KARLA SUELI YSLA SANTOS

**MODELO DE SÍNTESE E OTIMIZAÇÃO PARA O PROJETO DE
CONCEPÇÃO DE REBOCADORES PORTUÁRIOS**

**São Paulo
2016**

KARLA SUELI YSLA SANTOS

**MODELO DE SÍNTESE E OTIMIZAÇÃO PARA O PROJETO DE
CONCEPÇÃO DE REBOCADORES PORTUÁRIOS**

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

**Área de Concentração: Engenharia
Naval**

Orientador: Prof. Dr. Kazuo Nishimoto

**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, 09 de Dezembro de 2016

Assinatura do autor:

Assinatura do orientador:

Catálogo-na publicação

Ysla, Karla

Modelo de síntese e otimização para o projeto de concepção de rebocadores portuários / K. Ysla -- versão corr. -- São Paulo, 2016.
163 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1.Rebocador 2.Projeto 3.Modelo de Síntese 4.Otimização I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II.t.

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Kazuo Nishimoto, pela excelente orientação.

Ao professor Bernardo Andrade pela paciência e apoio para o desenvolvimento deste trabalho. Ao Thiago Pontin pela dedicação a este trabalho.

A meus pais, por terem ficado sempre do meu lado apesar de estarem longe; as minhas irmãs pela força e a minhas sobrinhas por terem sido a minha grande alegria.

Ao Ricardo Pinheiro, por ser meu companheiro; amigo e conselheiro e por estar sempre do meu lado fazendo meus dias mais felizes .

À família maravilhosa que me acolheu aqui no Brasil, minhas novas irmãs Gisele, Carol e Cristina, sem as quais nada teria sido possível. A amizade que criamos é o mais importante que levo do Brasil, e não há distância que consiga acabar com o tão grande amor que sinto por elas.

Ao Tenente Domingo Mussio, pelos conselhos e a ajuda na minha vida profissional.

“Se quiser triunfar na vida, faça da perseverança a sua melhor amiga; da experiência, o seu conselheiro; da prudência, o seu irmão mais velho; e da esperança; o seu anjo da guarda.” Joseph Addison

RESUMO

Os rebocadores portuários desempenham funções essenciais de assistência a navios nas operações de atracação, desatracação e navegação em águas portuárias. Eles são equipamentos fundamentais para garantir a segurança das operações e a eficiência dos serviços portuários, contribuindo para a competitividade do porto. Com o crescimento do comércio mundial e, em particular, do Brasil, diversos portos vêm realizando a atualização e renovação das suas frotas de rebocadores para atendimento das demandas atuais.

Neste trabalho apresenta-se um modelo de síntese e otimização multi-objetivo para o projeto de rebocadores portuários para ser aplicado na etapa de concepção. Nesta etapa os projetistas devem realizar a exploração mais ampla possível do espaço das potenciais soluções, na busca das melhores possíveis. O modelo de síntese foi formulado a partir de equações empíricas obtidas com base em informações extraídas de bancos de dados de rebocadores, e de estimativas de desempenho propostas por diferentes autores. Em seguida foi acoplado a um algoritmo genético para otimização da capacidade de reboque e do porte da embarcação.

Os resultados da otimização para o projeto de três tipos de rebocadores mostraram que o modelo foi capaz de gerar soluções com desempenho melhor ou igual aos rebocadores já construídos. Esta otimização visou maximização da capacidade de reboque e a minimização do porte dos rebocadores. Os valores dos parâmetros que descrevem as soluções, que formaram a fronteira de Pareto deste processo de otimização multi-objetivo, encontram-se dentro daqueles normalmente encontrados em rebocadores existentes.

Os resultados mostraram que o modelo de síntese é uma ferramenta capaz de auxiliar e facilitar as atividades das etapas iniciais do projeto de rebocadores.

Palavras-chave: Rebocadores, Projeto, Modelo de Síntese, Otimização.

ABSTRACT

The harbor tugs play essential assistance functions to vessels in docking and undocking operations, and navigation on port waters. They are an essential equipment to guarantee safe operations and efficiency in port services, contributing to the competitiveness of the port. With the growth of world trade, particularly in Brazil, several ports have been upgrading and renovating their tugs fleet to meet today's demands.

This study presents a synthesis and multi-objective optimization model for harbor tugboats project to be applied at the design stage, in which the designers must exploit the entire potential solutions space to achieve the best possible one. The synthesis model was formulated by empirical equations based on information extracted from tugboats databases and performance estimates proposed by different authors. It was then coupled to a genetic algorithm to optimize the towing capability and the vessel size.

The results of optimization for the design of three types of tugs showed that the model was able to generate solutions with better or equal performance to tugboats ever built. This optimization aimed at maximizing the towing capacity and minimizing the size of the tugs. The values of the parameters that describe solutions, which formed the Pareto front of this multi-objective optimization process, are within those usually found in existing tugboats.

The results showed that the synthesis model is a tool capable of assisting and facilitating the early stages activities of the tugs project.

