). As embarcações que operam unicamente com este método são, em sua maioria, pequenos botes ou canoas com convés aberto. No Brasil, além das pequenas embarcações, a maioria das outras estão autorizadas a pescar com linha como forma alternativa de seus métodos de captura.

Outro método que utiliza anzol e linha é o espinhel, conforme mostrado na Figura 2-11. Este petrecho consiste em uma linha principal com várias linhas secundárias conectadas a ela, contendo anzóis e distorcedores. As variações deste tipo de petrecho são conhecidas como: espinhel de fundo; espinhel de superfície; espinhel flutuante; pargueira; e "long-line", que pode ter uma linha principal de até 20 milhas de comprimento (FAO, 2002).

Figura 2-11 Pesca com Espinhel
Reproduzido de UNIVALI(2013)

O espinhel pode ser lançado à mão ou de forma mecanizada, através de guinchos. Quando o espinhel é de mão, pode ser utilizado em barcos de todos os tamanhos, mas quando se tem um número maior de anzóis e um grande comprimento da linha principal é necessário uma embarcação de maior tamanho e um grau de mecanização e qualificação da mão de obra específicos. Quase toda embarcação pode operar um espinhel em alguma medida mas, no entanto, há algumas que se especializaram e se dedicam à pesca de espécies únicas, como as de atum. Em arranjos típicos, o guincho para lançamento está localizado na proa fazendo o lançando através da popa pela borda. O mesmo guincho faz o recolhimento do material (FAO, 2002).

Existem ainda as embarcações que utilizam mais de um tipo de método de captura e são classificadas como Multipetrecho. Estão equipadas para o uso

alternativo de dois ou mais petrechos de pesca diferentes, sem grandes modificações na estrutura da embarcação, mas apenas no arranjo de seu convés. Esta combinação exige um planejamento para o rearranjo do convés, com antecedência suficiente para realização da pescaria (FAO, 2002).

2.2. O regime de operação das embarcações de pesca

De forma geral, o regime de operação das embarcações pode ser dividido em três etapas. A primeira etapa representa o deslocamento da embarcação até o pesqueiro, a segunda está associada ao tempo de pesca propriamente dito e a terceira refere-se ao tempo de retorno ao porto de desembarque, conforme apresentado na Figura 2-12.

Segundo a FAO (2012), as etapas em que as embarcações apresentam o maior consumo de combustível são a primeira e terceira, que são justamente aquelas que representam os momentos em que as embarcações estão se deslocando. A única exceção são as embarcações de arrasto, que consomem mais combustível durante a pesca propriamente dita.

Figura 2-12 Gasto de Combustível em Viagem
Adaptado de FAO (2012)

Este assunto do regime de operação será retomado mais adiante quando se discutir a operação das embarcações de pesca do Espírito Santo.

2.3. As Embarcações de Pesca do Espírito Santo e seus Métodos de Captura

Devido a extensão da ZEE (Zona Econômica Exclusiva) e da grande diversidade dos recursos pesqueiros, diversos métodos de captura de pescado são

adotados no Brasil. Cada método exige um tipo específico de embarcação devido à forma geométrica do petrecho, seu peso e forma de uso. No Espírito Santo os métodos de captura se adaptam aos recursos pesqueiros encontrados na região e consequentemente as embarcações se adaptam as artes de pesca (métodos de pesca ou captura) utilizadas. Para auxiliar na caracterização das embarcações capixabas utilizou-se as informações do Registro Geral de Atividades Pesqueiras (RGP) e da Estatística da Pesca do Estado do Espírito Santo, ambas fornecidas pelo Ministério da Pesca para o ano de 2012.

Quanto as embarcações de pesca, segundo dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (2013), existem atualmente, no Espírito Santo, 2166 embarcações cadastradas no RGP. Neste registro é possível encontrar dados de comprimento total, arqueação, tripulação, métodos de pesca, entre outros. Para facilitar o entendimento serão adotadas as Normas da Autoridade Marítima (NORMAM) para a classificação das embarcações.

Quanto ao comprimento a maioria das embarcações encontradas são classificadas como miúdas (comprimento menor que oito metros), totalizando 1.137 embarcações. Apesar de apresentar-se em um número significativamente menor as embarcações maiores que dez metros têm grande participação na economia pesqueira do Espírito Santo devido a sua capacidade de carga. A Figura 2-13 mostra a quantidade de embarcações por faixa de comprimento no ano de 2012.

Figura 2-13 Quantitativo de Embarcações no Estado

Analisando-se os dados do ano de construção das embarcações, a idade média da frota, encontrada em 2012, é de 10 anos. Verifica-se também nos registros que o auge da construção naval pesqueira no Espírito Santo ocorreu entre os anos de 1999 e 2002, conforme mostrado na Figura 2-14.

Figura 2-14 Idade da Frota do Espírito Santo

Quanto ao número de tripulantes, a frota do Espírito Santo consegue embarcar aproximadamente 9.856 pescadores. Apesar da quantidade de embarcações miúdas ser superior às demais, a maioria dos pescadores embarcam naquelas de comprimento superior a 9 metros, que concentram aproximadamente 60,5 % dos tripulantes, conforme pode ser visto na Figura 2-15. Com base nos dados desta figura pode-se concluir também que a maior parte da renda dos pescadores é gerada nas atividades com as maiores embarcações (que empregam em média 7 tripulantes) quando comparadas com a renda gerada pelas embarcações miúdas (que empregam em média 3 tripulantes).

Figura 2-15 Tripulantes na Frota Pesqueira

A frota concentra-se principalmente no o sul do Estado, com destaque para o município de Marataízes que tem cadastradas 417 embarcações pesqueiras, se constituindo a cidade com maior número de embarcações, conforme mostrado na Figura 2-16.

Figura 2-16 Distribuição de Embarcações por Cidades

Segundo estudo do MPA (PROZEE, 2005), este desenvolvimento da região sul do Estado está associado à sua proximidade com grandes centros consumidores (Rio de Janeiro e São Paulo) e à facilidade de acesso a estes pontos e aos pontos de escoamento da produção, que se dá principalmente através da rodovia BR-101. Como consequência, o sul do Estado concentra também o maior número de estruturas de apoio às embarcações tais como estaleiros, carpintarias, serviços de calafetagem, manutenção de motores, entre outros, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Estruturas de Apoio

	Cidades	Estaleiros	Serviço de Carpintaria	Outros
Sul	Marataízes	4	8	8
	Itapemirim	1	1	2
	Anchieta	1	0	5
	Piúma	2	1	2
Centro	Guarapari	0	0	2
	Vitória	2	1	4
	Vila	1	0	7
	Serra	0	0	1
Norte	Aracruz	2	2	2
	Linhares	0	4	4
	Total	13	17	37

Fonte: PROZEE (2005)

A Tabela 2 mostra a participação de cada método de captura no total da produção pesqueira extrativa do Estado. Dentre os métodos, o espinhel é aquele que fornece a maior produção pesqueira, sendo responsável por aproximadamente 29% do total capturado. Em seguida aparecem os métodos de rede de arrasto e da linha (HOSTIM-SILVA, et al., 2013).

Tabela 2 - Produção por Método de Captura
 PRODUÇÃO PESCA EXTRATIVA
 ESPÍRITO SANTO - 2011

Método Captura	Total (kg)
Armadilha	280.790
Espinhel	3.617.871
Linha	2.994.460
Rede de arrasto	3.497.194
Rede de emalhar	784.116
Rede de cerco	108.290
Multipetrecho	1.066.431
TOTAL	12.349.152

Fonte: HOSTIM-SILVA et al (2013)

Como no Brasil as embarcações podem possuir licença para empregar mais de um método de captura, verifica-se a linha é o método secundário mais empregado nas embarcações. No total, 43% da frota (936 embarcações) utilizam este método associado com algum outro método principal, e apenas 173 empregam apenas a linha como método de captura. Como pode ser inferido da tabela, a pesca com linha representa aproximadamente 24% da produção do Estado.

Desta forma, pode se considerar que as embarcações que empregam o espinhel como método principal de captura contribuem, na realidade, com mais de 29% da produção pois, a este total, deve ser acrescentado a produção capturada através dos métodos de linha.

A Figura 2-17 mostra a evolução da quantidade deste tipo de embarcação construída no Estado a partir da década de 50. Pode-se observar que a construção de embarcações com espinhel teve dois picos representativos ao longo deste período, um deles durante os anos 80 e outro em torno do ano 2000. Neste último, a quantidade construída representa cerca de 43% da frota atual de embarcações de espinhel do Espírito Santo.

Figura 2-17 Idade da Frota de espinhel

As embarcações de espinhel são as maiores embarcações de pesca do Estado. Isto se deve, principalmente, ao tamanho dos equipamentos e petrechos envolvidos neste tipo de pesca e à localização dos pescadores em regiões distantes da costa (mar aberto).

Os comprimentos típicos e quantidade existente de embarcações nas diferentes faixas de tamanho estão mostrados na Figura 2-18, elaborada com dados obtidos de Ministério da Pesca e Aquicultura (2013). A maior parte delas (aproximadamente 57%) tem comprimento superior a 10 metros. Apenas 29% são embarcações miúdas.

Figura 2-18 Comprimento das embarcações de espinhel

A Figura 2-19 mostra fotos de uma embarcação típica de espinhel e de seu guincho de lançamento das linhas.

Figura 2-19 Embarcação típica com Espinhel

Tendo em vista a importância da embarcação de espinhel na pesca extrativa do Espírito Santo, esta será embarcação de referência que será empregada neste trabalho como base para o desenvolvimento do procedimento a ser proposto para a avaliação do desempenho propulsivo das embarcações de pesca. Este mesmo tipo de embarcação será utilizado posteriormente para a aplicação e validação deste procedimento.

2.4. Embarcações de pesca com espinhel no Espírito Santo

Conforme detalhado anteriormente, as embarcações de pesca com espinhel têm considerável participação na produção pesqueira do Estado. Esta produção pode ser majoritariamente atribuída, principalmente, àquelas com comprimento superior a 10 metros pois representam a maior parte desta frota. Além disso, por possuírem convés fechado e casaria, tem maior capacidade de carga e realizam viagens em mar aberto, onde se localizam as espécies de maior valor agregado, como o atum.

Também como já comentado anteriormente estas embarcações não possuem projeto e documentação detalhada de sua geometria, arranjo, especificação de estruturas e instalação propulsora e de seu desempenho em aspectos relacionados a estabilidade, resistência ao avanço ou comportamento no mar. Isto ocorre, entre outros fatores, porque tais embarcações se enquadram normalmente numa classificação na qual não é obrigatória a apresentação destas informações. Apenas recentemente a obrigatoriedade de apresentação de algumas informações tais como,

uma planta de arranjo geral e um sucinto memorial descritivo, passou a ser exigida para as maiores embarcações (Arqueação Bruta AB maior do que 50). Entretanto, mesmo assim, não se encontram entre essas informações maiores detalhes sobre geometria e as outras características da embarcação.

Uma evidencia da ausência de um projeto detalhado destas embarcações está ilustrado nas fotos mostradas nas Figuras Figura 2-20 e Figura 2-21. Estas fotos mostram a técnica rudimentar, que emprega modelos da embarcação, para traçar sobre placas de madeira, o gabarito que posteriormente será empregado na fabricação dos elementos estruturais, tais como cavernas, quilhas, etc. A outra foto mostra um funcionário de estaleiro realizando montagens estruturais sem nenhuma planta de construção para orientá-lo.

Figura 2-20 Modelo de Construção

Figura 2-21 Montagem das peças estruturais

Outra evidencia importante desta falta de preocupação com as informações referentes as embarcações é a pratica comum, pelos estaleiros e proprietários, de

executarem alterações no casco da embarcação sem uma correspondente análise prévia sobre a exequibilidade, a segurança e o desempenho destas embarcações. A seguir mostra-se um exemplo destas alterações em uma embarcação de pesca com espinhel, que estavam sendo executadas num dos estaleiros visitados durante a elaboração deste trabalho.

A embarcação estava sendo modificada com a finalidade de aumentar seu espaço de carga e a capacidade de armazenamento de iscas vivas. Para isso são adaptadas na embarcação tanques chamados de “tina” que, para a sua implantação, exige alterações tanto na estrutura quanto no arranjo geral da embarcação.

A Figura 2-22 mostra um exemplo desta tina externa adaptada numa embarcação de espinhel.

Figura 2-22 Embarcação com Tina Externa

O aumento do tamanho da embarcação está associado ao elevado custo operacional das embarcações. Os armadores buscam aumentar o tamanho das tinas, dos porões para pescado e da capacidade de carga da embarcação, para permitir um maior tempo de pesca sem a necessidade de retorno ao porto para reabastecimento, que normalmente estão localizados a distancias grandes do local de pesca.

Para obtenção destes acréscimos de capacidade, as alterações tipicamente realizadas são o aumento do comprimento das embarcações. Estas alterações são normalmente realizadas em embarcações maiores que 12 metros.

A Figura 2-23 mostra estas alterações sendo realizadas na região da seção mestra de uma embarcação típica de pesca por espinhel. Neste caso, o aumento realizado foi de um valor situado entre 3 e 4 metros.

Figura 2-23 Ampliação de Embarcação

Tendo em vista as condições tecnológicas encontradas atualmente na construção de embarcações artesanais, a obtenção de informações mais detalhadas e essenciais para análise e avaliação do desempenho destas embarcações deve ser realizada caso a caso, durante a docagem da embarcação para limpeza e reparo. As técnicas para isso devem ser necessariamente simples e robustas para poderem ser aplicadas nas condições acima descritas e ainda fornecer dados suficientemente precisos para essas análises.

2.4.1. Característica da Instalação Propulsora

A instalação propulsora das embarcações de pesca é normalmente bastante convencional sendo composta por: motor principal; sistema de redução e

transmissão; hélice. O desempenho propulsivo desse sistema está associado não só ao desempenho individual de cada componente, mas também à interação entre eles e entre eles e o casco da embarcação Lewis (1988).

Para as embarcações de pesca artesanal, a escolha dos componentes do sistema propulsivo também é normalmente realizada sem estudos e projetos detalhados de sua instalação e desempenho. Para um dado porte da embarcação a definição do sistema normalmente se inicia com a escolha do motor, que é feita com base apenas no conhecimento empírico e no histórico de aquisição de motores na região. Comumente são comprados motores semelhantes aos que já operam em outras embarcações.

A Figura 2-24 apresenta uma foto ilustrativa de um motor típico utilizado em embarcações de pesca com espinhel.

Figura 2-24 Exemplo de motor utilizado em embarcações de espinhel

Além do registro das embarcações, no RGP encontra-se também o cadastro dos seus motores e respectivas potências instaladas. Os motores das embarcações de pesca com espinhel têm, em sua maioria, potência variando entre 115 e 160 hp. Para embarcações de maior porte esta potência pode chegar a valores variando entre 180 e 290 hp. A Figura 2-25 mostra a potência típica dos motores instalados nas embarcações de pesca com espinhel em função dos comprimentos destas embarcações. Observa-se nesta figura que motores de mesma potência são empregados em embarcações de diferentes comprimentos e, também, que para um mesmo comprimento existem casos em que a potência instalada varia de 100 a 230

hp. Essa situação também pode ser um indicativo de que a seleção dos motores não segue um procedimento racional de engenharia.

Figura 2-25 Potência Instalada no RGP

Com base em conversas informais tidas com os responsáveis pelos estaleiros visitados durante a elaboração deste trabalho, situados nas cidades de Piúma e Marataízes no Espírito, obteve-se a informação de que a maioria dos motores é composta de motores marinizados com 6 cilindros, devido ao menor custo de aquisição destes motores, embora os mesmos apresentem um consumo mais elevado de combustível do que os motores marítimos.

Quanto ao redutor, com base nas mesmas, constatou-se também que normalmente a especificação do tipo de redutor e de sua relação de redução é deixada a cargo do revendedor do motor. Essa especificação normalmente se baseia na experiência passada e não leva em consideração a especificação do hélice que é, em geral, o último item da instalação propulsora adquirido pelo proprietário. Normalmente os redutores empregados têm relação de redução variando de 3 a 4:1.

Através das mesmas conversas, verificou-se também que os hélices são selecionados de acordo com a potência do motor adquirido. Muitas vezes, na tentativa de melhorar o desempenho da instalação propulsora ou devido às alterações que realizam em suas embarcações, os proprietários substituem os hélices originalmente escolhidos por outros com características distintas. A Figura 2-26 mostra, por exemplo, dois hélices com características bem distintas instalados em embarcações que possuem dimensões semelhantes, evidenciando possivelmente a falta de critérios racionais para a seleção do propulsor. A seleção feita pelos armadores se baseia

normalmente em instalações já existentes em outras embarcações semelhantes ou então na recomendação de representantes comerciais de fabricantes de hélices.

Figura 2-26 Hélices de embarcações semelhantes

Quanto à instalação do conjunto propulsor, os relatos obtidos indicam também que ela é feita empregando-se técnicas bastante rudimentares, como por exemplo, o uso de barbantes para determinar o alinhamento do tubo telescópico com a saída do eixo do motor. Após a instalação do motor e dos mancais do eixo, não é realizada uma verificação do alinhamento resultante, antes da instalação do eixo.

Da mesma forma verificou-se a precariedade do sistema de arrefecimento instalado nas embarcações. Estes sistemas, constituídos por reservatório de água doce e serpentina de troca de calor instaladas na parte inferior do casco, são fabricados pelos próprios construtores e possuem dimensões praticamente idênticas independente da potência do motor instalada. Esta prática pode ocasionar o arrefecimento inadequado do sistema. A Figura 2-27 mostra um exemplo desta serpentina instalada na parte inferior do casco de uma embarcação de pesca, que está destacada em vermelho na foto.

Figura 2-27 Adaptação para Refrigeração

Nas embarcações com convés fechado a circulação de ar no interior da praça de máquinas é feita através de tubulões com admissão de ar instalada no teto da casaria. Esta ventilação é normalmente natural, não se empregando nenhum meio mecânico para auxiliar na circulação de ar. A Figura 2-28 mostra as tomadas de ar típicas destas embarcações.

Figura 2-28 Entrada de ar da Praça de Máquinas

O dimensionamento desta ventilação normalmente não é feito com base em estudos técnicos considerando a potência do motor, o tamanho da praça de máquina e a temperatura em seu interior.

Estes processos empíricos verificados na seleção dos componentes das instalações propulsoras e na sua instalação, aliado à falta de um processo racional de dimensionamento dos sistemas auxiliares, como o de arrefecimento e de ventilação, podem ter impacto decisivo na eficiência da instalação e no consumo de combustível associado.

2.4.2. Regime de operação

A pesca realizada pelas embarcações de espinhel ocorre principalmente na região entre as latitudes 14° e 27° S, predominantemente nas regiões do Mar Novo, Bacia de Campos e Abrolhos (STEIN,2006). MARTINS et al (2005) apresentam a região onde há a maior concentração de trabalho desta frota, que está representada pelo polígono traçado na Figura 2-29. Esta região encontra-se a uma distância média de 248 km do porto de desembarque (Itaipava).

Figura 2-29 Região dos Pesqueiros
Reproduzido de Martins (2005)

STEIN (2006) monitorou o desembarque de pescado destas embarcações e estimou os tempos médios gastos nas viagens. A Tabela 3 mostra estes tempos médios para cada tipo de método de captura.

Tabela 3 - Tempos de Viagens				
Características	Espinhel de Superfície	Espinhel de meia-água	Espinhel de Fundo	Média (entre Grupos)
Tempo de Viagem (dias)	13 ± 1,09	15 ± 0,7	13 ± 1,71	13,99
Dias Efetivos de Pesca	11 ± 0,96	8 ± 0,62	11 ± 2,59	10,48

Fonte: Stein (2006)

Verifica-se nestes dados que o regime de operação encontrado assemelha-se com aquele mostrado na Figura 2-12.

Com base na Tabela 3 pode-se determinar o tempo gasto no deslocamento das embarcações subtraindo-se do tempo total de viagem os dias efetivos de pesca. O tempo médio gasto no deslocamento até o pesqueiro é de aproximadamente 1,75 dias.

No caso da pesca de espinhel o detalhamento do seu regime de operação, apresentado em FAO (2012), mostra as atividades intermediárias existentes durante a etapa de pescaria e também fornece um indicativo da ordem de grandeza relativa do consumo de combustível em cada etapa e atividade. Este detalhamento está representado na Figura 2-30 a seguir.

Figura 2-30 Consumo de Combustível com Espinhel
Fonte: adaptado de FAO (2012)

A descrição das atividades apresentadas na Figura 2-30 é apresentada no trabalho desenvolvido por STEIN (2006), e que está resumida a seguir.

A operação começa com o deslocamento da embarcação até a área do pesqueiro. Inicia-se então a preparação do equipamento que, devido ao comportamento da espécie-alvo, ocorre normalmente ao entardecer.

Em seguida, realiza-se o lançamento do espinhel, operação que se dá normalmente em horário noturno e com a embarcação se deslocando com uma velocidade média de aproximadamente 4 nós. O tempo médio gasto nesse lançamento é da ordem de 1 hora.