Keywords: Tug, Design, Optimization, Parametric design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-1 Relação entre Índices de Crescimento Econômico e Transporte Marítimo de 1975 a 2014: índice ano base 1990=100. (Reproduzido de UNCTAD 2015).....	16
Figura 1-2 Rebocador Portuário em Operação (Reproduzido de BC Shipping News, May 2012)	19
Figura 1-3 Rebocador com propulsão Azimutal (Reproduzido de BC Shipping News, May 2012)	20
Figura 1-4 Rebocador com propulsão Convencional (Reproduzido de Frago e Cajati, 2002)	20
Figura 1-5 Quantidade de Rebocadores Brasileiros por Intervalos de Ano de Fabricação (Elaborado pela autora)	21
Figura 2-1 Espiral de projeto (Adaptada de: Gale (2014)).....	31
Figura 2-2 Exemplo de Fronteira de Pareto (Fonte: Elaborado pela autora).....	42
Figura 2-3 Representação do processo seguido por um algoritmo genético (Fonte: Elaborado pela autora).....	44
Figura 3-1 Rebocador Agbodrafo (Fonte: DAMEN, 2010).....	47
Figura 3-2 Capacidade de manobra de navio (Fonte: Adaptada do Bartels, 2011).....	48
Figura 3-3 Arranjo e nomenclatura do rebocador (Fonte: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Rebocador >).....	49
Figura 3-4 Evolução dos rebocadores (Fonte: Gaston, 2014).....	50
Figura 3-5 Formas de manobra do rebocador (Fonte: Adaptado de Obras Marítimas Tecnológicas, 2000)	52
Figura 3-6 Tipos de propulsores (Fonte: Elaborado pela autora)	55
Figura 3-7 Hélice convencional com tubulão Kort (Fonte: Orviz, 2012)	56
Figura 3-8 Sistema Azimutal (Fonte: < http://www.nauticexpo.es/prod/schottel/propulsores-timones-para-buque-22142-53045.html >)	57
Figura 3-9 Sistema Cicloidal.....	58
Figura 3-10 Rebocadores com diferentes tipos de propulsor (Fonte: www.shipspotting.com)	59
Figura 3-11 Proposta de casco para diferentes propulsores (Fonte: Adaptado do Allan, 2006)	61

Figura 3-12 Praça de maquinas do rebocador Rio Gatun (Reproduzido de: DAMEN, 2012)	62
Figura 4-1 Relação entre Comprimento e Boca (Fonte: Elaborado pela autora).....	65
Figura 4-2 Relação L/B em função de L (Fonte: Elaborado pela autora e adaptado de Allan, 2003)	67
Figura 4-3 Relação L/B e limites superior e inferior para rebocadores com propulsão convencional, azimutal e combate a incêndios (Fonte: Elaborado pela autora).....	67
Figura 4-4 Relação entre a Boca e o Pontal (Fonte: Elaborado pela autora).....	68
Figura 4-5 Relação boca - pontal e limites superior e inferior para rebocadores de propulsão convencional, azimutal e combate a incêndios (Fonte: Elaborado pela autora).....	69
Figura 4-6 Razão Calado - Boca (Fonte: Elaborado pela autora)	70
Figura 4-7 Relação boca - calado e limites superior e inferior para rebocadores com propulsão convencional, azimutal e combate a incêndios (Fonte: Elaborado pela autora).....	71
Figura 4-8 Relação Pontal – Calado (Fonte: Elaborado pela autora).....	72
Figura 4-9 Relação pontal - calado e limites superior e inferior para rebocadores com propulsão convencional, azimutal e combate a incêndios (Fonte: Elaborado pela autora).....	72
Figura 4-10 Relação <i>Bollard pull</i> – Potência (Fonte: Elaborado pela autora).....	73
Figura 4-11 Razão <i>Bollard pull</i> – Potencia de 32 rebocadores portuários da base de dados (Fonte: Elaborado pela autora).....	75
Figura 4-12 Relação Potência - <i>Bollard Pull</i> para os rebocadores da base de dados e segundo as equações de regressão (Fonte: Elaborado pela autora).....	76
Figura 4-13 <i>Bollard Pull</i> , por unidade de potência instalada, em função da densidade de potência do rebocador. (Reproduzido: MAN, 2011)	77
Figura 4-14 <i>Bollard pull</i> de rebocadores da base de dados e estimados pelas equações 4.5 e 4.6 (Fonte: Elaborado pela autora)	78
Figura 4-15 Regressão de Potência – <i>Bollard Pull</i> de rebocadores da base de dados de 65 rebocadores com propulsão azimutal.....	80
Figura 4-16 Relação Número Cúbico – Potência para rebocadores da base de dados e proposta por Allan (2003) (Fonte: Elaborado pela autora e adaptado de Allan (2003)).....	81

Figura 4-17 Relação Número Cúbico - Potencia e limites superior e inferior para diferentes tipo de rebocadores (Fonte: Elaborado pela autora)	82
Figura 4-18 Relação do Diâmetro do propulsor com o calado de 19 rebocadores portuários da base de dados (Fonte: Elaborado pela autora)	82
Figura 5-1 Relação Porte bruto com L*B (Fonte: Adaptado de Arnaldos, 1994)	89
Figura 5-2 Quadro representativo do peso dos motores em função da Potência e Bollard Pull segundo (CATERPILLAR, 2014), (Fonte: Elaborado pela autora)	91
Figura 5-3 Diâmetro do propulsor em função do <i>Bollard Pull</i> (Fonte: Elaborado pela autora)	95
Figura 5-4 Fluxograma dos principais atributos calculados na avaliação da solução de projeto para o rebocador portuário.	97
Figura 6-1 Domínio viável das funções objetivo e a fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão convencional (Fonte: Elaborado pela autora)	100
Figura 6-2 Fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão convencional (Fonte: elaborado pela autora)	101
Figura 6-3 Comparação de soluções da fronteira com rebocadores da base com propulsão convencional.....	103
Figura 6-4 Domínio viável das funções objetivo e a fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão azimutal (Fonte: Elaborado pela autora)	104
Figura 6-5 Fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão azimutal (Fonte: Elaborado pela autora)	105
Figura 6-6 Comparação de soluções da fronteira com rebocadores da base de dados com propulsão azimutal (Fonte: Elaborado pela autora)	107
Figura 6-7 Domínio viável das funções objetivo e a fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão azimutal e função de combate a incêndio (Fonte: Elaborado pela autora)	108
Figura 6-8 Fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão azimutal e função combate incêndio (Fonte: elaborado pela autora)	109
Figura 6-9 Comparação de soluções da fronteira com rebocadores da base de dados com propulsão azimutal e função combate incêndio (Fonte: Elaborado pela autora).....	111
Figura 6-10 Fronteiras de Pareto para os tipos de rebocadores analisado (Fonte: Elaborado pela autora)	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 Características de tipos de propulsor	60
Tabela 4-1 Características gerais de rebocadores portuários.....	64
Tabela 4-2 Relação Bollard Pull – Potência de Zahalka	74
Tabela 4-3 Comparação de abordagens para estimativa de Bollard Pull.....	76
Tabela 4-4 Faixas típicas de valores das dimensões dos rebocadores portuários ...	83
Tabela 5-1 Variáveis de projeto.....	85
Tabela 5-2 Restrições dos limites das variáveis de projeto	86
Tabela 5-3 Restrições geométricas.....	87
Tabela 5-4 Limites da restrição sobre o Coeficiente de bloco	88
Tabela 5-5 Restrições geométricas adicionais	92
Tabela 5-6 Limites da restrição sobre a razão T/D_p	94
Tabela 5-7 Relações entre diâmetro, potência e <i>bollard pull</i> (Reprodução Caterpillar, 2012)	94

LISTA DE SIMBOLOS

L	Comprimento
B	Boca
T	Calado
D	Pontal
CB	Coeficiente d bloco
Pot	Potencia
BP	Bollard Pull
N_3	Número Cúbico
D_p	Diametro do propulsor
V	Velocidade
∇	Volumen
Δ	Deslocamento
DWT	Peso bruto
ρ	Densidade do fluido
g	aceleração da gravidade
M_{ST}	Peso do aço
M_{SE}	Peso da superestrutura e acabamento
M_M	Peso de maquinas e equipamentos
GM	Altura metacêntrica
KB	Coordenada vertical do centro de carena
BM	Raio metacêntrico
KG	Coordenada vertical do centro de gravidade a partir da linha de base

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SIMBOLOS.....	13
1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Contexto	16
1.2 Os Serviços de Assistência à Navegação e os Rebocadores Portuários.....	18
1.3 Tendências e Demandas sobre o Projeto de Rebocadores Portuários	22
1.4 Projeto de Concepção e Modelos de Síntese e Otimização do Projeto	24
1.5 Objetivos do trabalho.....	27
1.6 Organização do trabalho	28
2. REVISÃO SOBRE PROJETO E OTIMIZAÇÃO.....	30
2.1 Características do Processo de Projeto de Navios e Embarcações:.....	30
2.2 O Problema Matemático de Otimização Multi-Objetivo	36
3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO REBOCADOR PORTUARIO	46
3.1 Classificação de rebocadores:	46
3.2 Descrição Geral de um Rebocador Portuário	47
3.3 Atributos fundamentais dos rebocadores portuários	53
3.4 Tipos de propulsores empregados nos rebocadores portuários.....	54
3.5 Rebocadores com função de Combate a Incêndios.....	61
4. LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE DIMENSÕES, ATRIBUTOS TÍPICOS DOS REBOCADORES PORTUÁRIOS	63
4.1 Características Gerais e Dados Típicos dos Rebocadores Portuários	63
4.2 Comprimento (L), Boca (B) e razão L/B	64