Após o lançamento do espinhel, vem o momento de espera para captura, que dura em média de 6 a 8 horas, que é o tempo estimado para o peixe morder a isca. É neste momento de espera, com a embarcação parada e com os motores funcionando em regime suficiente apenas para manter a carga das baterias, que eventualmente se inicia a pesca com linha

Em seguida ocorre o recolhimento do espinhel, que se dá com a embarcação operando com velocidade entre 3 e 5 nós, para que se possa simultaneamente recolher o peixe e a linha secundária e organizá-la para o próximo lançamento. Como consequência o tempo gasto nesta etapa é, em média, 2 horas maior do que o tempo gasto no lançamento.

A Tabela 4 a seguir mostra um resumo das médias típicas de tempo gasto nas diversas etapas da viagem e da velocidade média da embarcação.

Tabela 4 - Regime de Operação	
Viagem	
Duração	3,58 dias
Velocidade	6 a 8 nós
Operação	
Tempo total diário	16 horas
Veloc. de Lançamento	2 a 6 nós
Tempo de Lançamento	1 horas
Tempo de Espera	6 a 8 horas
Veloc. De Recolhimento	3 a 5 nós
Tempo de Recolhimento	2 horas
Fonte: STEIN (2006)	

Com base na Tabela 4 e na Figura 2-30 elaborou-se a Figura 2-31 que resume as características da operação em cada etapa relacionando-as com a ordem de grandeza do consumo de combustível.

Figura 2-31 Consumo e Operação
Fonte: adaptado FAO (2012)

2.4.3. Custos Operacionais

Os custos envolvidos na pesca podem ser divididos em cinco categorias: Óleo combustível, rancho, gelo, isca e água. Menezes (2012) levantou estes custos para as embarcações de pesca de espinhel do sul do Espírito Santo considerando uma viagem típica de 13 dias. Estes resultados estão resumidos na Tabela 5 e na Figura 2-32.

Grupo	Custo Total (R\$)	Custo/dia (R\$)	% Custo
Gelo	809,49	62,27	11%
Óleo Comb. (R\$ 2,29/L)	3.759,95	289,23	53%
Rancho	1.597,28	122,87	22%
Isca	897,72	69,06	12%
Água	49,70	3,82	1%
Total	7.114,13		

Fonte: adaptado de Menezes (2012)

Figura 2-32 Percentuais do Custo de Viagem

Verifica-se nestes resultados que o gasto com combustível é a principal parcela do custo operacional destas embarcações, representando aproximadamente 53% do custo total de viagem.

Este dado indica que iniciativas para melhorar a eficiência da instalação propulsora destas embarcações podem ter um impacto importante na lucratividade da pesca e na renda de seus trabalhadores.

Tal impacto, associado às limitações tecnológicas constatadas nos estaleiros, no que diz respeito ao projeto do casco, construção, seleção de motores e hélices e na instalação destes equipamentos, justifica plenamente um estudo e o desenvolvimento de um procedimento simplificado e robusto para a análise e avaliação do desempenho propulsivo das embarcações, de forma a permitir a indicação de sugestões de baixo custo que redundem numa redução do custo operacional das mesmas.

Capítulo 3 - Principais aspectos relacionados à análise e ao desempenho da instalação propulsora das embarcações

A instalação propulsora das embarcações é responsável por fornecer a energia necessária movê-la com uma dada velocidade ou permitir que a mesma realize atividades específicas envolvendo, por exemplo, arrasto ou reboque (Harvald, 1983 e Lewis, 1988).

Conforme já comentado nos capítulos anteriores, a instalação propulsora de uma embarcação é constituída pelos seguintes elementos fundamentais: motor, sistema de transmissão; e hélice. A praça de máquinas possui, além destes elementos, outros equipamentos e sistemas auxiliares que realizam funções de suporte à propulsão e à embarcação sem, no entanto, estarem diretamente ligadas à função de propulsão.

O motor é responsável pela geração do torque e acionará o eixo de transmissão numa dada rotação, de forma que o hélice possa funcionar adequadamente e fornecer o empuxo desejado. A transmissão do torque ou, da potência a ele associada, se dá através do sistema de transmissão que normalmente é composto por caixa redutora, eixo, mancais e tubo telescópico.

O hélice, por sua vez, recebe esse torque na rotação imposta pelo eixo e produz o empuxo necessário para equilibrar as forças de resistência, permitindo que a embarcação se desloque na velocidade desejada ou realize de outros tipos de operação.

A transmissão desta energia do motor até o casco não se dá, evidentemente, com 100% de eficiência. Perdas de energia útil ocorrem na transmissão, no hélice e na interação deste com o casco da embarcação. Além disto, dependendo das condições da praça de máquinas, o motor também pode, eventualmente, não operar em condições ideais, o que pode resultar numa redução de seu rendimento.

Os principais parâmetros e variáveis envolvidas na produção, transmissão e aproveitamento dessa energia bem como uma ilustração da localização típica da instalação propulsora numa embarcação de pesca, estão mostrados na Figura 3-1

Figura 3-1 Parâmetros de uma instalação propulsora típica

O significado dos parâmetros e variáveis apresentados na Figura 3-1 estão sintetizados a seguir:

- Resistência ao Avanço (R_T) – resistência oferecida pelo fluido ao movimento da embarcação a uma dada velocidade;
- Velocidade de Serviço (V_S) – Velocidade de operação da embarcação;
- Empuxo (T) – força fornecida pelo hélice para impulsionar a embarcação na velocidade desejada;
- Velocidade de Avanço (V_a) – velocidade média do escoamento que sobre o hélice da embarcação;
- Potência do Motor (Pot_{motor}) – Potência fornecida pelo motor ao eixo de transmissão;
- Rotação do Motor (N_{motor}) – é a rotação de operação do motor e da extremidade do eixo ligado a ele;
- Potência absorvida pelo hélice (Pot_{AP}) – é a potência entregue ao hélice;
- Potência fornecida pelo hélice (Pot_{FP}) – é a potência fornecida pelo hélice à embarcação (associada à força de empuxo);
- Eficiência de transmissão (η_t); é a energia dissipada entre o motor e o hélice;
- Eficiência do hélice (η_h) – é a relação entre a potência fornecida e recebida pelo hélice;
- Rotação ($N_{hélice}$) – é a rotação de operação do hélice; e
- Torque (Q) – torque aplicado pelo eixo ao hélice.

A seguir serão detalhados os conceitos fundamentais e algumas técnicas de avaliação associadas às variáveis e parâmetros acima listados. O procedimento a ser proposto no próximo capítulo empregará estes conceitos e técnicas para a análise e avaliação do sistema propulsor como um todo. Portanto o entendimento dos mesmos é essencial para o desenvolvimento do procedimento.

3.1. Resistência ao Avanço

A resistência ao avanço é força resultante da ação do fluido sobre o casco da embarcação. Esta força age sobre o casco no sentido oposto ao da velocidade de deslocamento da mesma. Sua avaliação é imprescindível para que, posteriormente, se possa determinar a potência da instalação propulsora necessária para equilibrá-la, para que a embarcação possa se mover na velocidade desejada (Harvald, 1983).

Do ponto de vista prático a resistência ao avanço do casco das embarcações pode, simplificada, ser dividida em três parcelas:

- (1) uma parcela relacionada aos efeitos viscosos do escoamento sobre o casco;
- (2) uma parcela associada à geração de ondas que decorre do deslocamento do casco sobre a superfície livre do fluido; e
- (3) uma parcela adicional associada às condições médias do casco e do meio ambiente enfrentadas durante a operação da embarcação.

A parcela viscosa, por sua vez, pode ser também subdividida em duas componentes: a) uma componente, de caráter friccional (*frictional resistance*, em inglês), resultante das tensões tangenciais (atrito) atuando sobre o casco; b) outra componente associada às pressões normais sobre o casco (*viscous pressure resistance*) resultantes de efeitos de viscosidade e turbulência (esteira e separação do escoamento).

A parcela associada a geração de ondas é chamada também de Resistência de Ondas (*Wave-making resistance*) e decorre da energia dissipada na geração de ondas de gravidade na superfície do fluido.

A parcela adicional é decorrente de forças provenientes do estado de mar enfrentado pela embarcação (ondas e ventos) e de acréscimos na resistência do casco proveniente das condições de sua superfície (rugosidade).

Outra subdivisão clássica da força de resistência ao avanço, comumente usada para extrapolar resultados obtidos de ensaios com modelos em escala, assume que a mesma possa ser dividida em duas parcelas: uma parcela friccional da resistência total, que pode ser aproximada pela resistência de atrito resultante de um

escoamento sobre uma placa plana com dimensões e propriedades compatíveis com o casco da embarcação; uma segunda parcela equivalente à diferença entre a resistência total e a parcela friccional estimada pela placa plana chamada de resistência residual.

A Resistencia Residual, por sua vez, é constituída de três componentes: a resistência de onda; a resistência resultante de efeitos de viscosidade e turbulência (*viscous pressure resistance*); e uma componentes de atrito viscoso associada à curvatura do casco. A soma das duas últimas componentes da Resistencia Residual é comumente chamada de Resistencia de Forma. Portanto a resistência residual é, a soma da parcela de resistência de ondas com a resistência de forma.

A resistência total ao avanço assim como suas diversas parcelas e componentes discutidas acima são normalmente representadas através dos chamados coeficientes de resistência. Alguns desses coeficientes estão definidos abaixo:

- Resistencia Total: representada pelo coeficiente de resistência total definido como:

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

- Resistencia Residual:

$$C_a = \frac{R_a}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} \quad (2)$$

- Resistencia Friccional:

$$C_r = \frac{R_r}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} \quad (3)$$

Os coeficientes das demais parcelas são definidos da mesma maneira.

A estimativa da resistência ao avanço das embarcações, com uma boa precisão, é uma tarefa bastante complexa. Durante o projeto do casco de uma embarcação essa estimativa é realizada em diferentes etapas do processo de projeto empregando-se, inicialmente, métodos simplificados e aproximados. A medida que o projeto avança e dispõe-se de maiores informações e detalhes sobre a embarcação, tais métodos simples são progressivamente substituídos por técnicas mais sofisticadas, que permitirão uma avaliação mais precisa da resistência.

No caso de embarcações simples o uso de técnicas muito sofisticadas, tais como, análise computacional empregando técnicas de CFD (*computer fluid analysis*) ou baterias de ensaios com modelos podem ser economicamente inviáveis. Neste caso, técnicas mais simples, mas robustas, costumam ser empregadas ao longo do projeto para estimativa da resistência e da potência necessária da instalação propulsora.

As técnicas mais simples baseiam-se normalmente em resultados e estatísticas compiladas sobre o desempenho de embarcações já construídas, similares a embarcação em projeto. Entre tais técnicas pode-se citar aquelas que fazem uso de equações de regressão (por exemplo as equações de Holtrop e Mennen, 1982) ou de resultados de grande quantidade de ensaios experimentais realizados com modelos típicos de cascos de embarcações que realizam uma determinada função específica, as chamadas Séries Sistemáticas (por exemplo, a Série UBC apresentada em Calisal, 1993) (Harvald, 1983).

Tais métodos simplificados podem também ser empregados para obter uma estimativa de embarcações já construídas, sobre as quais não se possui muitas informações, como é o caso das embarcações de pesca artesanal do Espírito Santo.

A seguir apresenta-se um conjunto de técnicas simplificadas para a estimativa da resistência ao avanço de embarcações de pesca que posteriormente serão implementadas no procedimento a ser desenvolvido para avaliação do desempenho propulsivo destas embarcações.

Aydin e Salci (2008) descrevem sucintamente vários trabalhos já realizados, propondo métodos e técnicas para a avaliação da resistência ao avanço das embarcações de pesca. Alguns destes, mais apropriados para a aplicação neste trabalho, estão resumidos a seguir:

- Ridgeley e Nevitt (1956, 1963, 1967) realizaram uma série de estudos experimentais sobre as características de resistência de modelos de embarcações destinadas à pesca de arrasto. Os estudos iniciaram-se com embarcações possuindo coeficiente prismático (C_p) igual a 0,65 e, posteriormente, foram expandidos para avaliar o desempenho de cascos com outros valores de coeficiente prismático, que envolveram também a avaliação

dos efeitos da variação sistemática de outros parâmetros e coeficientes geométricos relativos ao casco. Do conjunto destes ensaios resultou o que se costuma chamar de Série Sistemática de Ridgeley-Nevitt.

- Helmore e Swain (2010), baseados nos resultados do trabalho de Ridgeley e Nevitt (1956, 1963, 1967) desenvolveram uma equação de regressão desta série.

- Doust (1960) realizou uma análise estatística de dados de resistência de um conjunto de ensaios com modelos de embarcações de arrasto realizados no *National Physical Laboratory* (NPL). Com base nesta análise o autor propõe uma equação de regressão para estimar a resistência deste tipo de barco de pesca em função de 6 parâmetros geométricos que descrevem os cascos destas embarcações.

- Hayes e Engvall (1969), combinando os dados empregados por Doust(1960)com os resultados de ensaios realizados em outros laboratórios situados na Europa, Estados Unidos e Japão elaboraram uma nova equação de regressão para estimativa da resistência ao avanço de embarcações de pesca em geral. O total de modelos considerados nesta análise foi de 570 modelos.

- Van Oortmerssen (1971) propôs uma equação analítica para a estimar a resistência residual de embarcações de pequeno porte, cujos coeficientes foram determinados, de forma empírica, empregando-se resultados de 970 ensaios com modelos para calibrar os coeficientes desta equação. O autor sugere que para o cálculo da resistência total, a resistência residual obtida com a equação seja somada à resistência de atrito calculada através dos resultados de placa plana.

Além destes métodos identificou-se, através da pesquisa bibliográfica, outros também aplicáveis a embarcação de pesca:

- Lackenby (1960) apresenta de forma gráfica os coeficientes de resistência obtidos através de ensaios experimentais com alguns dos modelos que posteriormente constituiriam a Série BSRA (Patullo, 1968). Os gráficos fornecem os valores destes coeficientes para uma embarcação de pesca de arrasto de referência que possuía 45 metros de comprimento e 847 toneladas de deslocamento.

- Calisal e McGreer (1993) desenvolveram uma série sistemática de modelos de embarcações de arrasto e de cerco e apresentam em seu trabalho os resultados de resistência residual, considerando a variação sistemática de três parâmetros geométricos (L/B , B/T e C_b) que caracterizam o casco destas embarcações. Além dos resultados experimentais, os autores apresentam também uma equação de regressão construída com base nestes resultados.

Com base numa revisão detalhada dos limites de validade dos métodos apontados acima, selecionou-se aqueles mais apropriados para a aplicação em embarcações de pesca com características similares às aquelas identificadas na frota do Espírito Santo. Os métodos mais apropriados são: Hayes e Engvall (1969); Van Oortmerssen (1973, 1980); Ridgeley e Nevitt (1956 e 1963); Helmore e Swain (2010); e Calisal e McGreer (1993). Uma descrição mais aprofundada de cada um deles é apresentada a seguir.

3.1.1. Método da Hayes e Engvall (1969)

Conforme já mencionado no início deste tópico Hayes e Engvall (1969) desenvolveram uma equação de regressão para estimativa da resistência ao avanço de embarcações de pesca empregando resultados de ensaios com 570 modelos de embarcações de pesca. Este desenvolvimento foi realizado a pedido da FAO para aperfeiçoar equações regressão propostas anteriormente.

Os coeficientes da equação de regressão são apresentados pelos autores para um modelo de referência com 16 pés de comprimento. Para aplicação em embarcações com diferentes características geométricas, os coeficientes da equação devem ser corrigidos seguindo procedimento descrito no mesmo trabalho.

A Tabela 6 mostra os parâmetros geométricos considerados como variáveis na equação de regressão e seus valores limites para aplicação.

Tabela 6 - Campo de Validade do Método da FAO

Variável	Limite inferior	Limite superior
L/B	3,10	5,60
B/T	2,00	4,50
C_M	0,53	0,93
C_P	0,55	0,70
LCB (%L)	-6	2
½ae	15	37
A_{KEEL}/A_M	0	0,24
Trim	-0,04	0,08

Fonte: HAYES e ENGVALL (1969)

A tabela 7 mostra os testes de validação da equação de regressão comparando os resultados obtidos através da equação com os resultados dos ensaios dos vários modelos considerados. A tabela apresenta, para os diferentes valores do coeficiente $V/L^{1/2}$, o número de modelos usados na validação dos resultados e o erro percentual em relação aos resultados dos ensaios com estes modelos.

Tabela 7 - Modelos avaliados para cada $V/L^{1/2}$

$V/L^{1/2}$	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20
Número de Modelos	517	541	542	530	512	476	420
Percentual de erro (%)	1,13	1,14	1,23	1,36	1,47	1,51	1,60

Fonte: HAYES e ENGVALL (1969)

No Anexo A apresenta-se a equação de regressão e seus coeficientes que, posteriormente, foi implementada em algoritmos empregados no procedimento proposto no próximo capítulo.

3.1.2. Método de Van Oortmerssen (1971)

Van Oortmerssen (1971) propôs uma equação analítica/empírica para determinar a resistencia residual de pequenas embarcações como, por exemplo, de pesca e rebocadores. Ao todo, cerca de 970 resultados de ensaios com 93 modelos, realizados no tanque de provas do MARIN, foram empregados para calibrar os coeficientes desta equação.

Esta equação foi objeto de estudo por diferentes autores que encontraram, ao longo do tempo, algumas incongruências nos valores dos seus coeficientes. Helmore (2008), com base nos erros identificados, atualizou a equação original e os valores de seus coeficientes.

As variáveis presentes na equação proposta por Van Oortmerssen (1971) estão indicadas na Tabela 8 juntamente com seus limites para aplicação.

Tabela 8 - Limites do Método de VAN OORTMERSEN

Variável	Limite inferior	Limite superior
L_{WL}	8,00	80,00
L/B	3,00	6,20
C_P	0,50	0,73
C_M	0,70	0,97
LCB (%L)	-7	2,8
Deslocamento	5	3000
$\frac{1}{2}cr$	10	46

No Anexo B apresenta-se a equação de regressão e seus coeficientes. Da mesma forma esta equação foi também implementada nos algoritmos empregados no procedimento proposto no próximo capítulo.

3.1.3. Método de Ridgeley-Nevitt (1956, 1963, 1967)

Conforme apresentado no início deste tópico realizaram Ridgeley-Nevitt (1956, 1963, 1967) realizaram, durante um expressivo período de tempo, uma série de ensaios com modelos de embarcações de pesca para determinar o coeficiente de resistência residual destes modelos. Nestes ensaios, os modelos foram construídos com base numa variação sistemática das suas características geométricas. A descrição detalhada da geometria dos cascos dos modelos juntamente com a consolidação dos resultados dos ensaios forma, o que costuma se chamar, de série sistemática de Ridgeley-Nevitt. Os resultados de resistência foram publicados, pelos autores, em forma gráfica. Um exemplo de um destes gráficos esta reproduzido na Figura 3-2.

Os limites de validade dos parâmetros geométricos considerados na elaboração desta série sistemática estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Limites da série Ridgeley-Nevitt

Variável	Limite inferior	Limite superior
C_P	0,55	0,70
$\Delta/(0,01L)^3$	200	500

3.1.4. Método Helmore e Swain (2010)

Com base nos resultados da série de Ridgeley e Nevitt (1956, 1963, 1967) e devido à dificuldade de recuperação dos resultados apresentados em forma gráfica Helmore e Swain (2010) desenvolveram uma equação de regressão da série Ridgeley-Nevitt.

A equação possui como variáveis o coeficiente prismático (C_p), deslocamento (Δ) e comprimento (L) das embarcações e fornece como resultado o valor do coeficiente de resistência residual de resistência (C_R).

Esta equação de regressão e seus coeficientes estão apresentados no Anexo C. Esta equação foi também implementada nos algoritmos empregados no procedimento proposto no próximo capítulo.

3.1.5. Método Calisal e McGreer (1993) (Série UBC)

Conforme apresentado no item anterior, Calisal e McGreer (1993) desenvolveram uma série sistemática de modelos de embarcações de arrasto e de cerco. Esta série fez parte de um programa de pesquisa desenvolvido com o intuito de propor soluções para reduzir o consumo de combustível de embarcações de pesca da costa Oeste do Canadá desenvolvido pela *University British Columbia* (UBC).

A série foi desenvolvida variando-se sistematicamente três parâmetros geométricos dos cascos (L/B , B/T e C_b). Além dos resultados experimentais, os autores apresentam também uma equação de regressão construída com base nestes resultados para estimar a resistência das embarcações.

A equação desenvolvida pelos autores se baseou na forma da equação proposta por Van Oortmerssen (1971).

A Tabela 10 apresenta os limites de aplicação dos resultados experimentais da série e da equação de regressão.

Tabela 10 - Limites do Método UBC

Variável	Limite inferior	Limite superior
C_B	0,53	0,61
L/B	2,60	4,00
B/T	2,00	3,00
$L/(\nabla)^{1/3}$	3,00	4,47

Posteriormente Calisal juntamente com outros autores fizeram uma revisão na equação proposta no trabalho original após a identificação de um erro na tipografia quando de sua publicação (Calisal et al, 1997).

A equação corrigida de regressão da série UBC, juntamente com seus coeficientes, está apresentada no Anexo D. Esta equação foi também implementada nos algoritmos empregados no procedimento proposto no próximo capítulo.

3.1.6. Parcela da Resistência ao Avanço devida às condições médias de casco e mar

Conforme citado no início deste capítulo, existe uma parcela da resistência ao avanço das embarcações que decorre dos efeitos associados às condições ambientais enfrentadas pelas embarcações durante sua operação e ao estado de conservação do casco das mesmas.

Os métodos de previsão de resistência ao avanço baseados em resultados de séries sistemáticas ou em regressões matemáticas das mesmas, não consideram estas condições adversas. As previsões destes métodos valem para mar calmo e condição de casco limpo.

Para estimativa da potência da instalação propulsora das embarcações é necessário considerar esse acréscimo para que não se subdimensionem os motores e os propulsores empregados na instalação.

Conforme Harvald (1983), as margens típicas utilizadas para estimar esse acréscimo de resistência, no caso de embarcações navegando no sul do oceano Atlântico, variam entre 12 e 18% da resistência calculada em mar calmo e com casco limpo.

3.2. O funcionamento e o desempenho de um propulsor

O hélice é componente da instalação propulsora responsável por gerar a força que deslocará a embarcação sobre a superfície da água. A força produzida pelo hélice é chamada de Empuxo (T). Para gerar este empuxo, o hélice necessita receber energia suficiente para vencer o torque resistente oferecido pelo fluido na sua rotação de operação.

Esta energia requerida pelo hélice é fornecida pelo motor através do sistema de transmissão. Na conexão do eixo com o hélice deve estar disponível para este um torque (Q) igual ao torque resistente enfrentado pelo hélice na rotação ($N_{\text{hélice}}$) que este está operando para fornecer a força de empuxo necessária.

A configuração geométrica de hélices convencionais pode ser representada pelos principais aspectos geométricos e parâmetros que caracterizam o hélice e influenciam seu desempenho:

- D – Diâmetro do hélice
- Z – Número de Pás do hélice
- A_0 – área do disco com o mesmo diâmetro do hélice
- A_E – Área expandida de todas as pás: a área expandida de uma pá é obtida expandindo-se a corda de seções da pá cortadas ao longo do raio do hélice (Harvald, 1983)
- P – Passo do hélice – o passo do hélice é definido como o passo da seção da pá cortada a $0,7$ do raio do hélice. Este passo é cálculo sobre um cilindro de raio $0,7 \cdot D/2$.

O empuxo gerado pelo hélice é consequência da interação de suas pás com o escoamento fluido que ocorre sobre elas. Este escoamento é a combinação do escoamento decorrente da rotação do hélice no interior do fluido com o escoamento decorrente do avanço do hélice no fluido (este avanço decorre do movimento da embarcação na superfície do fluido).

O produto deste empuxo pela velocidade de avanço (V_a) representa a potência fornecida pelo hélice (Pot_{FP}) para mover a embarcação na velocidade (V_s) desejada. Para fornecer esta potência o hélice precisa, por sua vez, de energia para vencer o torque resistente oferecido pelo fluido, na rotação e velocidade de avanço

em que o hélice está operando. Esta energia é entregue ao hélice, pelo motor e o sistema de transmissão, e é representada pela potência entregue ao hélice (Pot_{AP}), resultado do produto do torque aplicado a ele pela rotação do eixo.

Portanto o desempenho do hélice está relacionado com: sua capacidade de geração de empuxo, ou fornecimento de energia ao casco; e com a potência por ele recebida.

Segundo Lewis (1983), grande parte do conhecimento adquirido a respeito do funcionamento dos hélices, do escoamento resultante sobre o mesmo e sobre seu desempenho foi obtido através de experimentos com modelos. A análise destes resultados combinada com o desenvolvimento teórico associado, mostra que o desempenho de um hélice pode ser descrito de forma suficientemente precisa em função dos seguintes parâmetros envolvendo a geometria do hélice, sua condição de operação e as principais forças e momentos envolvidos nessa operação:

- Razão Passo-Diâmetro: P/D ;
- Razão de áreas: A_E/A_0 ;
- Número de pás: Z ;
- Rotação do hélice: N ;
- Velocidade de Avanço: V_a
- Coeficiente de Torque (KQ):

$$KQ = \frac{Q}{\rho N^2 D^5} \quad (4)$$

- Coeficiente de Empuxo (KT):

$$KT = \frac{T}{\rho N^2 D^4} \quad (5)$$

- Coeficiente de Avanço (J):

$$J = \frac{V_a}{ND} \quad (6)$$

A eficiência do propulsor (η_h) pode ser facilmente determinada através dos coeficientes e parâmetros acima listados, sendo definida como a razão da potência fornecida pelo hélice e a potência entregue ao mesmo. A equação que representa esta eficiência é:

$$\eta_h = \frac{KT \cdot J}{KQ \cdot 2\pi} \quad (7)$$

Em Carlton (2007) e Lewis (1983) mostra-se, através da teoria de semelhança, que propulsores geometricamente semelhantes, cujas geometria e condições de operação estejam caracterizadas pelos mesmos valores dos parâmetros Z , P/D , A_E/A_0 e J , possuem funcionamento e desempenho também semelhantes. Se tais condições estiverem presentes para dois propulsores com diâmetros diferentes, ambos estarão operando com valores praticamente idênticos dos coeficientes K_T e K_Q , que representam as forças e momentos atuando no hélice, e possuirão também eficiências praticamente iguais (as diferenças decorrem de fenômenos viscosos).

Como decorrência destas condições de semelhança, o projeto e desenvolvimento de propulsores é realizado, até os dias atuais, empregando-se ensaios com modelos reduzidos realizados em tuneis de cavitação.

Usualmente, os resultados destes ensaios são representados através de diagramas de desempenho. Um dos diagramas mais empregados é o diagrama K_T - K_Q - J , que mostram as curvas de variação dos coeficientes K_T , K_Q e da eficiência (η_H) em função do coeficiente J . Cada diagrama mostra estas curvas para hélices com um determinado número de pás (Z), com um valor fixo da relação A_E/A_0 e para diferentes valores da razão P/D . A Figura 3-2 apresenta um diagrama típico de desempenho obtido através de ensaios com modelos de hélices em escala reduzida.

Figura 3-2 Diagrama $K_T, K_Q \times J$

Fonte: Carlton (2007)

O conhecimento do desempenho dos hélices, representados por diagramas, combinado com o conhecimento da resistência ao avanço da embarcação,

permite o projeto ou a seleção do propulsor mais eficiente para mover a embarcação na velocidade desejada. Este processo é conhecido como integração casco-hélice.

Como, em tese, haveria um número elevado de propulsores com diferentes características que poderiam ser analisados ou projetados para se obter o que resultasse no conjunto casco-hélice de maior eficiência, o custo do projeto do hélice poderia se tornar inviável. Sendo assim, da mesma forma que ocorreu para o estudo da Resistência ao Avanço, algumas séries sistemáticas de hélices foram desenvolvidas com o intuito de facilitar o projeto da instalação propulsora de embarcações convencionais.

Estas séries foram desenvolvidas a partir de ensaios com modelos de hélice, cujas características geométricas e de operação foram sistematicamente variadas, e apresentam o desempenho dos mesmos na forma de diagramas, como aquele mostrado na Figura 3-2. Duas das mais importantes são as séries B-Troost (TROOST,1951) e Gawn (GAWN, 1953,1957).

Posteriormente, para facilitar o uso destes resultados, diversos autores desenvolveram equações de regressão que fornecem os valores de KT e KQ em função das variáveis J, P/D, AeA0 e Z.

Oorterveld e Oossanen(1975) desenvolveram equações de regressão para os propulsores da série B-Troost. O formato geral destas equações está mostrado a seguir:

$$KT_0 = \sum_{i=0}^n C_{s,t,u,v}^T \cdot J^s \cdot P/D^t \cdot AeA0^u \cdot Z^v \quad (8)$$

$$KQ_0 = \sum_{i=0}^n C_{s,t,u,v}^Q \cdot J^s \cdot P/D^t \cdot AeA0^u \cdot Z^v \quad (9)$$

Da mesma forma, Blount e Hubble (1981) propuseram equações de regressão para os hélices da série Gawn. O formato geral destas equações segue exatamente aquele proposto por Oorterveld e Oossanen(1975) para a série B-Troost, conforme mostrado nas equações (8) e (9). Como todos os hélices da série Gawn original possuíam 3 pás, o cálculo dos coeficientes das equações de regressão para esta série foi realizado sem considerar aqueles relacionados ao número de pás. Posteriormente, os autores constataram a aplicabilidade das equações para hélices de 4 pás, com mesma forma geométrica dos modelos com 3 pás, através da

comparação dos resultados obtidos através das equações com resultados experimentais publicados por outros autores, realizados com modelos de 4 pás.

A comparação das curvas de desempenho de hélices da série B-Troost com hélices da série Gawn, possuindo as mesmas características geométricas (Z , A_E/A_0 e P/D), mostram que aqueles da série Gawn possuem valores dos coeficientes K_T e K_Q ligeiramente superiores aos da série B-Troost, quando operando com o mesmo coeficiente de avanço J . Esta constatação foi feita por Blount e Hubble (1981) para hélices com 3 e 4 pás.

Para aplicação das equações de regressão da série B-Troost e da série Gawn no projeto e seleção de propulsores, os autores das equações incluem também uma correção para os valores de K_T e K_Q para valores de número de Reynolds (Re) superiores a 2×10^6 .

Os coeficientes das equações de regressão de ambas as séries e os limites para a sua aplicação, estão detalhadamente apresentados nos Anexos E e F para as séries B-Troost e Gawn, respectivamente. Estas equações foram também implementadas nos algoritmos do procedimento descrito no próximo capítulo.

Um fenômeno físico que pode ocorrer durante a operação dos hélices, e que tem um importante efeito sobre a eficiência e o desempenho dos mesmos, é a cavitação (Lewis, 1988). Este fenômeno é caracterizado pela formação de bolhas de vapor sobre as pás dos hélices e é decorrente das baixas pressões que, eventualmente, ocorrem na superfície das pás, podendo causar queda de rendimento, ruídos, vibrações e erosão nas mesmas.

Como a ocorrência da cavitação depende fundamentalmente das condições de operação do hélice (profundidade do eixo, rotação, velocidade de avanço, pressão de vapor do fluido, etc) sua verificação para um determinado projeto da instalação propulsora só pode ser, em geral, realizada através de ensaios experimentais, aumentando com isso os custos de projeto.

Como forma de verificar a ocorrência da cavitação nas fases preliminares do projeto, Burril et al (1942, 1962, 1963) elaboraram um procedimento simples que permite classificar a intensidade desta ocorrência em propulsores convencionais, em função de parâmetros que caracterizam sua operação. Estes parâmetros são o

número de cavitação ($\sigma_{0,7r}$) e o coeficiente de carregamento (τ_c) que estão definidos a seguir:

$$\sigma_{0,7r} = \frac{P_0 - P_V}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_R^2} \quad (10)$$

$$\tau_c = \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_R^2 \cdot A_P} \quad (11)$$

Ambos os coeficientes são calculados para uma seção situada a 0,7 do raio do hélice.

Para representar esse procedimento, Burril e Emerson, 1962 *apud* Carlton (2007) elaboraram um diagrama que mostra as curvas de intensidade de cavitação em função dos valores do coeficiente de carregamento e do índice de cavitação. Este diagrama é conhecido como Diagrama de Burril e está reproduzido na Figura 3-3.

Figura 3-3 Diagrama de Burril para previsão de cavitação
Fonte: Carlton (2007)

Para facilitar a aplicação do diagrama, Padovezi (1997) desenvolveu uma equação de regressão que representa as curvas de intensidade de cavitação presentes no Diagrama de Burril. Esta equação está apresentada a seguir:

$$\tau_c = A \cdot (\sigma_{0,7R})^B \quad (12)$$

Os seus coeficientes, para três curvas de intensidade, estão apresentados na Tabela 11, considerando também a operação com queda de empuxo.

Tabela 11 - Variáveis do Método de Burril		
Cavitação no Dorso	A	B
2,5 %	0,302	0,763
10,0 %	0,494	0,880
20,0 %	0,661	0,880
Queda de Empuxo	0,700	1,000

Fonte: Padovezi (1997)

No procedimento descrito no próximo capítulo a cavitação é avaliada utilizando-se a equação proposta por Padovezi(1997).

3.3. Motor principal e o seu desempenho

O motor é uma máquina com a capacidade de converter a energia térmica em trabalho mecânico. Esta energia é proveniente da queima do combustível dentro do cilindro que, na expansão dos gases, movimenta o conjunto pistão-biela- virabrequim rotacionando o eixo a ele conectado.

Usualmente, os fabricantes de motores realizam diversos testes de bancadas nos mesmos, para avaliar seu desempenho. As grandezas normalmente medias são: rotação (N_{motor}); torque (Q_{motor}); e consumo de combustível. Para isso, a medição deste parâmetro é feita com o motor funcionando em sua aceleração máxima (*full throttle*). O objetivo dos testes é levantar as curvas de desempenho do motor, relacionando a rotação de operação com o torque fornecido na saída do motor e com o consumo de combustível associado. A Figura 3-4 mostra um diagrama típico destes testes, que é comumente chamado de curvas do motor.

As curvas do motor, apesar de representarem os resultados provenientes de diversos ensaios, podem não representar fielmente o desempenho do motor quando este está operando fora da bancada e, portanto, em condições distintas daquelas dos ensaios. Fatores como temperatura ambiente, temperatura do líquido de arrefecimento, ângulo de inclinação do motor, entre outros, podem influenciar seu

desempenho e eficiência. O projeto da praça de máquinas das embarcações deve levar em consideração as indicações feitas pelo fabricante em relação a estes fatores para um melhor aproveitamento do motor.

Figura 3-4 Curvas do Motor MWM 6T-12

Estas curvas do motor, juntamente com as curvas de desempenho do hélice, são empregadas no projeto das instalações propulsoras para se determinar o ponto de operação do conjunto hélice-motor. Este processo é chamado de integração hélice-motor. Sua finalidade é verificar se o motor irá operar em condições de máximo rendimento e se, no ponto de operação, o mesmo é capaz de fornecer o torque requerido pelo hélice em sua rotação de operação, para que este possa fornecer o empuxo necessário para impulsionar a embarcação na velocidade esperada.

As curvas do motor serão empregadas no procedimento descrito no próximo capítulo para se determinar o torque e o consumo nominal de combustível, nas rotações em que os mesmos são operados nas embarcações de pesca.

3.4. Integração Casco-Motor-Hélice

A conclusão do projeto da instalação propulsora envolve um procedimento que combina os processos de integração casco-hélice e hélice-motor. Este procedimento é comumente chamado integração casco-hélice-motor. Sua função é verificar se os componentes escolhidos para a instalação propulsora (hélice, motor e sistema de transmissão) são capazes de operar em conjunto, com a máxima eficiência possível, para fornecer a força necessária para mover a embarcação e sua velocidade de operação.

3.4.1. Integração Casco - Hélice

Em geral, a integração casco-hélice-motor inicia-se pelo processo de integração casco-hélice, cuja função principal é projetar ou selecionar o propulsor de máxima eficiência para gerar o empuxo requerido para mover o casco. Para isso emprega-se as curvas de resistência ao avanço do casco e as curvas de desempenho de hélices para se encontrar o ponto de operação destes e avaliar aquele que opera com a maior eficiência.

As curvas de desempenho dos propulsores, como mostrada na Figura 3-4, são normalmente levantadas em ensaios nos quais o escoamento que chega ao hélice não está perturbado pela presença de um casco onde o mesmo poderá ser instalado. Tais curvas são chamadas de curvas de desempenho em água aberta. Para a sua aplicação no projeto ou seleção de propulsores para um dado casco, assume-se que o empuxo gerado pelo hélice, quando operando à ré do casco num escoamento cuja velocidade média longitudinal é V_a , é igual ao empuxo calculado através das curvas de desempenho em água aberta considerando que o escoamento que chega ao hélice em água aberta tem a mesma velocidade V_a .

O escoamento que incide sobre um hélice operando atrás de uma embarcação não possui uma velocidade média longitudinal igual a velocidade em que a embarcação se move. Isso decorre principalmente das perturbações no escoamento produzidas pela esteira gerada pelo casco e pela separação do escoamento em torno do casco (Lewis, 1983). Esta velocidade média longitudinal é chamada de velocidade

de avanço do propulsor (V_a) e sua relação com a velocidade da embarcação é dada pela seguinte equação:

$$V_a = V_s \cdot (1 - \omega) \quad (13)$$

Nesta equação o parâmetro ω é chamado de coeficiente de esteira e sua determinação depende do estudo do escoamento à ré do casco da embarcação, considerando a presença do hélice. O valor deste coeficiente sofre influência da geometria da porção de ré do casco da embarcação. Sua determinação não é simples e, nas fases iniciais dos projetos, sua estimativa é feita empregando-se estatísticas de estudos e ensaios realizados com cascos de embarcações semelhantes, inclusive com formas de casco de séries sistemáticas.

Outro efeito decorrente do funcionamento do hélice a ré do casco da embarcação é a perturbação que o hélice produz no escoamento ao redor do casco da embarcação, principalmente na região da popa do casco. Esta perturbação produz um acréscimo na resistência ao avanço do casco que não é medido nos ensaios experimentais para levantamento desta resistência, uma vez que estes são realizados sem a presença do hélice em sua popa. Os ensaios de resistência sem a presença de hélices são normalmente chamados de ensaios de casco nu.

Portanto, o empuxo gerado pelo hélice para mover a embarcação na velocidade desejada é normalmente maior do que o valor da resistência ao avanço determinada nos ensaios de casco nu, ou através de séries sistemáticas ou equações de regressão. A relação entre o empuxo fornecido pelo hélice e a resistência ao avanço da embarcação (R_T) é dada pela seguinte equação:

$$T = \frac{R_T}{(1-t)} \quad (14)$$

O parâmetro t presente nesta equação é convencionalmente chamado de coeficiente de redução da força propulsora, e sua determinação depende também do estudo do escoamento à ré do casco da embarcação, considerando a presença e a operação do hélice. O valor deste coeficiente sofre influência das características do propulsor, de sua operação, e da geometria da porção de ré do casco da embarcação. Sua determinação também não é simples e normalmente se faz através de ensaios experimentais conhecidos como ensaios de autopropulsão. Nas fases iniciais dos

projetos, sua estimativa é feita empregando-se estatísticas de estudos e ensaios realizados com cascos de embarcações semelhantes, inclusive aquelas com formas de casco de séries sistemáticas.

A relação entre a potência associada ao empuxo fornecido pelo hélice e a potência dissipada pelo casco é chamada de eficiência do casco. A potência fornecida pelo hélice é dada pela seguinte equação:

$$Pot_{FP} = T \cdot V_a \quad (15)$$

A potência pelo casco nu é chamada de potência efetiva (Pe) e é dada pela seguinte equação:

$$Pe = R_T \cdot V_S \quad (16)$$

A razão entre a potência efetiva e a potência fornecida pelo propulsor, que é a eficiência do casco, é dada por:

$$e_h = \frac{(1-t)}{(1-\omega)} \quad (17)$$

Para determinação dos coeficientes ω e t para uso no procedimento proposto neste trabalho, realizou-se um levantamento bibliográfico através do qual foi possível localizar 4 trabalhos descrevendo estudos para determinar de forma aproximada os valores destes coeficientes para embarcação de pesca. Estes trabalhos são os seguintes: Oortmerssen (1971); Fyson (1985); Graff e Heckscher, 1941 apud Bertram (2012); Patullo (1968).

Em seu estudo de determinação de Resistência ao Avanço de pequenas embarcações, Oortmerssen (1971) propôs também, com base nos ensaios por ele analisados, equações de regressão para ω e t . Essas equações estão detalhadas no Anexo G.

Fyson (1985) apresenta em seu trabalho curvas com valores de ω e t determinados através de ensaios com modelos realizados no Norwegian Model Tank, situado em Trondheim na Noruega. Estas curvas bem como o procedimento para calcular os valores de ω e t estão descritos no Anexo G.

Graff e Heckscher, 1941 apud Bertram (2012) propõem em seu trabalho equações genéricas para determinação destes coeficientes em função do coeficiente prismático das embarcações. Estas equações estão também apresentadas no Anexo G.

Patullo (1968) em seu trabalho sobre resistência ao avanço de embarcações de pesca, que resultou na Série B.S.R.A apresenta também equações de regressões para estimativa de w e t , baseadas nos ensaios realizados para o desenvolvimento desta série. Estas equações bem como as condições de sua aplicação estão descritas no anexo G.

Os 4 procedimentos acima descritos foram implementados também nos algoritmos do procedimento descrito no próximo capítulo.

Uma vez conhecido os valores de ω e t pode-se então realizar a integração casco-hélice. Esta integração, considerando-se conhecidos o casco, sua curva de resistência ao avanço, o hélice a ser avaliado e suas curvas de desempenho, pode ser representada de maneira gráfica, conforme será exemplificado a seguir. Evidentemente, este procedimento de integração casco-hélice pode ser facilmente automatizado.

A integração casco-hélice inicia-se retirando-se da curva de resistência ao avanço o valor dessa resistência (R_T) na velocidade de serviço (V_S) da embarcação. Com base nesses valores e nos valores de w e t , determinados por algum dos métodos sugeridos no item anterior, pode-se determinar as seguintes equações representando o empuxo requerido para mover a embarcação na velocidade de serviço e o coeficiente de empuxo requerido do hélice nessa situação:

$$T_{req} = \frac{R_t}{(1-t)} \quad (18)$$

$$KT_{req} = \frac{R_T}{\rho \cdot (1-t) \cdot (1-\omega)^2 \cdot V_S^2 \cdot D^2} \cdot J^2 \quad (19)$$

A equação 19 representando o KT requerido é uma equação de segundo grau em J , que pode ser facilmente plotada no diagrama de desempenho do hélice em análise, conforme mostrado na Figura 3-5. O ponto de cruzamento desta curva de

segundo grau com a curva de KT do diagrama de desempenho representa o ponto de operação do hélice para que o mesmo forneça o empuxo requerido pelo casco. Deste ponto de operação pode-se determinar os valores de J de operação e do coeficiente KQ.