4.3 Boca (B), Pontal (D) e razão B/D	68
4.4 Boca (B), Calado (T) e razão B/T	69
4.5 Ponta (D), Calado (T) e razão D/T	71
4.6 Relação entre o <i>Bollard Pull</i> e a Potência instalada.....	72
4.7 Relação Potência – Número Cúbico:.....	80
4.8 Relação Diâmetro do propulsor (Dp) e Calado (T)	82
4.9 Síntese da Análise de Dados	83
5. MODELO DE SÍNTESE E OTIMIZAÇÃO PARA PROJETO DE UM REBOCADOR PORTUÁRIO.....	84
5.1 Variáveis de projeto.....	85
5.2 Restrições de projeto.....	86
5.3 Funções objetivo	95
5.3 Estrutura do modelo de síntese.....	96
6. EXEMPLO DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE CONCEPÇÃO DE REBOCADORES E ANÁLISE DOS RESULTADOS	98
6.1 Configuração do algoritmo NSGA-II.....	98
6.2 Resultados da otimização de rebocadores com propulsão convencional	99
6.3 Resultados da otimização de rebocadores com propulsão azimutal.....	103
6.4 Resultados da otimização de rebocadores com propulsão azimutal e função combate a incêndio.....	107
6.5 Comparação entre as fronteiras de Pareto	111
7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	113
7.1 Recomendações para desenvolvimentos futuros.....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
APÊNDICE 1. BASE DE DADOS DE REBOCADORES	123
APÊNDICE 2. BASE DE DADOS DE REBOCADORES	144

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Segundo estimativas preliminares da UNCTAD (2015) para 2014, o total de carga movimentado no mundo através do transporte marítimo, foi de aproximadamente 9,84 bilhões de toneladas, representando em torno de 4/5 do comércio mundial de mercadorias. Esta movimentação foi realizada por uma frota de 89.464 embarcações comerciais, com uma capacidade total de carga de 1,75 bilhões de toneladas de DWT.

O relatório *Review of Maritime Transport* (UNCTAD, 2015) mostra que a demanda pelos serviços de transporte marítimo de carga é fundamentalmente determinada pelo crescimento econômico mundial e pela necessidade do transporte das mercadorias comercializadas. A Figura 1-1, adaptada de UNCTAD (2015), indica a correlação entre o crescimento econômico, o comércio de mercadorias e o comércio marítimo nos últimos 40 anos e mostra também o impacto que o fenômeno da globalização produziu, a partir do início dos anos 90, no crescimento tanto do comércio mundial de mercadorias com da demanda pelo transporte marítimo.

Figura 1-1 Relação entre Índices de Crescimento Econômico e Transporte Marítimo de 1975 a 2014: índice ano base 1990=100. (Reproduzido de UNCTAD 2015)

Para Corbett e Winebrake (2008) o transporte marítimo representa um dos quatro pilares da globalização, junto com os avanços nas comunicações, nas padronizações internacionais e na liberação do comércio. Para a UNCTAD (2015), com mais de 80% do transporte mundial de mercadorias sendo realizado pelo mar, o transporte marítimo permanece como a espinha dorsal do comércio internacional e da globalização.

O sistema de transporte marítimo é uma rede composta pelos navios e embarcações, pelos portos e terminais e pela infra-estrutura de transporte ligando estes às indústrias, aos centros de distribuição e aos mercados (CORBETT; WINEBRAKE, 2008). A eficiência, a qualidade e o custo dos serviços deste sistema são determinados por vários fatores ligados a cada um dos elementos que o compõem. Para Caldeirinha et. al., (2011) os portos são um dos principais determinantes do custo do transporte marítimo e seu desempenho tem impacto direto na competitividade comercial dos países. Os países em desenvolvimento, por exemplo, pagam em média de 40 a 70% a mais pelo transporte de suas importações do que os países desenvolvidos e uma das principais razões para esta situação é o baixo desempenho de seus portos e terminais (UNCTAD, 2015).

A expansão acentuada do transporte marítimo produzida pela globalização gerou grandes impactos na gestão das operações portuárias, devido tanto às exigências dos usuários por melhores níveis de desempenho como ao aumento no porte dos navios (CALDEIRINHA et al., 2011). Tanto para a UNCTAD (2015) como para a GFP (VINCE, 2003) a atualização frequente da infraestrutura é fundamental para garantir uma operação eficiente dos portos, sem congestionamentos, e com isto ajudar na redução do custo global do transporte marítimo (UNCTAD, 2015).

No caso brasileiro, onde 95% do volume do comércio exterior passa por terminais portuários, um estudo realizado para o BNDES (2012) sobre a demanda e oferta de serviços portuários mostrou que até o ano de 2031 a demanda por serviços portuários deve crescer por volta de 140%, com relação ao ano de 2010. Para atender este aumento de demanda e melhorar o atual nível de desempenho dos serviços portuários brasileiros, o estudo estima que será necessária a construção de aproximadamente 106 novos terminais portuários até 2031.

A GFP (VINCE, 2003) aponta que, ao lado dos custos, os serviços disponíveis para os envolvidos no sistema, e sua qualidade, têm cada vez mais importância no contexto dos processos de produção globalizados. Para esta organização existem grandes diferenças entre países tanto com respeito ao custo como à qualidade dos serviços portuários como, por exemplo, os serviços de reboque, amarração etc.

Entre os principais serviços portuários encontram-se aqueles relacionados com o auxílio aos navios nas operações de atracação, desatracação, manobras e navegação nos acessos aos terminais portuários. Tais serviços são realizados basicamente pelos Rebocadores Portuários (*“Harbour Tugs”*).

1.2 Os Serviços de Assistência à Navegação e os Rebocadores Portuários

Como parte integrante do sistema de transporte marítimo, os portos, ou as autoridades portuárias, são obrigadas, entre outras tarefas, a cuidar e garantir a segurança e a efetividade do tráfego marítimo nos portos. Isto inclui prestar assistência aos navios de grande porte durante seu trânsito nos canais portuários e durante as suas manobras de giro e operações de atracação e desatracação.

Os rebocadores portuários são as embarcações cuja função principal é realizar estas tarefas de assistência à navegação nos portos. São embarcações projetadas para navegar em águas calmas e protegidas e normalmente operam em uma única instalação portuária (DE JONG, 2010; BUREAU VERITAS, 2014).

Em termos comparativos com outros tipos de embarcações, os rebocadores de porto, segundo Allan (2003), têm geralmente uma potência instalada muito elevada tendo em vista o seu porte ou suas dimensões principais. Isto se dá porque tais rebocadores são projetados para possuir uma elevada capacidade de tração ou empuxo em baixas velocidades tendo em vista sua função principal de reboque e assistência à navegação.

Dependendo das características e do tipo do rebocador, eles podem também cumprir outras funções como prestar socorro a navios que ficam sem propulsão,

combater incêndios, auxiliar em acidentes envolvendo embarcações ou em casos de derramamento de combustível na região portuária.

A foto na Figura 1-2 ilustra um típico rebocador portuário em operação.

Figura 1-2 Rebocador Portuário em Operação (Reproduzido de BC Shipping News, May 2012)

Para Bartels (2011) e Radisic (2003), os rebocadores são considerados atualmente como parte fundamental da infra-estrutura portuária e do complexo sistema de segurança do porto e da navegação em suas águas. A *International Maritime Organization* (IMO), reconhecendo a importância de uma adequada assistência de rebocadores nos portos, para garantir a segurança marítima e do porto, a proteção ao meio-ambiente e a facilitação do tráfego marítimo, aprovou em 2003 a emissão da circular MSC/Circ. 1101 (IMO, 2003) para auxiliar as autoridades e operadores portuários a avaliar a adequação dos serviços de rebocadores em seus portos.

Além destas questões de segurança, os gestores portuários buscam também se equipar adequadamente para realizar estas operações de assistência da forma mais eficiente possível para que o porto seja competitivo (ARTYSZUK, 2013; RADISIC, 2003).

Do ponto de vista quantitativo, a frota mundial de rebocadores portuários era formada, no final de 2012, por um total de 14624 embarcações – incluindo algumas

poucas que exerciam também outras funções não realizadas normalmente por rebocadores portuários (ARTYSZUK, 2013). Deste total, a maior parte (8104) era constituída de rebocadores com 2 (dois) propulsores empregando propulsão convencional com tubulão ou propulsão azimutal, o restante dos rebocadores tem 1 hélice ou não foi encontrada a informação exata do tipo de propulsão. As Figuras 1-3 e 1-4 mostram exemplos da propulsão azimutal e convencional empregadas atualmente na maior parte dos rebocadores portuários.

Figura 1-3 Rebocador com propulsão Azimutal (Reproduzido de BC Shipping News, May 2012)

Figura 1-4 Rebocador com propulsão Convencional (Reproduzido de Fragoso e Cajati, 2002)

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ (2014), existem atualmente em operação 397 rebocador-empurrador para apoio portuário. Uma análise estatística dos dados sobre estes rebocadores disponíveis na ANTAQ indica que por volta de 30% desta frota tem mais de 25 anos de idade, como se pode inferir da Figura 1-5.

Figura 1-5 Quantidade de Rebocadores Brasileiros por Intervalos de Ano de Fabricação (Elaborado pela autora)

Como já dito anteriormente, a expansão do transporte marítimo produzida pela globalização gerou grandes impactos nas operações portuárias. Parte destes impactos atinge os serviços portuários, sobre os quais crescem as exigências por melhores níveis de desempenho em quesitos relacionados à segurança, a qualidade e ao custo das operações, além da capacidade de lidar com navios de porte cada vez maior. Para Allan (2003) a evolução técnica dos rebocadores está diretamente associada a este aumento do movimento de navios nos portos.

A modernização e atualização dos portos para atender estas demandas envolvem, necessariamente, a atualização e adequação da frota e das características dos rebocadores portuários (RADISIC, 2003). Para (BARTELS, 2011), um rebocador projetado adequadamente para o cenário atual, e com

melhores características para manobrar navios, pode proporcionar reduções de custo nos equipamentos do cais ou berços, a manutenção ou aumento da densidade de tráfego, ou mesmo viabilizar o acesso ao porto em condições de tempo mais severas e também prestar assistência a navios de maior porte.

1.3 Tendências e Demandas sobre o Projeto de Rebocadores Portuários

Com exigências cada vez maiores sobre os requisitos operacionais dos rebocadores, a indústria vem respondendo com o projeto e desenvolvimento de rebocadores cada vez mais sofisticados, de maior capacidade e capazes de realizar funções adicionais como o combate a incêndios e a vazamentos de combustíveis nos portos (DE JONG, 2010; BARTELS 2011).