Figura 3-5 Encontrando J de operação

Especificando um diâmetro para o hélice, o valor da rotação de operação do hélice pode ser facilmente calculado a partir do coeficiente J de operação conforme mostra a equação a seguir:

$$N_{ope} = \frac{V_a}{J_{ope} \cdot D} \quad (20)$$

Com esta rotação e o valor de KQ, retirado da curva do diagrama para o J de operação, calcula-se facilmente o valor do torque (Q_0) que deveria ser fornecido ao hélice caso o mesmo operasse em água aberta, conforme mostra a equação a seguir:

$$Q_0 = KQ \cdot \rho \cdot N_{hélice}^2 \cdot D^5 \quad (21)$$

Para se determinar o torque requerido pelo hélice quando funcionando atrás do casco deve-se aplicar uma correção ao valor do torque em água aberta, por conta da influência que a perturbação do escoamento sobre o hélice produz no torque resistente a sua movimentação no fluido. Este coeficiente de correção é chamado de eficiência relativa-rotativa e é definido como:

$$e_{rr} = \frac{Q_0}{Q_{hélice}} \quad (22)$$

Segundo Boer (1970), o valor deste coeficiente para embarcações de pesca é aproximadamente 1,05.

Com o valor do torque requerido pelo hélice quando este está operando atrás do casco pode-se determinar a eficiência do propulsor nessas condições. Empregando-se a Equação 7 pode-se mostrar que essa eficiência é dada por:

$$e_{rr} = \frac{\eta}{\eta_0} \quad (23)$$

3.4.2. Integração Motor-Hélice

Com base nos valores da rotação de operação do hélice e do torque requerido determinados na interação casco hélice pode-se determinar qual será o ponto de operação de um dado motor selecionado para a instalação propulsora. A função da integração motor hélice é determinar os pontos de operação considerando diferentes possíveis motores para esta instalação, de modo que se possa escolher aquele que apresentara o melhor rendimento, portanto, menor consumo de combustível, para fornecer ao hélice o torque que ele requer na sua rotação de operação.

Deste cálculo dos pontos de operação pode eventualmente resultar a especificação da redução da caixa redutora quando for necessário. Normalmente este é o caso das embarcações de pesca que em geral operam com motores de média rotação.

A seguir apresenta-se um exemplo de forma gráfica da determinação do ponto de operação do um motor.

Figura 3-6 Encontrando a rotação do motor

Uma vez conhecidos da integração casco hélice os valores de torque requerido e rotação de operação do hélice pode-se determinar a potência que tem que ser entregue ao hélice. A equação a seguir define essa potência:

$$Pot_{AP} = 2\pi \cdot Q_{ope} \cdot N_{ope} \quad (24)$$

Conhecida a potência requerida pelo hélice pode-se estimar a potência que o motor deve fornecer ao eixo. Esta potência é definida pela seguinte equação:

$$Pot_{motor} = \frac{Pot_{AP}}{\eta_t} \quad (25)$$

O coeficiente η_t nesta equação representa a eficiência da transmissão que é relacionada à dissipação de energia que ocorre no sistema de transmissão. Normalmente essa dissipação se dá nos mancais, no tubo telescópico na caixa redutora e no desalinhamento do eixo. Nas embarcações convencionais esses valores variam entre 0,97 e 0,99 segundo (VALLE, 2011).

Conhecida a potência que o motor deve fornecer, pode-se entrar com esse valor na curva de motor (conforme mostrado nas setas azuis da Figura 3-6 e verifica-se se o mesmo tem capacidade de fornecê-la e determina-se a rotação na qual ele deve operar para fornecê-la e também o consumo de combustível do motor. Caso a rotação do motor seja distinta da rotação do hélice deve-se especificar uma caixa redutora com uma relação de redução dada por:

$$\lambda = \frac{N_{motor}}{N_{hélice}} \quad (26)$$

Com esta etapa encerra-se a integração casco hélice-motor. Evidentemente que no projeto de uma instalação propulsora de uma embarcação este processo deve ser realizado com diferentes propulsores e motores de modo a obter o conjunto propulsor de maior eficiência, portanto com menor consumo de combustível.

A eficiência da instalação propulsora é chamada de eficiência propulsiva e pode ser definida de acordo com as várias eficiências discutidas ao longo deste item. Esta eficiência é normalmente representada pelo coeficiente propulsivo que é a razão entre a potência requerida pelo casco para navegar em dada velocidade e potência fornecida pelo motor para este fim. A equação a seguir representa matematicamente esta definição.

$$C_{PP} = \frac{Pe}{Pot_{motor}} \quad (27)$$

O coeficiente propulsivo pode ser calculado também através da seguinte equação que envolver todas as eficiências discutidas ao longo do capítulo:

$$C_{PP} = e_h \cdot e_{rr} \cdot \eta_t \cdot \eta_h \quad (28)$$

Todo este processo de integração casco hélice motor foi automatizado e implementado nos algoritmos do procedimento proposto no próximo capítulo.

Capítulo 4 - Proposta de Procedimento para a avaliação e análise do desempenho propulsivo de embarcações de pesca

A análise de desempenho do sistema propulsivo de uma embarcação requer o conhecimento detalhado das características geométricas do casco da embarcação e de seu desempenho (curva de resistência ao avanço), as características geométricas e de desempenho do hélice (curvas KT-KQ-J) e as características de desempenho do motor empregado na instalação, conforme já discutido no capítulo anterior.

Para realização deste tipo de análise para as embarcações de pesca, em particular aquelas do Espírito Santo, já foi discutido nos capítulos 1 e 2 que na documentação existente destas embarcações não há informações detalhas a respeito das características dos elementos que compõem sua instalação propulsora, e muito menos de seu desempenho.

Em função desta situação, o objetivo principal deste trabalho é propor um procedimento que envolve o levantamento das informações essenciais da instalação propulsora destas embarcações de pesca e um algoritmo que, com base nestas informações levantadas, permita que se estime o desempenho destas instalações nas condições usuais de operação das embarcações. Em termos objetivos, o procedimento permitirá identificar o ponto de operação do hélice instalado, o ponto de operação do motor e as eficiências associadas a estes pontos de operação. Os pontos de operação serão determinados em função da etapa do regime de operação mais relevante em termos de consumo de combustível das embarcações que realizam pesca de espinhel, conforme descrito no item 2.4.2.

Com base na aplicação deste procedimento e na identificação de eventuais perdas elevadas de energia útil, propõe-se também um processo de verificação de possíveis causas destas perdas e de possíveis soluções de baixo custo para reduzi-las.

A Figura 4-1 identifica de forma gráfica as principais atividades de levantamento de informação e de cálculo de desempenho envolvidas no procedimento proposto. O diagrama mostra também a ordem e o fluxo das atividades que dever ser realizadas ao longo do procedimento.

Figura 4-1 Fluxo do Procedimento de Análise

A primeira parte do procedimento, destacada em azul representa a fase do levantamento das informações da embarcação, dos elementos da instalação propulsora e do seu desempenho. Os seguintes dados são levantados:

- Geometria do casco;
- Geometria do hélice e especificação da sua curva de desempenho;
- Especificação do Motor e obtenção de sua curva de desempenho;
- Especificação do Redutor (relação de redução);
- Curva de rotação do motor em função da velocidade da embarcação (prova de mar simplificada)

Os métodos e técnicas para estes levantamentos e o conjunto de dados levantados são detalhados mais adiante neste capítulo.

A partir das informações acima levantadas realiza-se os seguintes cálculos e estimativas com base nos algoritmos implementados no procedimento proposto:

- Estimativa de resistência ao avanço da embarcação
- Cálculo dos coeficientes ω e t , conforme definidos no capítulo anterior
- Cálculo dos possíveis pontos de operação do hélice em função da combinação de valores de ω e t ;
 - Cálculo do empuxo fornecido pelo hélice nos pontos de operação determinados acima, e posterior comparação destes valores com a estimativa de resistência ao avanço realiza inicialmente
 - Cálculo do torque e da potência requerido pelo hélice nos pontos de operação determinados acima
 - Cálculo da potência do motor necessária para suprir a potência requerida pelo hélice nos pontos de operação determinados acima
 - Comparação da potência do motor estimada acima com aquela determinada através da curva do motor nas rotações medidas na prova de mar
 - Cálculo das perdas de potência da instalação propulsora envolvendo a determinação do coeficiente propulsivo, da eficiência do hélice e da eficiência de transmissão

Todos estes cálculos e suas sequencias estão apresentados na Figura 4-1 e estão detalhados nos itens seguinte deste capítulo.

4.1. Levantamento das características da embarcação a ser analisada

4.1.1. Geometria do Casco

Neste item é apresentado um método simples proposto para o levantamento da geometria do casco de uma embarcação. Os dados deste levantamento serão posteriormente carregados num software para geração da superfície do casco e cálculo das propriedades hidrostáticas do mesmo.

O método proposto requer como instrumentos uma trena laser com medição angular e um tripé de apoio para a mesma. A ideia do método é medir as coordenadas de pontos situados na superfície do casco em diferentes seções transversais do mesmo.

As fotos nas Figura 4-2 e Figura 4-3 a seguir mostram os instrumentos básicos necessários e o arranjo deles durante o processo de medição.

Figura 4-2 Material para medição

Figura 4-3 Medição de pontos numa seção transversal do casco

O processo de medição inicia-se na determinação do ponto de origem do sistema de coordenadas. Este deve estar localizado em uma posição central em relação a transversal da embarcação e paralela a trena. Este ponto servirá de referência para a determinação da posição longitudinal da seção transversal a ser levantada. O ponto base da seção transversal é aquele localizado na linha de centro da embarcação em posição paralela à trena. A distância entre o ponto base da seção transversal e a trena (DI) e a distância desta última até o ponto de origem (Do) são utilizados para a determinação da posição longitudinal (x) dos pontos medidos nesta seção, conforme equação a seguir:

$$x = \sqrt{Do^2 - DI^2} \quad (29)$$

A Figura 4-4 apresenta as medidas x, DI e Do.

Figura 4-4 Cálculo da distancia longitudinal

Para cada seção transversal, o conjunto tripé-trena é posicionado paralelamente a esta, no sentido transversal da embarcação, e são marcados os diversos pontos que serão levantados (n, n', n'') em quantidade suficiente que represente esta seção. Após esta etapa é medida as distâncias da trena até estes pontos (Dn, Dn', Dn'') e seus ângulos em relação a DI ($\alpha_n, \alpha_n', \alpha_n''$). Os pontos, as distancias e os ângulos referidos neste paragrafo são exemplificadas na Figura 4-5.

Figura 4-5 Distâncias medidas

Com o auxílio da trigonometria é feito o cálculo da posição transversal (y) e altura (z) em relação ao ponto de origem do sistema, conforme as equações a seguir e exemplificado na Figura 4-6.

$$y = DI - Dn \cdot \cos(\alpha) \quad (30)$$

$$z = DI \cdot \sin(\alpha) \quad (31)$$

Figura 4-6 Cálculo das medidas

Após a esta etapa é possível organizar os dados em uma tabela de cotas e, com o auxílio de softwares específicos para a área naval, desenhar o casco e obter dados hidrostáticos da embarcação. A Figura 4-7 apresenta um exemplo do desenho do casco, realizado em um dos *softwares*, obtido através deste método de levantamento.

Figura 4-7 Exemplo de levantamento

4.1.2. Geometria e desempenho do Hélice

O levantamento da geometria do hélice pode ser feito através das informações constantes no catálogo do fabricante ou da medição das características. Em ambos os casos é necessário o levantamento do número de pás (Z), da área expandida (A_E), da área do disco (A_0), do diâmetro (D) e do passo (P).

Nos hélices que não constam em catálogos podem ser adotados alguns procedimentos simples que caracterizarão a geometria do hélice de forma aproximada.

O valor aproximado da área expandida do hélice (A_E) pode ser obtido através de um simples procedimento que consiste em colar na pá um papel de tamanho maior do que esta, e desenhar o seu contorno, conforme mostrado na Figura 4-8. A área expandida será igual a área da figura desenhada no papel que pode ser determinada por diversos métodos matemáticos.

Figura 4-8 Medição da área da pá

Com o valor de A_E é possível calcular aproximadamente a área projetada da pá, empregando-se a seguinte equação proposta por CARLTON,2012:

$$A_P = A_E(1,067 - 0,229 \cdot P/D) \quad (32)$$

O cálculo da área projetada é fundamental para que se possa aplicar o método de Burril, para a avaliação da ocorrência de cavitação no hélice.

Em sua maioria, os hélices apresentam em seu bosso uma marcação da relação P/D em polegadas. Quando não for encontrada esta marca, o passo pode ser determinado através da medição da inclinação da pá na posição de 70% do raio do hélice (FAO,2012). Com o hélice apoiado em uma superfície plana posiciona-se uma régua no encontro desta posição com as arestas do hélice de forma que uma das pontas encoste na superfície plana e a outra ultrapasse a aresta oposta. Posiciona-se também um esquadro na superfície de forma que ele encoste na régua, conforme mostrado na Figura 4-9. Mede-se altura do ponto de encontro do esquadro com o plano até o ponto de encontro do esquadro com a régua (h_e) e a distância do ponto de encontro da régua com o plano até o esquadro (D_{e-r}). O passo pode ser calculado, conhecido o valor de 70% do raio do hélice ($0,7r$), empregando-se a equação a seguir:

$$P = \frac{0,7r \cdot h_e}{D_{e-r}} \quad (33)$$

Figura 4-9 Medição do Passo
Fonte: FAO (2012)

Para a aplicação do procedimento como não é possível levantar as curvas de desempenho do hélice medido, devidos aos custos envolvidos, a estratégia proposta é associar este à alguma série sistemática convencional para a qual se

dispõe informações da geometria e do desempenho. No caso deste trabalho isto será feito considerando a séries B-Troost e Gawn já descritas no capítulo anterior.

4.1.3. Levantamento dos Motores e Redutores

Para o cálculo do desempenho propulsivo das embarcações construídas é necessário conhecer as curvas de potência e torque do motor em função da rotação, para se determinar as condições de operação do mesmo para a embarcação em análise. Após a identificação do motor, o levantamento de suas curvas pode ser encontrado diretamente com seu fabricante ou revendedor.

As potências encontradas serão utilizadas no cálculo do Coeficiente propulsivo. Por se tratar de uma potência nominal, pode haver diferenças entre esta e a potência medida no eixo do motor em operação na praça de máquinas pois alguns fatores referentes à instalação da praça de máquinas podem influenciar na eficiência do motor.

Assim como o motor, a identificação do redutor pode ser feita na própria embarcação. Normalmente os redutores apresentam sua relação de redução (λ) na própria carcaça, conforme mostra a Figura 4-10.

Figura 4-10 Características do Redutor

O valor da relação de redução, juntamente com a rotação medida na prova de mar, será utilizado para a determinação da rotação do hélice na prova de mar ($N_{\text{hélice}}$).

4.1.4. Prova de mar simplificada

A prova de mar simplificada é necessária para que se possa obter duas informações essenciais para a determinação dos pontos de operação do hélice e do motor. Essas informações são a velocidade e a rotação do motor a ela associada. A prova de mar deve permitir o levantamento destes pares de valores para diferentes rotações impostas ao motor. Com base nestes pares de valores é possível construir um gráfico relacionando as duas grandezas.

Esta prova deve ser realizada em condições de mar calmo, sem a ação de ventos. Obrigatoriamente, o teste deverá ser realizado na condição típica de carregamento da embarcação (calado de operação) correspondente à etapa de viagem entre o porto e região de pesca, que é aquela onde ocorre o maior consumo de combustível conforme já apresentado na seção 2.4.2. Nesta condição o barco deverá estar com o carregamento máximo de água doce, combustível e gelo.

Antes do início da prova são levantados os calados à vante e à ré da embarcação para a determinação do calado médio e o trim que a embarcação opera. Este calado juntamente com a geometria do casco é utilizado no cálculo do deslocamento da embarcação.

Após iniciada a navegação, começam as coletas dos dados em relação à rotação do motor (N_{motor}) e à velocidade de serviço (V_s). Estes dados podem ser coletados com os próprios instrumentos da embarcação, como o conta-giros do motor e o GPS. Para medição da rotação recomenda-se o uso de tacômetros como o mostrado na Figura 4-11. A sugestão é que esta medida seja feita na extremidade do eixo à ré do motor onde normalmente há espaço adequando para a realização da medida. Caso contrário, caso a medida seja feita após a caixa redutora, a rotação deverá ser corrigida pela sua relação de redução (λ).

Figura 4-11 Tacômetro

Durante a prova, quando a rotação é alterada, a embarcação demanda um certo tempo para a estabilização da velocidade. Assim, todas as medidas de velocidade devem ser feitas após esta estabilização. A faixa de velocidade medida deverá incluir aquela velocidade de serviço da etapa do regime de operação que representa o maior consumo de combustível.

4.2. Análise do Desempenho Propulsivo

Após os levantamentos descritos no subitem anterior inicia-se a análise propriamente dita. Como esta parte do trabalho envolvendo cálculos que podem ser repetidos diversas vezes, recomenda-se o uso de um software matemático.

Devido as diferentes formas de estimar ω e t , dados referentes ao empuxo, à resistência, à potência e ao torque poderão apresentar diferentes valores. Assim para facilitar o entendimento, os coeficientes δ_{superior} e δ_{inferior} serão utilizados para simbolizar os maiores e menores valores das grandezas citadas. A saber, δ_{superior} ocorrerá na combinação do menor ω e maior t , e δ_{inferior} na combinação do maior ω e menor t .

4.2.1. Estimativa da Resistência ao Avanço da embarcação em operação

Com os resultados da prova de mar serão calculados os empuxos requeridos na prova de mar pelo casco (T_{req}) para cada velocidade levantada. Isso é possível pois conhecendo as características do hélice, sua rotação e o valor de ω conhecemos seu coeficiente de empuxo (KT) que é igual ao coeficiente de empuxo requerido pelo casco (KT_{req}).

Com a velocidade da embarcação (V_s) em uma determinada rotação do hélice ($N_{hélice}$) e utilizando ω calcula-se a velocidade e o respectivo coeficiente de avanço (V_a e J) do um ponto de operação. A partir de J obtém-se os valores de KT e, consequentemente, o empuxo fornecido pelo hélice (T) que será igual ao empuxo requerido (T_{req}) para uma determinada velocidade. Utilizando a equação 3 e o coeficiente de redução da força propulsora podemos calcular a estimativa de Resistencia ao Avanço da embarcação em operação (R_{T-PM}) Equação 14. Este procedimento é repetido para todas as velocidades da prova de mar.

$$R_{T-PM} = T_{req} \cdot (1 - t) \quad (34)$$

Assim serão determinadas faixas de possíveis resistências para cada velocidade de operação obtidas na prova de mar utilizando as combinações possíveis de ω e t . O exemplo gráfico deste cálculo é mostrado em Figura 4-12.

Figura 4-12 Exemplo de Resistencias com variação de ω e t

Na continuidade de todo este trabalho serão apenas considerados os valores calculados que representam os limites $\delta_{superior}$ e $\delta_{inferior}$ de ω e t , sendo desconsideradas as combinações destes coeficientes com resultados intermediários.

Após esta etapa será estimada a resistência pelos diversos métodos citados no capítulo 3. O objetivo desta etapa é comparar os dados encontrados pelo procedimento com o calculado pelos métodos para verificar se os valores encontrados para R_{T-PM} apresentam valores aproximados daqueles previstos pelos métodos. Um exemplo desta análise é apresentado na Figura 4-13.

Figura 4-13 Exemplo das curvas de resistencia ao avanço estimadas

Cabe ressaltar que deve ser identificado se os métodos de previsão de resistência consideram a presença de apêndices e das condições médias de casco e mar.

4.2.2. Eficiência do Sistema Propulsivo

Podemos determinar a eficiência do sistema propulsivo comparando a Potência e Torque gerado pelo motor com as estimativas dos mesmos recebidos pelo hélice. Os valores gerados pelo motor podem ser obtidos através das Curvas do Motor. Os valores recebidos pelo hélice serão calculados a partir dos resultados da prova de mar que possibilitarão, através dos coeficientes do hélice, calcular o torque absorvido pelo hélice em determinado ponto de operação. Em resumo será calculado qual o torque recebido pelo hélice com os dados de sua rotação e a velocidade de avanço da embarcação.

Assim como na determinação da resistência ao avanço, a partir da prova de mar podemos obter dois valores de torque entregue pelo hélice (devido as variações de ω e t). Assim, pelo procedimento proposto, para cada análise teremos um gráfico apresentando, para uma faixa de rotação do motor, uma linha

representando o torque do motor (segundo as curvas do seu manual) e duas representando o torque requerido pelo hélice, sendo uma linha o limite superior e outra inferior (δ_{superior} e δ_{inferior}).