Reflexos já presentes destas exigências são: a redundância no sistema propulsivo - o ultimo rebocador com apenas um hélice construído para um armador britânico foi lançado em 1982 (GASTON, 2014); a capacidade de “*Bollard Pull*” (reboque) - praticamente dobrou em rebocadores portuários do mesmo porte, nos vinte anos seguintes à 1980 (ALLAN, HARFORD, 2009).

Mais recentemente os desenvolvimentos técnicos envolvem a introdução de novos conceitos, a otimização da forma do casco dos rebocadores e a otimização dos sistemas de propulsão com respeito à potência, eficiência e poluição ambiental. Neste sentido algumas iniciativas vêm sendo realizadas como, por exemplo, o projeto conjunto das Sociedades Classificadoras Bureau Veritas (BV), American Bureau of Shipping (ABS) e Lloyd's Register para o desenvolvimento de diretrizes comuns para o projeto e operação de rebocadores (DE JONG 2010).

Para responder também ao aumento do porte e tamanho dos navios mercantes, os portos vêm adquirindo os rebocadores mais potentes, sofisticados e com maior capacidade de “*Bollard Pull*” disponíveis no mercado, apesar do maior investimento e dos maiores custos de combustível e manutenção associados (ARTYSZUK 2013; DE JONG, 2010).

No entanto, como comentam Hensen [2003?]; Bondarenko et. al., (2016) e Radisec (2003), nenhum porto é igual a outro e os requisitos sobre os rebocadores variam de porto para porto. Para estes autores, todo porto tem suas características particulares e as seguintes condições são cruciais para definir a estrutura da frota e

as características dos rebocadores: o volume de tráfego; os tipos de navio que o porto atende e sua capacidade de carga; as condições ambientais do local; o nível tecnológico dos equipamentos nos berços de atracação e as leis e regulamentos locais.

Neste sentido também, Hensen [2003?] mostra que a otimização do uso de rebocadores depende das diferentes prioridades econômicas dos envolvidos nas operações portuárias. Para o armador, por exemplo, que busca serviços portuários mais rápidos, rebocadores mais potentes são mais interessantes. Por outro lado, o porto pode não ter necessidade de uso frequente destes rebocadores, o que economicamente não justifica a sua contratação.

Já para o proprietário da frota, trocar rebocadores de menor capacidade pelos de maior “bollard pull” pode propiciar economias associadas a uma frota menor e a um menor número de tripulantes. No entanto, a disponibilidade de rebocadores mais potentes não reduz automaticamente o número de rebocadores necessários para manobrar os navios, o que não gera, portanto, mais lucro e, eventualmente, pode contribuir para congestionamentos em momentos de maior tráfego ou de condições ambientais mais severas. A redução do número de rebocadores também pode levar a uma redução na redundância existente nas operações, aumentando o risco em caso de falha de algum rebocador (Hensen, [2003?]).

Além disto, do ponto de vista técnico, os rebocadores devem ser adequados para o tamanho dos navios. Navios pequenos devem normalmente ser assistidos por rebocadores menores e de menor potência.

No entanto, o tamanho e a potência dos rebocadores mais modernos tem mudado. Hensen, [2003?] cita o exemplo dos rebocadores compactos, que são rebocadores com propulsão azimutal com comprimento total por volta de 24 metros e capacidade de “bollard pull” de aproximadamente 70 toneladas. O autor comenta que estes rebocadores, com maior manobrabilidade e potência, são um desenvolvimento importante uma vez que os espaços disponíveis nos portos são frequentemente limitados.

Para Hensen [2003?] é evidente que o desenvolvimento de rebocadores mais seguros e de maior capacidade deve prosseguir. No entanto, o autor faz críticas e alertas sobre a prática inadequada de seleção de rebocadores com base apenas nas tendências atuais de escolha dos de maior capacidade. Na mesma direção (BONDARENKO, et al., 2016) comentam que o uso de rebocadores de maior

capacidade, associado ao aumento no investimento e nos custos operacionais, só se justifica pelo correspondente aumento de produtividade, na segurança das operações e na redução dos custos globais dos serviços portuários.

A solução para a questão de definição da estrutura da frota e das características dos rebocadores é a busca por alternativas que representem um balanço adequado entre os requisitos dos diversos atores envolvidos e das condições particulares do porto (Hensen [2003?]).

No projeto de embarcações e definição de frotas, a proposição e avaliação de diferentes alternativas de solução e de sua viabilidade técnica e econômica são realizados normalmente na fase ou etapa inicial do projeto, chamada de Projeto de Concepção (GALE, 2003). É nesta etapa que são realizados os estudos sobre o impacto que diferentes configurações, definindo diferentes alternativas de solução, têm sobre os principais atributos de desempenho desejados para a embarcação em projeto.

1.4 Projeto de Concepção e Modelos de Síntese e Otimização do Projeto

Por serem produtos de alta complexidade, o projeto de navios e embarcações se desenvolve normalmente em etapas, através de um processo naturalmente iterativo, principalmente nas etapas iniciais. Uma das subdivisões mais comuns separa o processo de projeto nas seguintes etapas: projeto de concepção; projeto preliminar; projeto de contrato e projeto de detalhamento (GALE, 2003).

Todo este processo é orientado para a satisfação dos chamados “Requisitos do Armador”. Tais requisitos especificam as principais características, atributos e restrições que devem ser atendidos pela solução final de projeto. Com base neles definem-se também os atributos de desempenho que serão empregados como critérios de mérito para escolha das melhores soluções.

Na maioria dos problemas de projeto estes critérios são conflitantes, exigindo um cuidadoso balanceamento (“*trade off*”) para orientar as decisões de compromisso que serão tomadas ao longo do projeto (PARSONS, 2003; ANDRADE, 2001). A discussão apresentada no subitem anterior é um exemplo desta situação para o caso dos rebocadores.

A etapa inicial de concepção, também chamada de etapa de síntese do projeto, é aquela na qual se confirmam os requisitos, restrições e critérios de avaliação das alternativas de solução, se realizam os estudos de viabilidade técnica e econômica destas alternativas e se desenvolve a concepção, ou concepções iniciais, das soluções de projeto. Como resultado obtém-se um conjunto de características que descrevem a solução, ou soluções iniciais, e que incluem normalmente: as dimensões principais e coeficientes de forma do casco; estimativas sobre os principais atributos de desempenho; tipo de planta propulsora; número de propulsores; potência instalada; estimativa inicial de estabilidade; avaliação inicial de custo; etc. (GALE, 2003).

Os estudos são realizados através da exploração sistemática, ou paramétrica, do desempenho de alternativas representadas por diferentes combinações de valores dos principais parâmetros que descrevem a embarcação. Este processo de síntese e análise geralmente se inicia com um exame detalhado das embarcações já existentes. Com base nesta análise e em hipóteses simplificadoras, são então feitas as estimativas iniciais dos valores das dimensões, das características principais e de desempenho da nova embarcação (GALE, 2003; PARSONS, 2003; ANDRADE, 2001).

Tradicionalmente, estas estimativas eram obtidas por tentativa e erro, através da modificação controlada das características de embarcações similares àquela em projeto (PARSONS, 2003), tal abordagem clássica é conhecida como “técnica do navio semelhante”.

O progressivo crescimento da capacidade dos computadores, das bases de dados a respeito de embarcações já projetadas e o desenvolvimento de programas de análise estatística, facilitaram o processo de análise e síntese. Análises de regressão multilíneas se tornaram então as ferramentas padrão para o desenvolvimento de equações ou modelos matemáticos para estabelecer correlações entre as principais características geométricas das embarcações e destas com os atributos de desempenho (velocidade, capacidade de carga, capacidade de reboque, peso estrutural, etc.) (PARSONS, 2003; GALE, 2003).

A combinação destas equações de regressão com outras semi-empíricas levou ao desenvolvimento dos primeiros modelos de síntese, ou paramétricos, integrados, para uso nas etapas iniciais do projeto. Quando programados em computadores, tais

modelos permitem a avaliação rápida e automática do desempenho das soluções representadas pelas várias possíveis combinações das características geométricas e de arranjo (ANDRADE, 2001; PARSONS, 2003). Dois exemplos bastante conhecidos destes primeiros modelos são o desenvolvido por Lamb (LAMB, 1969) para projeto de navios mercantes convencionais e o desenvolvido por Kupras para projeto de concepção de navios graneleiros (KUPRAS, 1976).

Um avanço importante neste processo ocorreu com o desenvolvimento de técnicas e algoritmos computacionais mais eficientes para aplicação em problemas de otimização matemática. Neste contexto, os problemas de projeto de navios, principalmente nas etapas iniciais, passaram a ser tratados e modelados como problemas formais de otimização, propiciando a busca orientada e automatizada pela solução viável de projeto que melhor atendesse os critérios de avaliação. Esta combinação dos modelos paramétricos com as técnicas e algoritmos de otimização, passou a constituir os chamados modelos de síntese e otimização de projeto. (NOWACKI, 2009; ANDRADE, 2001).

Inicialmente, os problemas de projeto eram formalizados como problemas de otimização mono-objetivo, ou seja, as soluções buscadas eram aquelas com o melhor desempenho segundo um único critério de avaliação, ou uma combinação algébrica de mais de um critério. O avanço subsequente da capacidade computacional e dos algoritmos de otimização para tratar problemas envolvendo múltiplos objetivos ou critérios de avaliação, viabilizou a formalização dos problemas de projeto como problemas de otimização multi-objetivo (Parsons 2009). Os modelos de projeto passaram então a ser conhecidos como modelos de síntese e otimização multi-objetivo.

Nos problemas multi-objetivo, quando há conflitos entre os critérios de mérito, o que se busca no processo de otimização são as soluções viáveis não-dominadas, que formam a fronteira de Pareto. Nenhuma das soluções desta fronteira é melhor, em todos os critérios de mérito, do que as outras que também pertencem à fronteira. Neste caso, é necessário um processo decisório posterior para a escolha da solução, ou soluções, que serão detalhadas nas etapas subsequentes do projeto.