Este gráfico poderá ainda apresentar duas configurações. A linha do torque do motor pode se apresentar entre os limites superior e inferior demonstrando que o desempenho propulsivo está dentro de uma faixa aceitável. Ou ainda pode apresentar-se acima do limite superior demonstrando que há alguma perda na instalação propulsora referente a transmissão ou geração de torque (funcionamento do motor). A Figura 4-14 apresenta um exemplo deste gráfico.

Figura 4-14 Exemplo das curvas de Torques estimadas

As linhas inferior e superior sempre servirão como um teste de sensibilidade do procedimento. A média das distâncias entre as linhas de Torque do Motor e o Limite Superior e Inferior é igual ao torque médio perdido em determinada rotação.

No cálculo do Coeficiente Propulsivo (C_{PP}) da embarcação, considerando a potência gerada pelo motor (Pot_{motor}) e a potência recebida pelo hélice (Pot_{AP}), esta perda é matematicamente representada pela eficiência de transmissão. Como a potência Pot_{motor} é extraída das curvas do motor e não através da mensuração desta na prova de mar, pode-se dizer que a eficiência do motor também está matematicamente considerada no C_{PP} através da eficiência de transmissão.

A partir deste resultado será possível deduzir se a embarcação apresenta algum problema na instalação propulsora. Com esta constatação serão verificados quais os possíveis problemas na praça de máquinas que contribuem para esta ineficiência.

Capítulo 5 - Exemplo de aplicação do procedimento proposto

Nas visitas aos estaleiros foram procuradas embarcações em que poderiam ser realizadas a aplicação do procedimento proposto. Ao todo foram levantadas informações de 5 embarcações. Destas, duas foram analisadas durante o reparo e três foram acompanhadas durante toda a construção.

Nas embarcações em reparo houve uma dificuldade maior de obter informações, principalmente referente aos hélices pois os mesmos são retirados da embarcação pelos armadores para evitar seu furto. Por serem menores não dependem tanto da maré para subir e descer na carreira e como os estaleiros sofrem problemas de organização, quando do retorno no estaleiro para acompanhar a prova de mar a embarcação já havia partido.

Naquelas em que houve um acompanhamento durante a construção, os dados coletados são maiores. Como estas são de porte maior, dependem das grandes marés, ou seja, não é possível descer a carreira sem programação. Como a construção é longa (em média 1 ano) foi possível acompanhar inclusive o processo de decisão de escolha de hélice e motor. Em uma delas foi possível realizar provas de mar.

A Tabela 12 resume as informações coletadas e de quais embarcações/estaleiros elas pertencem.

Tabela 12 - Informações Coletadas					
	Estaleiro 1		Estaleiro 2		Estaleiro 3
	Emb.1	Emb.2	Emb.3	Emb.4	Emb.5
Serviço	Reparo	Reparo	Construção	Construção	Construção
Casco	X	X	X	X	X
Motor	X	X	X	X	X
Redutor	X	X	X	X	X
Hélice			X	X	X
Prova de Mar					X

Na sequência serão demonstrados os resultados desta coleta de dados das embarcações, seguido pela análise da Resistência ao Avanço e do Desempenho Propulsivo apenas daquela em que foi possível a aplicação de todo o procedimento.

5.1. Levantamentos das Embarcações

O levantamento do casco foi uma das tarefas mais difíceis, principalmente nas embarcações que pararam no estaleiro para reparo. Naquelas em construção, o trabalho foi facilitado pois o tempo disponível era maior, já que a construção demora cerca de um ano para ser concluída.

Como informado, foram levantadas ao todo cinco embarcações de pesca pelo método proposto, com comprimento total variando de treze a dezoito metros. A Tabela 13 apresenta um resumo destas características levantadas e a identificação dos estaleiros que as construíram. Outras características podem ser encontradas no Apêndice A.

Tabela 13 - Coeficientes de Forma

	Estaleiro 1		Estaleiro 2		Estaleiro 3
	Emb.1	Emb.2	Emb.3	Emb.4	Emb.5
Lwl (m)	12,97	12,34	16,00	15,03	14,63
Boca Mold (m)	4,03	4,06	6,10	5,180	5,18
Calado (m)	1,19	1,25	1,71	1,83	1,78
C_B	0,578	0,546	0,653	0,631	0,638
C_{SM}	0,730	0,744	0,726	0,768	0,762
C_{WL}	0,814	0,816	0,884	0,861	0,862
L/B	3,218	3,039	2,623	2,900	2,841
B/T	3,386	3,248	3,567	2,830	2,910

Quanto as características, apesar de serem construídas em três estaleiros diferentes é possível reconhecer alguns padrões nas construções. Esses padrões podem ser notados nos coeficientes de forma mostrando que as construções são variadas nas dimensões de forma proporcional. A embarcação 3 é uma ressalva pois a diferença notada, boca maior que o comum, se deve em atendimento a uma solicitação do proprietário. Na maioria dos casos o proprietário informa apenas o comprimento da embarcação e quanto ele espera carregar na urna.

Em uma das visitas ao estaleiro haviam embarcações de diferentes tamanhos. Na Figura 5-1 é possível notar a semelhança de formas das mesmas quando olhadas lado a lado. Há uma semelhança na forma dos cascos.

Figura 5-1 Construção de diversos tamanhos

Outras características semelhantes são as claras do hélice que são determinadas pelo construtor de acordo com o tamanho da embarcação, medida que posteriormente será utilizada pelo armador na compra do hélice. O ângulo de entrada da proa, está ligado com o conhecimento empírico do construtor pelo o que ele entende como “o que melhor corta a água”, em suas próprias palavras, por isso é possível notar a semelhança dentro das embarcações construídas no mesmo estaleiro. Estas medidas são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Ângulo de Entrada e Clara do Hélice

	Estaleiro 1		Estaleiro 2		Estaleiro 3
	Emb.1	Emb.2	Emb.3	Emb.4	Emb.5
Âng. Entrada (graus)	53,000	50,000	61,000	57,000	53,000
Clara do Hélice (m)	0,850	0,860	1,350	1,400	1,350

A partir dos dados coletados foi possível relacionar algumas dimensões com o L_{WL} com o objetivo de encontrar algum padrão de comportamento. Esse padrão pode ser verificado nos gráficos apresentados nas Figura 5-2, Figura 5-3 e Figura 5-4. A área da superfície molhada (S), o deslocamento e a boca moldada apresentam um comportamento quase linear em relação ao L_{WL} .

Figura 5-2 Comparação entre Comprimento e Deslocamento

Figura 5-3 Comparação entre Comprimento e Superfície Molhada

Figura 5-4 Comparação entre Comprimento e Boca

No levantamento dos cascos não foi possível fazer a comparação com outros métodos de medição, como a fotogrametria, por exemplo. Esta impossibilidade é devida ao custo envolvido em adquirir este equipamento. Porém foi feita a medição do contorno na seção mestra e do comprimento total com uma trena e comparado com os resultados dos levantamentos do método utilizado.

Há diferença entre as medidas do método e da trena. Nas medidas do contorno a diferença é percentualmente menor em comparação à medida do comprimento pois nesta última há a movimentação do equipamento o que pode alterar os resultados devido a imperícia do operador. Os erros na medida do contorno estão associados à precisão do equipamento, que é de $\pm 0,2^\circ$. A Tabela 15 apresenta o comparativo entre as medidas e a Figura 5-5 o resultado do levantamento no DelftShip.

Tabela 15 - Comparativo do Método					
	Emb.1	Emb.2	Emb.3	Emb.4	Emb.5
Comprimento (m)					
Trena	14,400	13,780	17,300	17,590	18,300
Resultado Método	14,620	13,610	17,950	17,380	18,680
Diferença	1,53%	-1,23%	1,98%	-1,19%	2,08%
Contorno (m)					
Trena	6,68	6,58	9,6	9,46	8,94
Resultado Método	6,73	6,65	9,48	9,13	8,54
Diferença	0,75%	1,06%	-1,25%	-3,49%	-4,47%

Figura 5-5 Comparativo entre a embarcação e o levantamento da geometria

Apesar das diferenças entre as medidas, o resultado pode ser considerado satisfatório pois, anteriormente, não havia nenhum material referente ao casco da embarcação e estas diferenças, nos percentuais apresentados, não alterariam significativamente os resultados da determinação da resistência ao avanço.

Quanto ao sistema propulsivo, cabe salientar os levantamentos feitos nas embarcações 3, 4 e 5. As três apresentam o mesmo motor e redutor e uma delas

diverge apenas nas características do hélice. A Tabela 16 apresenta essas características.

Tabela 16 - Características do Sistema Propulsivo

Características do Sistema Propulsivo			
	Emb 3	Emb 4	Emb 5
Clara do hélice	1,350	1,400	1,350
Profundidade do Eixo	1,270	1,400	1,380
Motor	MWM 6T12	MWM 6T12	MWM 6T12
Redutor	4,47	4,47	4,47
Hélice	AeA0	0,509	0,509
	Diâmetro	1,050	1,050
	P/D	0,967	0,967
	Z	4	4

Aqui nota-se que os projetos dos sistemas propulsivos são baseados em experiências anteriores, ou em consulta a outros armadores. É comum o pensamento neste setor que o projeto do hélice se limita a utilizar sistemas já instalados em outros barcos. Poucos são os que inovam de alguma forma, como a Embarcação 5 que consultou um fabricante de propulsor sobre qual hélice deveria instalado em sua embarcação.

Nesta última embarcação foi possível a realização da prova de mar simplificada. A prova de mar foi realizada próximo a entrada do Canal da Barra de Guarapari, na Praia do Morro. O percurso iniciou-se dentro do Canal da Barra, porém devido a navegação restrita, a prova foi realizada na Costa de Guarapari. A praia possui águas tranquilas, sendo classificada pela Capitania dos Portos do Espírito Santo como Área 1 (MARINHA DO BRASIL, 2001). Esta classificação é dada onde não sejam verificadas ondas com alturas significativas e que não apresentem dificuldades ao tráfego das embarcações.

A Figura 5-6 apresenta todo o percurso realizado. A linha vermelha representa o trecho de navegação com restrição e em amarelo o percurso da prova de mar.

Figura 5-6 Trajeto da Prova de Mar

A saída da embarcação foi realizada em condição de carga “plena na saída do porto”, ou seja, carregada para realização da pescaria (carregamento total de água, diesel e gelo). A Figura 5-7 mostra o carregamento de gelo que representou 65% do total da carga.

Figura 5-7 Carregamento para Viagem

Antes da partida também foi levantado o calado carregado. O calado médio entre vante e ré foi de 2,08. A Figura 5-8 demonstra a diferença das linhas de calado leve e carregado na proa, com destaque nas réguas.

Figura 5-8 Variação de Calado para Viagem

A prova foi realizada com o auxílio do GPS da embarcação e o conta-giros do seu motor, este último mostrado na Figura 5-9. Um tacômetro digital foi utilizado para aferição do conta-giros. A Figura 5-10 apresenta o GPS no momento em que a embarcação atingiu sua velocidade máxima.

Figura 5-9 Painei do Motor

Figura 5-10 Máxima leitura do GPS

Na prova foram coletados a rotação do motor (N_{motor}) e a velocidade de serviço (V_s). Apesar do motor atingir sua potência máxima à 2500 rpm, a rotação máxima atingida na prova de mar foi 1600 rpm, com o acelerador ao máximo (full throttle). Estes resultados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados da Prova de Mar

Velocidade (nós)	Rotação (rpm)
5,70	1000
6,80	1200
7,50	1400
8,30	1600

Por apresentar um levantamento mais completo todas as avaliações da resistência ao avanço, bem como do desempenho propulsivo, serão baseadas na embarcação 5.

5.2. Desempenho Propulsivo da embarcação

5.2.1. Estimativa dos coeficientes ω e t

Conforme apresentado no Capítulo 3, os coeficientes ω e t podem apresentar valores diferentes de acordo com a regressão matemática utilizada. A Tabela 18 a seguir apresenta os valores de ω e t para as regressões pesquisadas.

Tabela 18 - Coeficientes ω e t calculados

Regressão	ω	t
Heckscher	0,2636	0,2436
BSRA	0,2791	0,2766
Fyson	0,2568	0,2997
Oortmerssen	0,2253	0,2082

Estes coeficientes terão influência em todos os resultados da análise de desempenho e neste trabalho serão utilizados os valores máximos e mínimos de w e t e sua combinação conforme justificado no item 4.2. Na Tabela 19 são mostradas estas combinações e as eficiências do casco correspondentes:

Tabela 19 - Coeficientes ω , t e e_h

	ω	t	e_h
$\delta_{inferior}$	0,2791	0,2082	1,098349
$\delta_{superior}$	0,2253	0,2997	0,903963

5.2.2. Estimativa do desempenho do hélice

A embarcação 5 apresenta hélice da série Gawn (informação confirmada com o fabricante). Apesar dos estudos desta série se limitarem a hélices de 3 e 4 pás, o mesmo apresenta cinco pás. Neste estudo será utilizado o trabalho de Blount e Hubble (1981) para o cálculo de KT e KQ para hélices com cinco pás justificado pelos seguintes fatores:

- que não foram encontrados estudos da série Gawn com cinco pás
- que nos estudos referente a 3 e 4 pás os resultados apresentam KT e KQ ligeiramente superiores (aproximadamente 15%) à série B-Troost
- que na regressão matemática proposta pelos referidos autores os coeficientes da equação são independentes para cada característica do hélice.

Assim realizou-se o cálculo do KT da série Gawn para um hélice de pás e comparou-se com um hélice de mesmas características geométricas da série B-Troost. Estes resultados e a comparação são mostrados na Figura 5-11. A diferença percentual os coeficientes se manteve no mesmo percentual indicado por Blount e Hubble (1981) para a faixa de J de operação (0,45). No APENDICE B é apresentado os comparativos de KT e KQ para 3, 4 e 5 pás.

Figura 5-11 Comparativo de KT

Para as condições de operação na prova de mar, são apresentados na Tabela 20 os coeficientes KT_{req} , KQ , J_{ope} e eficiência (η_h) do hélice.

Tabela 20 - Coeficientes de Desempenho do hélice

N_{motor} (rpm)	$\delta_{inferior}$				$\delta_{superior}$			
	J_{ope}	KT_{req}	KQ_{ope}	η_h	J_{ope}	KT	KQ	η_h
1000	0,4724	0,2170	0,0294	0,55	0,5077	0,1983	0,0274	0,58
1200	0,4697	0,2184	0,0294	0,56	0,5047	0,1998	0,0275	0,58
1400	0,4440	0,2317	0,0308	0,53	0,4771	0,2144	0,0290	0,56
1600	0,4299	0,2389	0,0315	0,52	0,4620	0,2223	0,0298	0,55

5.2.3. Escolha do método de previsão da Resistencia ao Avanço e estimativa da Resistencia ao Avanço da embarcação em operação

Os coeficientes KT_{req} e J_{ope} , apresentados da Tabela 20 juntamente com os resultados da prova de mar foram utilizados nos cálculos das resistências máximas e mínimas ($\delta_{superior}$ e $\delta_{inferior}$) que a embarcação exige para uma determinada velocidade, considerando os apêndices do casco. A Figura 5-12 apresenta estes resultados de forma gráfica.

Figura 5-12 Máximo e Mínimo RT-casco

A Figura 5-13 apresenta os resultados de resistência ao avanço das séries e regressões pesquisadas comparadas com os limites ($\delta_{superior}$ e $\delta_{inferior}$) da estimativa de resistência ao avanço da prova de mar realizada.

Figura 5-13 Resistências e Limites de ω e t

O método de Ridgeley-Nevitt não foi utilizado pois a embarcação está fora do seu limite de aplicação. O Método de Hayes apresenta uma limitação em relação a velocidade menores e nesta embarcação não será utilizada pois, apesar de apresentar resultados entre $\delta_{superior}$ e $\delta_{inferior}$, em seu cálculo foi considerado o casco nu.

Um comportamento anômalo entre as velocidades de 6,5 e 8,5 é notado no método de Van Oortmerssen devido a embarcação estar um pouco acima do limite de aplicação do método, porém a variação ocorre próximo ao método da série UBC. Estas duas últimas acompanham o limite $\delta_{inferior}$, porém abaixo deste, que pode ser justificado pois estes representam a resistência com o casco sem apêndices.

A distância média entre as médias das resistências $\delta_{superior}$ e $\delta_{inferior}$ e a série UBC é de 39%. Em diversos estudos sobre a resistência ao avanço, diversos autores afirmam que a parcela adicional devida a apêndice deveria ser testada caso a caso sendo difícil determinar tal porcentagem. Lasky (1980), em estudo elaborado pela Marinha dos Estados Unidos, realizou alguns destes testes encontrando valores adicionais da ordem de 27%.

Para compreender melhor a geometria do casco, foram gerados dois cascos da série UBC como mesmas dimensões de L, B e T da embarcação testada, porém com diferentes coeficientes de bloco. A embarcação de pesca apresenta coeficiente de bloco 0,634, ligeiramente a cima da maior da série $C_B=0,615$, conforme mostrado na Tabela 21.

A Tabela 22 mostra o adimensional da área das balizas, ou seja, a razão entre área da baliza e área da seção mestra. Outra semelhança entre a embarcação testada e a da série UBC está no fato da embarcação de pesca apresentar em 40% do comprimento diferença menor que 8% deste adimensional. Na Figura 5-14 é apresentado o desenho da baliza da seção mestra embarcação de pesca e dos cascos gerados a partir da série UBC.

Os modelos testados da série UBC apresentam duas quinas, diferentemente da embarcação testada. Porém, conforme informado pelos próprios autores da série, a diferença entre a resistência do modelo com duas quinas e o modelo com bojo arredondado é pequena, sendo escolhido o primeiro por questões de custo de construção dos modelos.

Com estes resultados, podemos deduzir que a utilização da série UBC para predição da resistência ao avanço da embarcação estudada é válida.

Tabela 21 - Características dos cascos UBC e Pesca

	L	B	T	Cb	Cp	V	$L/V^{1/3}$
UBC (Cb 0,531)	14,500	5,170	1,780	0,531	0,642	68,053	3,552
UBC (Cb 0,615)	14,500	5,170	1,780	0,615	0,685	82,064	3,337
Emb.5	14,500	5,170	1,780	0,634	0,695	84,600	3,303

Tabela 22 - Adimensional de área de balizas

Posição da Baliza	Bal 0	Bal 1	Bal 2	Bal 3	Bal 4	Bal 5	Bal 6	Bal 7	Bal 8	Bal 8 1/2	Bal 9	Bal 9 1/2	Bal 10
	0,000	1,450	2,900	4,350	5,800	7,250	8,700	10,150	11,600	12,325	13,050	13,775	14,500
Série UBC	0,307	0,538	0,751	0,902	0,992	1,000	0,931	0,775	0,558	0,430	0,293	0,147	0,000
Emb.5	0,000	0,359	0,691	0,875	0,960	1,000	0,994	0,935	0,771	0,614	0,410	0,151	0,000

Figura 5-14 Comparativo de seção mestra

5.2.4. Estimativa do Desempenho Propulsivo

Com os dados levantados na prova de mar, mostrados na Tabela 17 podemos levantar a potência e torque do motor para as diversas rotações levantadas. Destes valores já foram descontados a potência dos acessórios desta embarcação (duas bombas de água e dois alternadores). Os valores são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Dados do Motor em Operação

Rotação (RPM)	Pot_{motor} (kW)	Q_{motor} (N.m)
1000	78	740
1200	100	792
1400	125	849
1600	153	910

Utilizando os coeficientes de desempenho do hélice KQ (apresentados na Tabela 20), da rotação e da velocidade de serviço na prova de mar foram calculados os torques fornecidos ao hélice máximo e mínimo para os pontos de operação. Estes valores são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores do Torque fornecido ao hélice

N_{motor} (rpm)	N_{hélice} (rps)	Q_{hélice} (N.m)	
		δ_{superior}	δ_{inferior}
1000	3,73	1042	972
1200	4,47	1501	1404
1400	5,22	2141	2015
1600	5,97	2859	2705

A figura a seguir apresenta um gráfico da rotação em relação aos torques do motor e de $\delta_{superior}$ e $\delta_{inferior}$, sendo o torque do motor multiplicado pela relação de redução (λ).

Figura 5-15 Torques do Motor e do hélice

Considerando os torques $Q_{\text{hélice}}$ é estimada a potência fornecida ao hélice (Pot_{AP}), apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Potência fornecida ao hélice

Nmotor (rpm)	Pot _{AP} (kW)	
	δ _{superior}	δ _{inferior}
1000	24	23
1200	42	39
1400	70	66
1600	107	101

Com as potências levantadas na curva do motor (Pot_{motor}) juntamente com as potências apresentadas acima é determinado a eficiência de transmissão (η_t). Deve-se observar que neste trabalho está se admitindo que esta eficiência de transmissão possa, também, incluir as perdas de energia útil no motor devido sua operação em condições inadequadas quando comparadas com as condições existentes no levantamento de suas curvas em condições nominais de operação, conforme explicado no capítulo anterior. A Tabela 26 apresenta as eficiências η_t para as diversas rotações de operação do motor.

Tabela 26 - Eficiências de Transmissão

Nmotor (rpm)	η_t	
	δ _{inferior}	δ _{superior}
1000	0,38	0,35
1200	0,44	0,41
1400	0,58	0,54
1600	0,71	0,68

Assim, a Tabela 27 apresenta os valores dos coeficientes propulsivos (C_{PP}) considerando: as eficiências do casco apresentada na Tabela 19; as eficiências do propulsor apresentadas na Tabela 20; as eficiências de transmissão apresentadas na Tabela 26; e que a eficiência relativa rotativa para embarcações de pesca tem valores aproximados de 1,05, conforme indicada por Boer (1970).

Tabela 27 - Coeficiente Propulsivo

Nmotor (rpm)	C_{PP}		
	$\delta_{superior}$	$\delta_{inferior}$	Média
1000	0,1844	0,2534	0,2189
1200	0,2167	0,2959	0,2563
1400	0,2734	0,3726	0,3230
1600	0,3329	0,4520	0,3925

Apesar de haver a coleta de dados em diversas rotação, apenas a última pode ser considerada na avaliação do desempenho propulsivo. Isto se deve ao fato desta rotação ser atingida com o acelerador do motor em posição máxima (*full throttle*), fazendo com que a comparação com as curvas de desempenho do motor, apresentadas pelo fabricante, apresente menores distorções.

Capítulo 6 - Análise dos Resultados

Em uma primeira análise dos resultados encontrados, a elevada perda no sistema poderia ser em função de algum erro de cálculo ou nos dados levantados na prova de mar. Assim, primeiramente foram consultadas informações sobre estimativa da potência do motor em embarcações de pesca.

Fyson (1985) apresenta uma forma simplificada de estimar a potência de máquinas instalada em embarcações de pesca. De forma gráfica, é apresentada a potência ótima, considerando um coeficiente propulsivo de 50%, e potência média, considerando 45%. Para a embarcação analisada estima-se, para a velocidade de 8 nós, um motor de 50 kW de potência ótima e 65 kW de média, bem abaixo da potência instalada atualmente (152 kW) porém próximas às calculadas pelo procedimento ($\delta_{superior} \approx 90$ kW e $\delta_{inferior} \approx 85$ kW).

A Figura 6-1 apresenta a Potência fornecida ao hélice ($\delta_{superior}$ e $\delta_{inferior}$) calculada pelo procedimento proposto neste trabalho, a Potência Instalada sugerida por Fyson e a Potência Instalada atualmente na embarcação. Nota-se que a potência indicada por Fyson é próxima ao procedimento proposto excluindo-se assim possíveis erros nos cálculos.

Figura 6-1 Potências

Visando dirimir dúvidas quanto ao levantamento dos dados na prova de mar (P.M), esta foi refeita com um olhar mais crítico em relação a praça de máquinas

e ao seu modo de operação. Assim foram levantados novamente os dados de rotação e velocidade. A Tabela 28 mostra um comparativo entre as duas provas.

Tabela 28 - Comparativo das Provas de Mar

Rotação (rpm)	Velocidade (nós)	
	1ª P.M	2ª P.M.
1000	5,7	6,0
1200	6,8	6,7
1400	7,5	7,2
1600	8,3	8,1

Os dados não apresentaram valores diferentes dos levantados na primeira prova. Porém foram observadas possíveis causas de perda relacionadas ao ambiente da praça de máquinas e sua instalação.

6.1. Possíveis causas de perda de eficiência

Partindo do princípio que todos os cálculos estavam corretos, iniciou-se uma investigação de quais outros fatores poderiam afetar o Desempenho Propulsivo da embarcação. Foram levantados problemas na praça de máquinas relacionados à sua instalação, adaptações e ao seu ambiente de operação. Estas possíveis causas são apresentadas a seguir.

Não se pretende aqui discutir sobre o percentual de perda que cada um desses problemas pode causar, mas apresentar a ocorrência destes. A perda percentual pode ocorrer em maior ou menor grau em cada um destes, ou ainda pode ser agravada devido à combinação destes fatores.

6.1.1. Temperatura do ambiente de operação

Primeiramente foi observada a temperatura da praça de máquinas com o auxílio de um termômetro. Em 40 minutos de prova a temperatura medida não estabilizava, demonstrando não ter atingido a temperatura máxima em operação. Não foi possível esperar a temperatura se estabilizar na praça de máquinas sendo

registrada a temperatura de 60°C em seu interior e 29,9°C em seu, conforme mostrado na Figura 6-2.

Figura 6-2 Temperaturas na Prova de Mar

A temperatura do ambiente influencia diretamente a eficiência do motor devido à diminuição da densidade do ar e, conseqüentemente, a massa de ar admitida pelo motor.

Essa massa de ar tem reflexo direto na combustão conforme indicado por Abassi et al (2010). Em seu trabalho ele comparou diversos parâmetros do motor em relação a temperatura do ar de admissão e concluiu que há um melhor rendimento em temperaturas menores. Na mesma linha de raciocínio, Salih (2006) estudou os efeitos da variação da temperatura de admissão nos parâmetros de performance e eficiência volumétrica de um motor diesel. Os parâmetros foram medidos para temperaturas variando de 25 a 85°C em diferentes rotações. Estas variações diminuíram em 5 a 8% a potência do motor nas maiores temperaturas.

Para diminuir a temperatura da praça de máquinas há a necessidade de uma mínima circulação de ar que mantenha o ambiente com uma temperatura que não prejudique o rendimento do motor. Fyson (1985) sugere que para cada 1hp de potência do motor é necessário 15m³/h de ar entrando na praça de máquinas. Este volume seria para resfriar a praça de máquinas e para admissão do motor.

A embarcação testada tem duas tomadas de ar de 35x20cm. Sua tubulação termina no teto à vante da praça de máquinas (região próxima ao número 1 indicado

na Figura 6-3) e não há saída de ar, o que torna a circulação de ar ineficiente. Considerando as entradas disponíveis, na velocidade de operação da embarcação há uma entrada de 2000 m³/h de ar sendo que o mínimo sugerido por Fyson (1985) seria de 4350m³, ou seja, o sistema atual fornece menos de 50% da circulação de ar necessária. Esta circulação deficitária justifica a alta temperatura na praça de máquinas.

Figura 6-3 Tomadas de ar da embarcação

A circulação de ar poderia ser melhorada prolongando a tubulação da entrada de ar até o piso (próximo ao motor) e instalando tubos semelhantes à ré da praça de máquinas para a saída de ar. Além disso, devido ao baixo volume de ar admitido, a ventilação forçada mecanicamente auxiliaria esta circulação.

6.1.2. Temperatura do líquido de arrefecimento

Como nestas embarcações o sistema de refrigeração é dimensionado empiricamente, na segunda prova de mar a temperatura de operação do motor foi observada. Após 40 minutos de prova o motor apresentava temperaturas na ordem de 50°C. Segundo o mestre da embarcação, a temperatura em longos períodos de operação se estabiliza em 70°C.

Não foi possível medir a temperatura do líquido de arrefecimento, mas se pode deduzir que ela é menor que o recomendado pelo fabricante do motor. Segundo o manual este sistema reserva de 30 a 35 litros e a troca de calor é efetuada com o

ar. No sistema instalado a capacidade é de 50 litros com uma serpentina instalada no exterior do casco trocando calor com a água do mar, ou seja, a grande quantidade de água e a troca de calor fazem com que o líquido se mantenha abaixo da temperatura recomendada.

A recomendação do fabricante é que a temperatura do motor se mantenha por volta de 90°C e para isso utiliza uma válvula termostática que retém ou libera o líquido para manter essa temperatura. A existência desta válvula descartaria a hipótese de resfriamento excessivo do motor.

Ao consultar os armadores e estaleiros, em relação a instalação do motor, descobriu-se a prática comum de retirada da válvula termostática. Este procedimento é feito para, em suas palavras, evitar o aquecimento do motor. O problema no desconhecimento por parte dos construtores da existência de uma temperatura ideal de funcionamento.

Devido a esta temperatura ideal, poucos são os trabalhos que estudam o funcionamento do motor em baixas temperaturas. Gazon et al (2008) testou a influência de diferentes temperaturas do líquido refrigerante (20 a 80°C) em parâmetros do motor diesel. Seu estudo visa, principalmente, a análise da emissão de ruído (som) e vibração. Nas temperaturas mais baixas, estes autores relatam perdas de torque da ordem de 15%, pois a injeção de combustível no motor se mantém constante para determinada rotação do motor.

Assim como no motor estudado por Gazon et al (2008), o motor da embarcação analisada injeta combustível de acordo com a rotação do motor, não possuindo injeção eletrônica. Nos motores com sistemas eletrônicos, a central de comando também analisa a temperatura do motor no controle da injeção para manter o torque constante, injetando mais combustível quando a temperatura está abaixo do ideal. Assim é justificada a diminuição do torque entregue pelo motor ao sistema pois, como a quantidade de combustível é a mesma, uma parcela do calor gerado pela queima do combustível é apenas para o motor atingir a temperatura ideal de operação, não gerando torque.

Neste tópico analisado, o empirismo pode influenciar negativamente no rendimento da embarcação. Um dimensionamento do sistema de refrigeração do motor e a utilização da válvula termostática melhorariam o desempenho propulsivo.

6.1.3. Alinhamento do Eixo

Quando da instalação do motor, eixo e hélice na praça de máquinas os estaleiros não realizam um correto alinhamento do sistema o que pode gerar um torque adicional no sistema e um desgaste excessivo. Além disso, o fato de não se realizar alinhamento e uma manutenção constante no sistema impede os pescadores de utilizar selo mecânico ao invés da gaxeta na vedação do tubo telescópico.

O selo mecânico apresenta melhor eficiência e vedação em relação a gaxeta, porém sua instalação depende de um alinhamento preciso e manutenções constantes. A não execução destas ações fazem com que os armadores escolham o sistema de gaxeta justificado pela facilidade e baixo custo de aquisição. O sistema com gaxeta também gera um atrito excessivo no eixo. No longo prazo, o desalinhamento juntamente com a gaxeta gera desgaste no mesmo.

O eixo tem contato com dois pontos no tubo telescópico. No ponto de contato externo (esquerda da Figura 6-4), o eixo é apoiado em um mancal com bucha de neoprene e internamente em um mancal com bucha de bronze (direira da Figura 6-4) que também aperta a gaxeta no conjunto.

Figura 6-4 Mancais do Tubo Telescópico

A área de contato entre eixo e bucha é maior no ponto externo do tubo. Porém devido ao desalinhamento, o desgaste é excessivo em ambos havendo até perda de material no eixo. Como a embarcação testada é nova, foi verificado um eixo com maior tempo de uso encontrado no estaleiro, trocado de uma outra embarcação.

Na Figura 6-5 nota-se o desgaste no eixo no lado externo da embarcação (bucha com maior área de contato). O desgaste indicado pelo numeral “1” é de menor profundidade (em relação ao raio do eixo) porém de maior extensão.

Figura 6-5 Desgaste externo

Na Figura 6-6, no lado interno da embarcação, o desgaste é notado em dois níveis: o primeiro no contato com a bucha (indicado pelo numeral “1” na figura), de menor profundidade, e o segundo no contato com a gaxeta (indicado pelo numeral “2” na figura) de maior profundidade. Em ambos os pontos de contato (interno e externo) o desgaste no eixo é visível a olho nu.

Figura 6-6 Desgaste interno

Para ter-se uma noção de valores da perda em função do desalinhamento, foi realizado um teste de bancada. Neste teste, um motor elétrico foi conectado por um flange (acoplamento rígido) a um eixo apoiado em dois mancais de rolamento. Este experimento difere da realidade pela escala, pelo uso de mancais de rolamento (na embarcação usa-se mancal de deslizamento) e a ausência de uma carga no outro extremo do eixo (hélice).

Figura 6-7 Ensaio de desalinhamento

O conjunto foi submetido a diversos desalinhamentos. O desalinhamento foi feito diminuindo a altura do calço do motor (Figura 6-8). Como o motor é mantido a uma amperagem constante, a eficiência perdida pode ser medida na rotação do eixo que diminui quanto menor a eficiência.

Figura 6-8 Motor desalinhado

Após o desalinhamento o flange é apertado. Este aperto gera forças adicionais nos mancais fazendo com que o mesmo aqueça demasiadamente diminuindo a eficiência do sistema. A Tabela 29 apresenta a perda percentual de potência/torque e a variação de temperatura dos mancais.

Tabela 29 - Perdas pelo desalinhamento					
Dados do Conjunto Mecânico	Desalinhamento (graus)	0,00	0,86	1,43	1,72
	Rotação (rpm)	1792	1783	1777	1770
	Perda %	0	0,50%	0,84%	1,23%
Temperatura dos Mancais (°C)	Mancal 1	23	29,2	32,3	33,8
	Mancal 2	23	27	29,1	31,1

Estes números apenas apresentam que há perdas devido ao desalinhamento. Não se pretende estimar a perda, porém estes números podem ser maiores pois o sistema real apresenta condições mais desfavoráveis a eficiência no desalinhamento como, por exemplo, o mancal de deslizamento e a gaxeta. O peso do hélice seria outro fator desfavorável pois aumentariam a força aplicada nos mancais.

Os estaleiros não utilizam procedimentos de alinhamento quando da instalação do motor. O alinhamento é feito de forma visual, o que justifica o desgaste encontrado nos eixos de embarcações com maior tempo de uso. A utilização de técnicas como o alinhamento a laser, relógio comparador, entre outras técnicas melhorariam a vida útil do material e o desempenho propulsivo da embarcação.

6.2. Análise econômica da melhoria do Desempenho Propulsivo

Toda essa ineficiência do sistema propulsivo tem impacto direto ao pescador. O desempenho propulsivo afeta diretamente o custo operacional. A Tabela 30 apresenta o consumo específico de combustível (CEC) do motor utilizado.

Tabela 30 - CEC Motor Atual		
Rotação (rpm)	Potência (kW)	Consumo (l/h)
1000	68	19
1200	106	27
1400	135	32
1600	162	37

Para a embarcação estudada o motor MWM 229, vendido na região a R\$ 35.000, atenderia as demandas de Torque calculadas pelo procedimento proposto, nas velocidades consideradas na prova de mar, conforme apresentado na Tabela 31.

A Tabela 32 apresenta a CEC e Potência do novo motor e apresenta o Torque fornecido ao hélice (calculado pelo procedimento) e o torque entregue pelo novo motor (extraídos da curvas do motor) considerando λ .

Tabela 31 - Novo Motor

N_{motor} (rpm)	Q_{motor} * λ (N.m)	Q_{hélice} (N.m)
1000	1.052	900
1200	1.333	1290
1400	1.804	1703
1600	2.630	2088

Tabela 32 - CEC Novo Motor

N_{motor} (rpm)	Potência (kW)	Consumo (l/h)
1000	25	9
1200	38	12
1400	60	14
1600	100	18

Para o cálculo do Programa de Subvenção de Óleo Diesel (MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA, 2011) é considerado 16 horas por dia e 270 dias por ano o tempo médio de operação de uma embarcação de pesca de espinhel e isca viva, totalizando 4320h/ano. Para determinar a quantidade de Diesel que será subsidiada à embarcação, o MPA utiliza a quantidade de 0,0963 litros por hp de potência instalada multiplicado pelo tempo total de operação em um ano.

Analisando os dois consumos possíveis conclui-se que é possível a diminuição do custo operacional devido ao consumo de combustível. A Tabela 33 apresenta a quantidade de litros consumido por ambos motores para a rotação de 1600 rpm (rotação escolhida devido apresentar a melhor análise sobre o desempenho propulsivo atual da embarcação). Em um ano de operação seria possível uma economia de R\$ 199.454 (51%), valor mais que suficiente para a compra do motor novo.

Tabela 33 - Comparativo dos Custos de Operação

	Atual	Novo
Consumo (litros)	MWM 6T12	MWM 229
por hora	37	18
por dia (16 h)	592	288
por Viagem (15 dias)	8.880	4.320
por Ano (4320 h)	159.840	77.760
Custo por ano (R\$)*	388.411	188.957
*Diesel Subsidiado (-25%) - R\$ 2,43		
**Preço Médio do Diesel no ES – 3,04		

De abril a dezembro de 2015, o governo subsidiou no estado do Espírito Santo um total de 1.504.176 litros de Diesel para 48 embarcações (MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA, 2015). Como a quantidade de litros subsidiado é calculada pela potência máxima do motor, esta diminuição diminuiria o custo do subsídio para o governo. Apenas para esta embarcação, a economia para o Estado seria de aproximadamente R\$ 23.297.

Tabela 34 - Custo Governamental

	Atual	Novo
	MWM 6T12	MWM 229
Potência Total (HP)	285	173
Total Subsidiado (litros/ano)	118.565	71.971
Custo (R\$)*	59.282	35.985
*custo do subsídio R\$ 0,48/litro		

Assim, a avaliação do Desempenho Propulsivo das embarcações de pesca auxiliaria não só os pescadores, mas o Brasil como um todo, pois parte deste custo é do Estado. Ressalta-se que esta economia não representa o fim do subsídio, mas sim que o número de pescadores atendidos pelo programa poderia ser aumentado.

Capítulo 7 - Conclusões

Conforme apresentado no capítulo de introdução, os principais objetivos propostos para este trabalho foram: (1) a proposição de um procedimento simples para a avaliação e análise do desempenho propulsivo de embarcações pesqueiras; (2) proposição de métodos simples para o levantamento das informações sobre o casco, seu desempenho e a instalação propulsora, necessárias para a adequada aplicação do procedimento de análise. Além destes foram propostos também os seguintes objetivos secundários: (1) o levantamento das características da frota pesqueira artesanal do Espírito Santo; e (2) a identificação dos tipos de embarcação responsáveis pela maior parte da produção pesqueira do Estado.

O procedimento proposto está detalhadamente descrito no capítulo 4 envolvendo a combinação de técnicas de análise da engenharia e de levantamento de informações suficientemente simples para a sua aplicação nas condições do setor pesqueiro artesanal do Espírito Santo.

A validação do procedimento foi realizada através de sua aplicação em diferentes embarcações encontradas nos estaleiros visitados durante o trabalho. Em várias destas embarcações a aplicação não se deu de forma completa, uma vez que não se teve condições de realizar a prova de mar em todas as embarcações disponíveis. Para uma delas, no entanto, o procedimento foi completamente aplicado e os resultados obtidos estão detalhadamente descritos no capítulo 5. A validação destes resultados foi realizada, primeiramente, através da comparação da resistência estimada com aquelas levantadas a partir das equações de regressão programadas nos algoritmos implantados no procedimento. Complementado a validação, comparou-se a estimativa da potência entregue ao hélice durante os testes da prova de mar com valores fornecidos através da aplicação do método proposto por Fyson (1985) e descrito no capítulo 6. Estas comparações indicam que os resultados obtidos através do procedimento são bastante coerentes com aqueles obtidos através dos métodos empregados para validá-los.

A posterior comparação dos resultados de potência entregue ao hélice com a potência nominal que supostamente o motor estaria fornecendo nas rotações impostas na prova de mar, mostraram que a instalação propulsora da embarcação apresenta significativa perda de energia na condição de operação considerada.

Apenas a rotação máxima, de 1600 rpm, foi considerada na análise do desempenho propulsivo por ser aquela atingida na máxima aceleração do motor. Os valores médios encontrados das perdas de energia útil nesta rotação, com a aplicação do procedimento proposto, situaram-se entre 29 e 32%.

As perdas verificadas são, aproximadamente, da mesma ordem de grandeza que se observaria através do método de Fyson (1985). A diferença entre a potência encontrada pelo método proposto e a sugerida por Fyson pode ser atribuída à forma otimizada do casco e da integração casco-motor-hélice observada nas embarcações apresentadas por este autor. Isto demonstra que há uma margem de eficiência que pode ser alcançada na melhoria destes dois parâmetros para as embarcações pesqueiras do Espírito Santo.

De posse destes dados procedeu-se, na sequência, um estudo das possíveis principais causas das perdas de energia e identificou-se que as mesmas poderiam estar associadas a: (1) à alteração do sistema de refrigeração do motor (ausência da válvula termostática); (2) ao dimensionamento da praça de máquinas (circulação de ar ineficiente); (3) à instalação do conjunto motor-redutor-eixo (alinhamento/desalinhamento); (4) e ao uso de mancais e tubos telescópicos inadequados na instalação do eixo.

A adaptação “padronizada” (igual para todos os barcos independente do motor) do sistema de arrefecimento pode ter um reflexo na eficiência pois os motores são resfriados demasiadamente por dois fatores: o dimensionamento do trocador de calor e a retirada da válvula termostática. A adaptação do sistema de refrigeração deveria ser estudada especificamente para o motor instalado e, para qualquer caso, a válvula termostática não deve ser retirada.

A entrada de ar na praça de máquinas é outro fator crítico pois o seu volume não é suficiente para a refrigeração do ambiente fazendo com que seja feita a admissão de ar quente no motor influenciando na sua eficiência volumétrica. O tamanho da entrada e saída de ar e ainda a sua circulação forçada mecanicamente deveriam ser dimensionadas para cada embarcação/motorização.

A falta de alinhamento adequando utilizando técnicas mecânicas, além de contribuir para a ineficiência do sistema, causa um desgaste excessivo do material (eixo e buchas). O alinhamento correto também traria benefício na eficiência pois possibilitaria o uso de elementos de vedação e suporte do eixo mais modernos como o selo mecânico, por exemplo.

Ao final da análise realizou-se uma estimativa da possível redução do consumo de combustível que tais melhorias poderiam proporcionar ao armador. Esta estimativa, para a embarcação analisada, mostrou que, na média, a redução do consumo poderia chegar a 51%, conforme mostrado no capítulo 6.

Estes resultados mostram que é possível melhorar, de forma significativa, a eficiência do sistema propulsivo das embarcações de pesca, através de pequenas medidas de baixo custo, proporcionando para os pescadores uma importante redução no gasto com combustível, que, como visto, é o item de maior peso no custo operacional total da embarcação.

O levantamento das características da frota pesqueira e a identificação do tipo de pesca e embarcação mais importante no Espírito Santo estão detalhadamente apresentados no capítulo 2, atendendo plenamente o que foi proposto como objetivos secundários do trabalho.

7.1. Sugestão para Trabalhos Futuros

Com base nas dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento do trabalho e em possíveis ideias para melhoria do procedimento proposto sugere-se os seguintes temas para futuros trabalhos relacionados com o desempenho das embarcações de pesca:

- Um estudo específico sobre resistência ao avanço das embarcações de pesca brasileiras com o objetivo de melhorar o entendimento do comportamento e desempenho deste tipo de embarcação;
- Um estudo sistemático do comportamento de hélices da série Gawn para hélice com número de pás superior a 4;
- A análise do desempenho de motores submetidos a condições adversas àquelas encontradas quando do teste de bancada para a elaboração de suas curvas de desempenho original, variando a temperatura de admissão e a temperatura do líquido de arrefecimento;
- Um estudo em bancada da perda de energia em um sistema de máquina devido ao torque adicionado nos mancais quando do desalinhamento de eixos;
- O uso do procedimento proposto neste trabalho em um número maior de embarcações e, quando sugerida alterações para a melhoria de eficiência, uma reaplicação do mesmo para a avaliação após as devidas modificações;

REFERÊNCIAS

ABASSI, A; KHALILARYA, Sh; JAFARMADAR, S. The influence of the inlet charge temperature on the second law balance under the various operating engine speeds in DI Diesel engine. **Fuel: The science and technology of fuel and energy**. Irã, p. 2425-2432. 14 maio 2010.

ARNAIZ, J C. **Escolha de hélices para embarcações pesqueiras: aplicação ao caso peruano**. 1996. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Naval, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ASOCIACION DEPORTIVA DE PESCA. **Pesca al cerco**. 2007. Disponível em: <<http://www.clubdelamar.org/cerco.htm>>. Acesso em: 3 nov. 2013.

ASSUMPÇÃO, Roberto de; GIULIETTI, Nelson. Agricultura em São Paulo. **Indústria Pesqueira no Brasil**, São Paulo, p.95-126, 24 abr. 1995.

AYDIN, M; A SALCI,. Resistance Characteristics of Fishing Boats Series of ITU. **Marine Technology**, [s. L.], v. 45, n. 4, p.194-210, out. 2008. Disponível em: <akademi.itu.edu.tr/maydin/DosyaGetir/29756/3.pdf?>. Acesso em: 10 nov. 2013.

BERNITSAS, M.m; RAY, D.; KINLEY, P.. **Kt, Kq and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propeller**. 1981. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Marine Engineering, College Of Engineering, University Of Michigan, Ann Arbor, 1981.

BERTRAM, Volker. **Practical Ship Hydrodynamics**. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2012. 382 p.

BLOUNT, D.L.; HUBBLE, E.N. **Sizing for segmental section commercially available propellers for small craft**. Propellers 1981 Conference, Trans. SNAME; 1981

BOER, E.j. de. **Comment on the use of Brake Horse Power as a parameter for the fishing power**. Ijmuiden: Netherlands Fisheries Research Department, 1970. 15 p. Disponível em: <http://www.ices.dk/sites/pub/CM_Documents/1970/Special_Meeting_on_Measurement_of_Fishing_Effort/1970_Special_Meeting_on_Measurement_of_Fishing_Effort_15.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.

BRASIL. Lei nº 11959, de 29 de junho de 2009. Dispõe sobre Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca. **Lex**. Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/Lei/L11959.htm>. Acesso em: 05 out. 2013.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos - Pr. Brasil. **Brasil 2022 - Aquicultura e Pesca**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.sae.gov.br/brasil2022/?p=272>>. Acesso em: 27 dez. 2012

CALISAL, Sander M.; HOWARD, David; MIKKELSEN, Jon. A Seakeeping Study of the UBC Series. **Marine Technology**. p. 10-23. jan. 1997.

CALISAL, Sander M; MCGREER, Dan. A resistance study on a Systematic Series of low L/B vessels. *Marine Technology*. p. 286-296. out. 1993.

CARLTON, John. **Marine Propellers and Propulsion**. 2. ed. Burlington: Butterworth-heinemann, 2007.

CARVALHEIRO, P G. **Modelo de análise e projeto de embarcações pesqueiras**. 1981. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

DOUST, D J. Statistical analysis of resistance data for trawlers. In: JAN-OLOF TRAUNG (Roma). The Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Fishing Boats of the World**. Roma: Fao, 1960. p. 370-387.

FAO - The Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fishery and Aquaculture Statistics**. Roma: Fao, 2010.

FAO - The Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fuel savings for small fishing vessels**. Roma: Fao, 2012.

FAO - The Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Handbook of Fishery Statistical Standards**. Roma: Fao, 2002.

FYSON, J. **Design os small fishing Vessel**. Roma: Fao - The Food And Agriculture Organization Of The United Nations, 1985.

GAWN, R.W.L **Effect of pitch and blade width on propeller performance**. Transactions of the Institution of Naval Architects. Vol 95, 1953

GAWN, R.W.L; BURRIL L.C. **Effects of cavitation on the performance of a 16 inch model propeller**. Transactions of the Institution of Naval Architects. Vol 99, 1957

GAZON, M et al. Effect of coolant temperature on combustion and combustion noise fluctuations in a Diesel engine at idle conditions. In: EUROPEAN CONFERENCE ON UNDERWATER ACOUSTICS, 9., 2008, Paris. **Proceedings...** . Paris: Euronoise, 2008. p. 2027 - 2032. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/5326110_Effect_of_coolant_temperature_on_combustion_and_combustion_noise_fluctuations_in_a_Diesel_engine_at_idle_conditions>. Acesso em: 7 dez. 2015.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Microrregiões Administrativas de Gestão: Plano Purianual**. Vitória: Ijsn, 2003.

HAYES, J C; ENGVALL, L O. **Computer-Aided Studies of Fishing Boat Hull Resistance**. Roma: Fao - The Food And Agriculture Organization Of The United Nations, 1969.

HAZIN, Fábio Hissa Vieira. Revista Brasileira de Engenharia de Pesca. **A Pesca Oceânica no Brasil no SÉculo 21**, Pernanbuco, p.60-75, 01 jan. 2007. Disponível

em: <<http://ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/search/results>>. Acesso em: 27 jun. 2013.

HELMORE, Phillip J. **Update on van Ortmerssen's resistance prediction**. In: INTERNATIONAL MARITIME CONFERENCE, 4., 2008, Sydney: Unsw, 2008. p. 1 - 14.

HELMORE, Phillip J; SWAIN, Peter M. **Regression Analysis of the Ridgeley-Nevitt Trawler Series Resistance**. In: INNOVATIONS IN MARITIME TECHNOLOGY - VISIONS AND PROGRESS, 3., 2006, Sydney: Unsw, 2006. p. 1 - 13.

HOLTROP, J.; MENNEN, G.g.j.. **An Approximate Power Prediction Method**. Nsmb Paper, July 1982.

HOSTIM-SILVA, Maurício ; SCHEIDT, Guilherme Souza Soares. **Boletim Estatístico da Pesca do Espírito Santo**. Vitória: Ufes, 2013.

LACKENBY, H. Resistance of Trawlers. In: ROMA. Jan-olof Traung. Fao - The Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Fishing Boats of the World**. Roma: Fao, 1960. p. 364-369.

LASKY, M. Departament Of The US Navy. An investigation of appendage drag. Bethesda: Naval Ship Research And Development Center, 1980. 55 p

LEWIS, E.V. **Principles of naval Architecture: Resistance, Propulsion and Vibration**. Jersey City: The Society Of Naval Architects And Marine Engineers - Sname, 1988. (Vol II).

LINS, N.V.M. **Transporte Hidroviário e Construção Naval na Amazônia: Diagnóstico e proposição para o desenvolvimento**. Manaus: Ufam, 2010.

LINS, Paulo Marcelo de Oliveira. **Tecnologia Pesqueira**. Belém: Ifpa, 2011.

MARINHA DO BRASIL. **NORMAM 01**: Normas da Autoridade Marítima para embarcações empregadas na navegação de mar aberto. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2012.

MARINHA DO BRASIL. **NPCE-ES**: Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos do Espírito Santo. Vitória: Cpes, 2001. Disponível em: <<https://www.dpc.mar.mil.br/pt-br/normas/npcenpcf>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

MARTINS, A S; DOXSEY, J R. **Diagnóstico da Pesca no Estado do Espírito Santo**. Vitória: Institutos do Milênio - Recos, 2004.

MARTINS, A S; OLAVO, G; COSTA, P A S. A pesca de linha de alto mar realizadas por frotas sediadas no Espírito Santo, Brasil. In: MARTINS, A S; OLAVO, G. **Pesca e pis de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva bra**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2005. p. 33-55.

MENEZES, G.S. Análise de custos variáveis e rentabilidade da pesca de atuns e afins da região sul do Espírito Santo. In: FEIRA INTERNACIONAL DE PESCA E AQUICULTURA, 3., 2012a, Salvador. **Anais**. Salvador: Aquapesca, 2012. p. 1 - 1.

MENEZES, G.S. Diagnóstico dos custos na fabricação de embarcações artesanais de pequeno porte. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA & AÇÃO EM CONSTRUÇÃO NAVAL ARTESANAL, 1., 2012, São Mateus. **Anais**. São Mateus: Enxo, 2012b. p. 1 - 8.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Referências curriculares nacionais da educação profissional de nível técnico. Área Profissional: Rec.** Brasília, 2000.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. Brasil. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura - 2010**. Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura, 2011.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. Instrução Normativa nº 10, de 14 de outubro de 2011. Regulamenta a subvenção econômica ao preço do óleo diesel consumidos por embarcações pesqueiras nacionais, de que cuida o Decreto nº 7.077, de 26 de janeiro de 2010. **Instrução Normativa Mpa Nº 10 de 14/10/2011**. Brasília, DF,

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. Superintendência Federal de Pesca e Aquicultura no Estado do Espírito Santo. Brasil (Comp.). **Cadastro de Embarcações de Pesca do Espírito Santo. Resposta ao Ofício IFES 16/2013**. Vitória, 2013.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. Portaria nº 166, de 29 de abril de 2015. Estabelece cota anual de óleo diesel atribuída aos Pescadores Profissionais, Armadores de Pesca e Indústrias Pesqueiras habilitadas à subvenção econômica nas aquisições de óleo diesel para embarcações pesqueiras. **Portaria Mpa Nº 166, de 29/04/2015**. Brasília, DF

MORENO, Jose Antonio. **Automatização do projeto de embarcações pesqueiras**. 1995. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

OLIVEIRA, Maurício Aguilar Nepomuceno de. **Projeto de Embarcação Pesqueira - Modernização da Frota Fluminense**. 2009. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

OOSTERVELD, M; VAN OSSANEN, P. **Further computer-analysed data of the Wageningen B-Screw series**. International Shipbuilding Progress. Rotterdã, p. 3-13. jul. 1975.

OORTMERSSSEN, V. A Power Prediction Method and its Application to Small Ships. International Shipbuilding Progress. Rotterdã, p. 397-415. 1971.

PADOVEZI, Carlos Daher. **Aplicação de resultados de escala real no projeto de hélices de embarcações fluviais**. 1997. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PATULLO, R N M. **The B.S.R.A Trawler Series - Part II**. Transactions Of The Royal Institution Of Naval Architects. Londres, p. 151-183. 1968.

PROZEE - Fundação de Amparo à Pesquisa de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva. **Relatório Técnico sobre o Censo Estrutural da Pesca Artesanal Marítima e Estuarina nos estados do Es**. Itajaí: Secretaria Especial de Pesca e Aquicultura da Presidência da República - Seap/pr, 2005.

SALIH, Fouad Alwan. **Effect of Temperature on the Performance Parameters of a Diesel Engine**. Journal Of Engineering And Development. Bagda, p. 36-47. mar. 2006. Disponível em: <<http://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&ald=10154>>. Acesso em: 24 set. 2015.

STEIN, Carlos Eduardo. **Dinâmica da Frota Linheira de Itaipava**. 2006. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

TROOST, L. **Open-Water Test Series with Modern Propeller Forms**, Transactions NECIES vol. 67, 1951

UNIVALI (Itajaí). Univali. **Grupo de Estudos Pesqueiros**. Disponível em: <<http://www.univali.br/gep>>. Acesso em: 10 set. 2013.

VALLE FILHO, Gilberto Dória Do. **Avaliação das instalações de máquinas em navios visando redução do uso de combustíveis fósseis**. 2011. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval E Oceanica, Escola Politécnica De São Paulo, São Paulo, 2011.

APÊNDICE A – Resultados

Características dos Cascos

	Estaleiro 1		Estaleiro 2		Estaleiro 3
	Emb.1	Emb.2	Emb.3	Emb.4	Emb.5
Ano de Construção	1995	1993	2013	2014	2014
L (m)	14,40	13,78	17,30	17,59	18,30
Lwl (m)	12,97	12,34	16,00	15,03	14,50
Boca (m)	5,32	4,59	6,54	5,48	5,74
Boca Mold (m)	4,03	4,06	6,10	5,18	5,18
Calado (m)	1,19	1,25	1,71	1,83	1,78
Pontal (m)	1,90	1,88	2,30	2,40	2,00
Contorno	6,68	6,58	9,60	9,46	8,94
Desl (m³)	36,900	34,210	109,000	90,908	86,833
LCB (m)	6,742	6,723	7,201	6,603	7,364
Âng. Entrada (graus)	53	50	63	61	54
Área molhada (m²)	60,270	57,343	126,060	111,320	97,003
Clara do Hélice (m)	0,85	0,86	1,30	1,30	1,35
Imersão do Hélice (m)	0,92	0,95	1,27	1,40	1,38
C_B	0,578	0,546	0,653	0,631	0,638
C_P	0,683	0,637	0,713	0,714	0,695
C_{SM}	0,730	0,744	0,726	0,768	0,762
C_{WL}	0,814	0,816	0,884	0,861	0,862
L/B	3,218	3,039	2,623	2,900	2,841
B/T	3,386	3,248	3,567	2,830	2,910

Características da Instalação Propulsora

	Estaleiro 2		Estaleiro 3
	Emb.3	Emb.4	Emb.5
AeA0	0,509	0,509	0,833
Diâmetro	1,050	1,050	1,200
P/D	0,968	0,968	0,765
Z	4	4	5
Motor	MWM 6T12	MWM 6T12	MWM 6T12
Redutor	4,47	4,47	4,47

APÊNDICE B – Comparativo de KT e KQ

A seguir são apresentados os comparativos das curvas de KT e KQ das séries B-Troost e Gawn (seção segmental). Para o hélice de 3 e 4 pás os resultados são os mesmo apresentados pelos autores e o de 5 pás é a suposição do comportamento elaborada neste trabalho.

Hélice de 3 pás

Hélice de 4 pás

Suposição para Hélice de 5 pás

ANEXO A – Método de Hayes e Engvall (1969)

A equação de regressão do Hayes e Engvall (1969) é dividida no cálculo do coeficiente de resistência total de uma embarcação de 16 pés (CR16), no cálculo do CR da embarcação desejada e na sequência sua potência efetiva (EHP).

$$\begin{aligned}
 C_{R16} = & a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8 + a_9x_9 + a_{10}x_{10} + a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} \\
 & + a_{13}x_{13} + a_{14}x_1^2 + a_{15}x_2^2 + a_{16}x_3^2 + a_{17}x_4^2 + a_{18}x_5^2 + a_{19}x_6^2 + a_{20}x_7^2 + a_{21}x_8^2 \\
 & + a_{22}x_1^3 + a_{23}x_2^3 + a_{24}x_3^3 + a_{25}x_4^3 + a_{26}x_5^3 + a_{27}x_6^3 + a_{28}x_8^3 + a_{29}x_1^4 + a_{30}x_4^4 \\
 & + a_{31}x_6^4 + a_{32}x_1x_3 + a_{33}x_1x_4 + a_{34}x_1^2x_4 + a_{35}x_1x_4^2 + a_{36}x_1^3x_4 + a_{37}x_1^2x_4^2 + a_{38}x_1x_4^3 \\
 & + a_{39}x_1x_6 + a_{40}x_1^2x_6 + a_{41}x_1x_6^2 + a_{42}x_1^3x_6 + a_{43}x_1^2x_6^2 + a_{44}x_1x_6^3 + a_{45}x_1x_8 \\
 & + a_{46}x_1^2x_8 + a_{47}x_1x_8^2 + a_{48}x_2x_3 + a_{49}x_2^2x_3 + a_{50}x_2x_3^2 + a_{51}x_2x_4 + a_{52}x_2^2x_4 \\
 & + a_{53}x_2x_4^2 + a_{54}x_2x_6 + a_{55}x_2^2x_6 + a_{56}x_2x_6^2 + a_{57}x_2x_8 + a_{58}x_4x_5 + a_{59}x_4^2x_5 \\
 & + a_{60}x_4x_5^2 + a_{61}x_4x_6 + a_{62}x_4x_7 + a_{63}x_4x_8 + a_{64}x_4^2x_8 + a_{65}x_4x_8^2 + a_{66}x_5x_6 + a_{67}x_5^2x_6 \\
 & + a_{68}x_5x_6^2 + a_{69}x_5x_8 + a_{70}x_5^2x_8 + a_{71}x_5x_8^2
 \end{aligned}$$

Onde:

$$x_1 = (L/B - 4,75) / 1,95$$

$$x_2 = (B/T - 4,1) / 2,6$$

$$x_3 = (C_M - 0,715) / 0,265$$

$$x_4 = (C_P - 0,625) / 0,155$$

$$x_5 = (LCB - 3,25) / 8,75$$

$$x_6 = (0,5ae - 28,5) / 22,5$$

$$x_7 = (0,5ar - 52,5) / 37,5$$

$$x_8 = (\alpha BS - 34) / 25$$

$$x_9 = (trim - 0,05) / 0,09$$

$$x_{10} = x_{11} = 0$$

$$x_{12} = 0 \text{ Se não há quilha exposta}$$

$$x_{12} = 1 \text{ Se há quilha exposta}$$

$$x_{13} = (A_{keel}/A_{SM} - 0,0202) / 0,0202$$

$$C_R = C_{R16} - 0,212847 \left(\frac{S \cdot L_{WL}}{\Delta} \right) \cdot \left(\left(\log \left(88 \cdot \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \cdot 10^3 \right) \right)^{-2} - \left(\log \left(1,2834 \cdot \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \cdot L_{WL}^{3/2} \cdot 10^3 \right) \right)^{-2} \right)$$

Onde:

S = Superfície Molhada, em pés

$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}}$ = Número de Taylor, sendo V em nós e L em pés

Δ = Deslocamento, em toneladas.

A potência efetiva definida por HAYES e ENGVALL é representada a
abaixo:

$$EHP = \frac{C_R \cdot \Delta \cdot V^3}{325,7 \cdot L_{WL}}$$

Onde:

C_R = Coeficiente de resistencia da embarcação

Δ = Deslocamento, em ton

V = Velocidade, em nós

L_{WL} = Comprimento da linha d'água, em pés

ANEXO B – Método de Van Oortmerssen (1971)

As regressões polinomiais para predição de potência de pequenas embarcações elaboradas por Van Oortmerssen (1971) sofreram correções anos depois. HELMORE (2008) apresenta os resultados do trabalho original corrigidos pela seguinte equação para o cálculo da resistência residual:

$$\frac{R_R}{W} = c_1 e^{\frac{-mF_n^{-2}}{9}} + c_2 e^{-mF_n^{-2}} + c_3 e^{-mF_n^{-2}} \cdot \text{sen}F_n^{-2} + c_4 e^{-mF_n^{-2}} \cdot \text{cos}F_n^{-2}$$

Onde:

R_R = Resistência Residual;

$W = \rho g \Delta$

F_n = número de Froude

ρ = Densidade da água t/m³;

Δ = Deslocamento, em m³;

LCB = Posição longitudinal do centro de flutuação medido a partir da meia nau, em %L;

$$C_{WL} = i_e \cdot \left(\frac{L}{B}\right)$$

i_e = Metade do ângulo de entrada, em graus

O cálculo do coeficiente c_1 , c_2 , c_3 e c_4 podem ser calculados com a equação e tabela a seguir:

$$c_i = \left[d_{i,0} + d_{i,1} \cdot LCB + d_{i,2} \cdot LCB^2 + d_{i,3} \cdot C_P + d_{i,4} \cdot C_P^2 + d_{i,5} \cdot \frac{L}{B} + d_{i,6} \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^2 + d_{i,7} \cdot C_{WL} + d_{i,8} \cdot C_{WL}^2 + d_{i,9} \cdot \frac{B}{T} + d_{i,10} \cdot \left(\frac{B}{T}\right)^2 + d_{i,11} \cdot C_M \right] / 1000$$

Tabela B-1 Coeficientes do Método de Oortmerssen

i	1	2	3	4
di, 0	79,32134	6714,884	-908,444	3012,145
di, 1	-0,09287	19,83	2,52704	2,71537
di, 2	-0,00209	2,66997	-0,35794	0,25521
di, 3	-246,459	-19662	755,1866	-9198,81
di, 4	187,1366	14099,9	-48,9395	6886,604
di, 5	-1,42839	137,3361	9,86873	-159,927
di, 6	0,11898	-13,3694	-0,77652	16,23621
di, 7	0,15727	-4,49852	3,7902	0,82014
di, 8	-0,00064	0,021	-0,01879	0,00225
di, 9	-2,52862	216,4492	-9,24399	236,3797
di, 10	0,50619	-35,076	1,28571	-44,1782
di, 11	1,62851	-128,725	250,6491	207,2558

Fonte: OORTMERSSEN (1971)

E por fim o cálculo da Resistência ao Avanço pela equação:

$$R_T = 1/2 \rho S V^2 (Ca) + \left(\frac{R_R}{W} \right) \cdot \Delta g$$

ANEXO C – Método de Ridgeley-Nevitt (1956, 1963, 1967)

Baseado nos resultados de Ridgeley e Nevitt (1956, 1963, 1967), Helmore e Swain (2010) apresentam a equação de regressão para o cálculo de C_R é feita através do seguinte cálculo:

$$1000C_R = \sum_{i=0}^{20} a_i C_P^j \left(\frac{\Delta}{(0,01L)^3} \right)^k$$

Os coeficiente a_i da equação são apresentados na tabela abaixo:

Tabela C1 - Coeficiente a_i da equação de regressão

V/vL	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	j	k
a0	-3,37E+02	-1,13E+03	-7,99E+02	-5,50E+03	-1,96E+04	-1,12E+04	2,06E+04	2,30E+04	-7,63E+03	0	0
a1	4,51E+03	1,14E+04	9,44E+03	4,47E+04	1,49E+05	8,52E+04	-1,73E+05	-1,96E+05	4,81E+04	1	0
a2	-2,78E+00	-3,88E+00	-3,48E+00	1,56E+00	1,68E+01	1,85E+01	2,21E+01	3,15E+01	3,47E+01	0	1
a3	-1,99E+04	-4,49E+04	-4,20E+04	-1,46E+05	-4,58E+05	-2,64E+05	5,76E+05	6,54E+05	-1,21E+05	2	0
a4	3,18E-03	1,62E-03	-3,43E-03	-5,24E-03	-2,00E-02	-1,42E-02	-1,54E-02	-1,85E-02	-3,90E-02	0	2
a5	1,45E+01	2,40E+01	2,70E+01	-5,75E+00	-8,57E+01	-9,76E+01	-1,20E+02	-1,74E+02	-1,78E+02	1	1
a6	3,99E+04	8,63E+04	8,96E+04	2,39E+05	7,07E+05	4,17E+05	-9,47E+05	-1,08E+06	1,52E+05	3	0
a7	-1,87E-07	-2,36E-06	-1,41E-06	-7,49E-06	6,92E-06	8,13E-06	2,90E-06	3,53E-06	3,38E-05	0	3
a8	-2,71E+01	-5,80E+01	-7,85E+01	-4,79E+00	1,56E+02	1,90E+02	2,40E+02	3,60E+02	3,51E+02	2	1
a9	-1,46E-02	-3,14E-03	1,99E-02	3,92E-02	8,68E-02	5,60E-02	6,90E-02	7,83E-02	1,32E-01	1	2
a10	-3,79E+04	-8,22E+04	-9,28E+04	-1,98E+05	-5,49E+05	-3,33E+05	7,72E+05	8,86E+05	-9,38E+04	4	0
a11	-1,32E-09	-5,82E-10	-4,24E-10	4,82E-09	-3,83E-10	-2,60E-10	4,16E-09	8,37E-09	-1,41E-08	0	4
a12	2,20E+01	6,60E+01	1,01E+02	3,10E+01	-1,19E+02	-1,62E+02	-2,12E+02	-3,35E+02	-3,14E+02	3	1
a13	1,97E-02	-4,66E-03	-3,83E-02	-7,71E-02	-1,24E-01	-6,82E-02	-9,20E-02	-9,56E-02	-1,51E-01	2	2
a14	3,61E-06	9,63E-06	5,79E-06	1,38E-05	-2,17E-05	-2,67E-05	-2,00E-05	-2,84E-05	-7,48E-05	1	3
a15	1,40E+04	3,11E+04	3,76E+04	6,65E+04	1,72E+05	1,08E+05	-2,50E+05	-2,88E+05	2,23E+04	5	0
a16	5,39E-13	6,85E-13	6,36E-13	-1,30E-12	-3,31E-13	1,49E-12	-1,00E-12	-2,94E-12	2,76E-12	0	5
a17	-6,78E+00	-2,96E+01	-4,84E+01	-2,45E+01	3,01E+01	5,33E+01	7,22E+01	1,20E+02	1,08E+02	4	1
a18	-7,77E-03	7,40E-03	2,37E-02	4,64E-02	5,80E-02	2,06E-02	3,41E-02	3,21E-02	5,57E-02	3	2
a19	-4,04E-06	-6,91E-06	-3,99E-06	-6,79E-06	1,56E-05	2,72E-05	2,29E-05	2,83E-05	4,57E-05	2	3
a20	7,78E-10	-1,13E-09	-1,01E-09	-4,15E-09	1,68E-09	-4,04E-09	-4,39E-09	-5,55E-09	1,30E-08	1	4

Fonte: HELMORE (2006)

ANEXO D – Método de Calisal e McGreer (1993)

Como dito no Capítulo 4, elaborado por Calisal e McGreer (1993), conhecido como Série UBC, baseia sua regressão matemático na equação desenvolvida por Oortmerseen (1971), apresentado no Anexo B, diferenciando-se pelos coeficientes utilizados. A Tabela D1 e D2 abaixo apresenta estes coeficientes.

Tabela D1- Coeficientes para $C_B=0,615$

i	1	2	3	4
di, 0	0,0746540	0,0769580	-0,0001620	-0,0186420
di, 1	0,0018790	0,0000770	0,0000742	0,0000105
di, 2	-0,0007010	0,0000180	0,0009070	0,0001190
di, 3	-0,0515800	-0,0052470	-0,0011370	-0,0019440
di, 4	0,0098710	0,0005720	-0,0006610	0,0011690

Tabela D2 - Coeficientes para $C_B=0,531$

i	1	2	3	4
di, 0	0,0060560	0,1660010	-0,0671090	-0,0479440
di, 1	0,0000014	-0,0008170	0,0004350	0,0003260
di, 2	0,0000100	-0,0057500	0,0029900	0,0022950
di, 3	-0,0017580	-0,0006800	0,0003020	0,0001470
di, 4	0,0002460	-0,0026880	0,0015210	0,0011800

Para valores de C_B intermediários é feita a interpolação entre os resultados encontrados. As fórmulas utilizadas neste cálculo já foram apresentadas no Anexo B não necessitando ser repetidas.

ANEXO E – Cálculo de KT e KQ (B-Troost)

Para o cálculo de KT e KQ da série B-Troost utilizou-se a formulação de OORTERVELD e OOSSANEN (1975). Os polinômios derivados de múltiplas regressões analíticas são os apresentados a seguir e na sequência as tabelas com os coeficientes.

$$KT = \sum_{i=0}^n C_{s,t,u,v}^T \cdot J^s \cdot P/D^t \cdot AeA0^u \cdot Z^v$$

$$KQ = \sum_{i=0}^n C_{s,t,u,v}^Q \cdot J^s \cdot P/D^t \cdot AeA0^u \cdot Z^v$$

Tabela E1 – Coeficientes para o calculo de KT

Coeficientes KT					
i	C _{s,t,u,v}	s(J)	t(P/D)	u(Ae/A0)	v(Z)
1	0,00880496	0	0	0	0
2	-0,20455400	1	0	0	0
3	0,16635100	0	1	0	0
4	0,15811400	0	2	0	0
5	-0,14758100	2	0	1	0
6	-0,48149700	1	1	1	0
7	0,41543700	0	2	1	0
8	0,01440430	0	0	0	1
9	-0,05300540	2	0	0	1
10	0,01434810	0	1	0	1
11	0,06068260	1	1	0	1
12	-0,01258940	0	0	1	1
13	0,01096890	1	0	1	1
14	-0,13369800	0	3	0	0
15	0,00638407	0	6	0	0
16	-0,00132718	2	6	0	0
17	0,16849600	3	0	1	0
18	-0,05072140	0	0	2	0
19	0,08545590	2	0	2	0
20	-0,05044750	3	0	2	0
21	0,01046500	1	6	2	0
22	-0,00648272	2	6	2	0
23	-0,00841728	0	3	0	1
24	0,01684240	1	3	0	1
25	-0,00102296	3	3	0	1
26	-0,03177910	0	3	1	1
27	0,01860400	1	0	2	1
28	-0,00410798	0	2	2	1

29	-0,00060685	0	0	0	2
30	-0,00498190	1	0	0	2
31	0,00259830	2	0	0	2
32	-0,00056053	3	0	0	2
33	-0,00163652	1	2	0	2
34	-0,00032879	1	6	0	2
35	0,00011650	2	6	0	2
36	0,00069090	0	0	1	2
37	0,00421749	0	3	1	2
38	0,00005652	3	6	1	2
39	-0,00146564	0	3	2	2

Tabela E2 – Coeficientes para o calculo de KQ

Coeficientes de KQ					
i	C _{s,t,u,v}	s(J)	t(P/D)	u(Ae/A0)	v(Z)
1	0,00379368	0	0	0	0
2	0,00886523	2	0	0	0
3	-0,03224100	1	1	0	0
4	0,00344778	0	2	0	0
5	-0,04088110	0	1	1	0
6	-0,10800900	1	1	1	0
7	-0,08853810	2	1	1	0
8	0,18856100	0	2	1	0
9	-0,00370871	1	0	0	1
10	0,00513696	0	1	0	1
11	0,02094490	1	1	0	1
12	0,00474319	2	1	0	1
13	-0,00723408	2	0	1	1
14	0,00438388	1	1	1	1
15	-0,02694030	0	2	1	1
16	0,05580820	3	0	1	0
17	0,01618860	0	3	1	0
18	0,00318086	1	3	1	0
19	0,01589600	0	0	2	0
20	0,04717290	1	0	2	0
21	0,01962830	3	0	2	0
22	-0,05027820	0	1	2	0
23	-0,03005500	3	1	2	0
24	0,04171220	2	2	2	0
25	-0,03977220	0	3	2	0
26	-0,00350024	0	6	2	0
27	-0,01068540	3	0	0	1
28	0,00110903	3	3	0	1
29	-0,00031391	0	6	0	1

30	0,00359850	3	0	1	1
31	-0,00142121	0	6	1	1
32	-0,00383637	1	0	2	1
33	0,01268030	0	2	2	1
34	-0,00318278	2	3	2	1
35	0,00334268	0	6	2	1
36	-0,00183491	1	1	0	2
37	0,00011245	3	2	0	2
38	-0,00002972	3	6	0	2
39	0,00026955	1	0	1	2
40	0,00083265	2	0	1	2
41	0,00155334	0	2	1	2
42	0,00030268	0	6	1	2
43	-0,00018430	0	0	2	2
44	-0,00042540	0	3	2	2
45	0,00008692	3	3	2	2
46	-0,00046590	0	6	2	2
47	0,00005542	1	6	2	2

Quando o número de Reynolds for maior que 2×10^6 os números de KT e KQ devem ser corrigidos pela formulação a seguir:

$$\begin{aligned} \Delta KT = & 0.000353485 - 0.00333758 \cdot AeA0 \cdot J^2 - 0.00478125 \cdot AeA0 \cdot P/D \cdot J \\ & + 0.000257792 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot AeA0 \cdot J^2 + \\ & + 0.0000643192 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot P/D^6 \cdot J^2 + \\ & - 0.0000110636 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot P/D^6 \cdot J^2 + \\ & - 0.0000276305 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z \cdot AeA0 \cdot J^2 + \\ & + 0.0000954 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z \cdot AeA0 \cdot P/D \cdot J + \\ & + 0.0000032049 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z^2 \cdot AeA0 \cdot P/D^3 \cdot J \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta KQ = & -0.000591412 + 0.00696898 \cdot (P/D) - 0.0000666654 \cdot Z \cdot P/D^6 + \\ & + 0.0160818 \cdot AeA0^2 - 0.000938091 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot (P/D) + \\ & - 0.00059593 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot P/D^2 + \\ & + 0.0000782099 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot P/D^2 + \\ & + 0.0000052199 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z \cdot AeA0 \cdot J^2 + \\ & - 0.00000088528 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot Z \cdot AeA0 \cdot P/D \cdot J + \\ & + 0.0000230171 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z \cdot P/D^6 + \\ & - 0.00000184341 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot Z \cdot P/D^6 + \\ & - 0.00400252 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot AeA0^2 + \\ & + 0.000220915 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot AeA0^2 \end{aligned}$$

O número de Reynolds deve ser calculado com a seguinte equação:

$$Re = \frac{\rho N D^2}{\mu}$$

Estas equações podem ser aplicadas dentro dos seguintes limites:

	Limite Inferior	Limite Superior
Z	2	7
AeA0	0,30	1,05
P/D	0,5	1,40

ANEXO F – Cálculo de KT e KQ (Gawn)

Para o calculo de KT e KQ da serie Gawn utiliza-se a mesma equação apresentada no Anexo E utilizando os coeficientes elaborados por Blount e Hubble (1981):

Tabela F1 – Coeficientes para o calculo de KT

Coeficientes KT					
i	$C_{s,t,u,v}$	s(J)	t(P/D)	u(Ae/A0)	v(Z)
1	-0,05586363	0	0	0	0
2	-0,21730109	1	0	0	0
3	0,26053140	0	1	0	0
4	0,15811400	0	2	0	0
5	-0,14758100	2	0	1	0
6	-0,48149700	1	1	1	0
7	0,37812278	0	2	1	0
8	0,01440430	0	0	0	1
9	-0,05300540	2	0	0	1
10	0,01434810	0	1	0	1
11	0,06068260	1	1	0	1
12	-0,01258940	0	0	1	1
13	0,01096890	1	0	1	1
14	-0,13369800	0	3	0	0
15	0,00241157	0	6	0	0
16	-0,00053002	2	6	0	0
17	0,16849600	3	0	1	0
18	0,02634542	0	0	2	0
19	0,04360136	2	0	2	0
20	-0,03118493	3	0	2	0
21	0,01249215	1	6	2	0
22	-0,00648272	2	6	2	0
23	-0,00841728	0	3	0	1
24	0,01684240	1	3	0	1
25	-0,00102296	3	3	0	1
26	-0,03177910	0	3	1	1
27	0,01860400	1	0	2	1
28	-0,00410798	0	2	2	1
29	-0,00060685	0	0	0	2
30	-0,00498190	1	0	0	2
31	0,00259630	2	0	0	2
32	-0,00056053	3	0	0	2
33	-0,00163652	1	2	0	2
34	-0,00032879	1	6	0	2
35	0,00011650	2	6	0	2

36	0,00069090	0	0	1	2
37	0,00421749	0	3	1	2
38	0,00005652	3	6	1	2
39	-0,00146564	0	3	2	2

Tabela F1 – Coeficientes para o cálculo de KQ

Coeficientes de KQ					
i	C_{s,t,u,v}	s(J)	t(P/D)	u(Ae/A0)	v(Z)
1	0,00515898	0	0	0	0
2	0,01606668	2	0	0	0
3	-0,0441153	1	1	0	0
4	0,00682223	0	2	0	0
5	-0,0408811	0	1	1	0
6	-0,07732967	1	1	1	0
7	-0,0885381	2	1	1	0
8	0,16937502	0	2	1	0
9	-0,00370871	1	0	0	1
10	0,00513696	0	1	0	1
11	0,0209449	1	1	0	1
12	0,00474319	2	1	0	1
13	-0,00723408	2	0	1	1
14	0,00438388	1	1	1	1
15	-0,0269403	0	2	1	1
16	0,0558082	3	0	1	0
17	0,0161886	0	3	1	0
18	0,00318086	1	3	1	0
19	0,01290435	0	0	2	0
20	0,02445084	1	0	2	0
21	0,00700643	3	0	2	0
22	-0,02719046	0	1	2	0
23	-0,01664586	3	1	2	0
24	0,0300449	2	2	2	0
25	-0,03369749	0	3	2	0
26	-0,00350024	0	6	2	0
27	-0,0106854	3	0	0	1
28	0,00110903	3	3	0	1
29	-0,000313912	0	6	0	1
30	0,0035895	3	0	1	1
31	-0,00142121	0	6	1	1
32	-0,00383637	1	0	2	1
33	0,0126803	0	2	2	1
34	-0,00318278	2	3	2	1
35	0,00334268	0	6	2	1
36	-0,00183491	1	1	0	2

37	0,000112451	3	2	0	2
38	-2,97228E-05	3	6	0	2
39	0,000269551	1	0	1	2
40	0,00083265	2	0	1	2
41	0,00155334	0	2	1	2
42	0,00030268	0	6	1	2
43	-0,00018430	0	0	2	2
44	-0,00042540	0	3	2	2
45	0,00008692	3	3	2	2
46	-0,00046590	0	6	2	2
47	0,00005542	1	6	2	2

ANEXO G – Cálculo de ω e t

Neste anexo são apresentadas as equações e os métodos para o cálculo dos coeficientes ω e t definidos no Capítulo 3, de acordo com os procedimentos propostos pelos diferentes autores citados no mesmo capítulo.

1. Método de Van Oortmerssen (1971)

Em seu trabalho sobre resistência ao avanço de pequenas embarcações, Van Oortmerssen (1971) apresentou as seguintes equações de regressão e seus coeficientes para o cálculo de ω e t :

$$t = e_{1,0} + e_{1,1} C_P + e_{1,2} C_P^2 + e_{1,3} C_P F_n + e_{1,4} C_P F_n^2 + e_{1,5} C_P LCB + e_{1,6} L/B + e_{1,7} B/T$$

$$\omega = e_{2,0} + e_{2,1} C_P + e_{2,2} C_P^2 + e_{2,3} C_P F_n + e_{2,4} C_P F_n^2 + e_{2,5} C_P LCB + e_{2,6} L/B + e_{2,7} B/T$$

Tabela G1 - Coeficientes de ω e t - Oortmerssen

i	1	2
$e_{i,0}$	-0,93290	0,729681
$e_{i,1}$	3,94349	-1,74379
$e_{i,2}$	-2,98757	1,37241
$e_{i,3}$	-0,98059	0,26229
$e_{i,4}$	1,04860	-0,22019
$e_{i,5}$	0,00490	0,01379
$e_{i,6}$	0,00228	-0,00786
$e_{i,7}$	-0,00152	0,00216

Fonte: OORTMERSSEN (1971)

2. Método sugerido por Fyson (1985)

Fyson (1985) sugere a utilização das curvas com valores de ω e t determinados através de ensaios com modelos realizados no Norwegian Model Tank, situado em Trondheim na Noruega

Fonte: Fyson (1985)

Fonte: Fyson (1985)

Estes coeficientes são relacionados em função das razões do diâmetro do hélice-boca (D/B) e boca-comprimento (B/L) para embarcações com $C_B=0,45$ e $I/T_a=0,73$ (razão entre a profundidade do bosso do hélice e o calado a $1/4$ de L à vante da perpendicular de ré. Os valores diferentes de C_b , I/T_a e D/B são corrigidos pelas seguintes equações:

$$\Delta\omega = \frac{1}{3}\Delta C_B - \frac{1}{3}\Delta \frac{D}{B} - \frac{1}{4}\Delta \frac{I}{T_a}$$

$$\Delta t = \frac{1}{3}\Delta\omega$$

3. Método sugerido por Bertram (2012)

Bertram (2012) sugere a equação desenvolvida por Graff e Heckscher, 1941 apud Bertram (2012) que apresentam como variável o coeficiente prismático (C_p):

$$\omega = 0,77 \cdot C_p - 0,28$$

$$t = 0,77 \cdot C_p - 0,30$$

4. Método de Patullo (1968)

Patullo (1968) em seu trabalho sobre resistência ao avanço de embarcações de pesca, que resultou na como Série B.S.R.A apresenta também equações de regressões para estimativa de w e t , baseadas nos ensaios realizados para o desenvolvimento desta série. Estas equações são as descritas abaixo:

$$\omega = -0.8715 + 2.49C_B^2 - 0.3722 \left(\sqrt{\frac{V}{Lwl}} C_B \right) + 0.2525 \left(\sqrt{\frac{V}{Lwl}} C_B \right)^2 + \\ + 0.2260 \frac{B}{\sqrt{\Delta^{1/3} * D}} C_B - 7.176 \cdot 10^{-3} * \delta$$

$$t = -0.1158 + 8.859 \cdot 10^{-2} C_B + 0.3133 C_B^2 + 0.2758 \frac{V}{\sqrt{C_B Lwl}} + \\ 5.432 \cdot 10^{-2} \left(\frac{V}{\sqrt{C_B Lwl}} \right)^2 - 2.419 \cdot 10^{-2} \left(\frac{V}{\sqrt{C_B Lwl}} \right)^3 + \\ -0.4542 \sqrt{\frac{V}{Lwl}} + 0.6044 \frac{B \cdot D}{\Delta^{\frac{2}{3}}} + 5.171 \cdot 10^{-2} \delta + \\ -8.622 \cdot 10^{-2} C_B \delta;$$

Onde δ é a relação da distância de LCB em relação à seção mestra pelo comprimento na linha d'água, sendo positivo a vante.