Uma das grandes vantagens do tratamento do problema de projeto como um problema de otimização multi-objetivo, particularmente na etapa inicial do projeto, é que, além da identificação das características das soluções da fronteira de Pareto,

consegue-se também avaliar qual a influência das variáveis de projeto ou das restrições sobre os atributos de desempenho das alternativas de solução. Análises de sensibilidade, envolvendo o relaxamento ou aumento das restrições e das faixas de variação das variáveis de projeto, podem ser automaticamente realizadas, propiciando um conhecimento valioso sobre o problema de projeto e o comportamento das alternativas de solução.

Existem publicados na literatura diversos modelos deste tipo desenvolvidos para aplicação nas fases iniciais de projeto dos mais diferentes tipos de embarcações. Alguns exemplos destes modelos podem ser vistos em (PARSONS, 2009), (ANDRADE, 2001), (LYON, MISTREE, 1985), (NAKANISHI, 2015), (PEREIRA, 2016), (TANCREDI, 2009), (SHAHAK, 1998), (THOMAS, 1998), (XUEBIN, 2009), etc. No entanto, na revisão bibliográfica realizada para o desenvolvimento deste trabalho, não foram encontrados modelos de síntese e otimização multi-objetivo para projeto de rebocadores portuários, publicados com descrição e detalhes suficientes para sua reprodução e aplicação imediata. Embora existam trabalhos importantes nesta área como o apresentado por Ysla (2012) onde foi efetuada uma avaliação da fronteira de Pareto conceitual de rebocadores existentes, e o trabalho de Arnaldos (1994) que efetuou um estudo das principais dimensões de rebocadores portuários e propôs uma série de equações empíricas para o análise das características dos mesmos.

Como discutido anteriormente neste capítulo, o Brasil tem necessidades prementes de ampliação de sua capacidade portuária. Esta ampliação passa necessariamente pela readequação e modernização de sua frota de rebocadores portuários, ainda mais tendo em vista que 1/3 da frota atual possui idade superior a 25 anos. Nestas condições, entende-se que o desenvolvimento de um modelo de síntese e otimização multi-objetivo, para apoiar o desenvolvimento do projeto de rebocadores com atributos apropriados para as condições dos portos brasileiros, seja uma contribuição relevante para colaborar com a solução dos problemas portuários que o país enfrenta atualmente.

1.5 Objetivos do trabalho

O objetivo principal do presente trabalho é apresentar um modelo de síntese e otimização multi-objetivo para aplicação nas etapas iniciais de projeto de rebocadores portuários.

O modelo será desenvolvido a partir das informações coletadas em bases de dados sobre rebocadores e de modelos empíricos ou semi-empíricos, existentes na literatura, para avaliar atributos de desempenho de embarcações.

Ao final do trabalho será apresentada uma aplicação do modelo de síntese num problema de projeto e análise de rebocadores, tendo como objetivos, ou critérios de mérito, a maior capacidade de reboque a vante (“bollard pull”) e o menor porte possível. Ambos os objetivos visam à obtenção de rebocadores com a maior capacidade operacional possível, o que envolve tanto a maior capacidade de reboque quanto a maior capacidade de manobra e a menor ocupação de espaço para a sua operação.

Como objetivos secundários pretende-se também:

- a. Apresentar uma descrição detalhada sobre os rebocadores, seus tipos e funções e suas principais características geométricas, de arranjo e de desempenho;
- b. Apresentar um levantamento de dados e um estudo empírico sobre as correlações entre as características e atributos de rebocadores portuários
- c. Apresentar um conjunto de equações de regressão empíricas e semi-empíricas, desenvolvidas com base nos dados ou obtidas em trabalhos de outros autores, úteis para emprego na etapa de concepção do projeto de rebocadores.

1.6 Organização do trabalho

O primeiro capítulo desta dissertação apresenta o contexto da pesquisa, sua justificativa assim como a definição do objetivo principal e dos objetivos secundários do trabalho.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão sobre as características do processo de projeto de navios e embarcações

No capítulo três serão apresentadas as características gerais dos rebocador, as funções, a evolução dos mesmos e os tipos de propulsão empregados em rebocadores portuários.

No quarto capítulo apresentam-se os resultados do levantamento de dados sobre os atributos e as características geométricas, dimensionais e operacionais típicas de rebocadores portuários.

No quinto capítulo descreve-se o modelo de síntese desenvolvido para o projeto de concepção de rebocadores portuários.

No sexto capítulo será mostrado um exemplo de aplicação do modelo de síntese e otimização do projeto de concepção de rebocadores portuários.

Finalmente, no sétimo capítulo, apresentam-se as conclusões do trabalho e as recomendações para futuros desenvolvimentos do procedimento desenvolvido.

2. REVISÃO SOBRE PROJETO E OTIMIZAÇÃO

Neste capítulo apresenta-se uma revisão sobre as características do processo de projeto de navios e embarcações, sobre a formalização do problema de projeto como um problema de otimização e sobre os algoritmos genéticos, que é o tipo de algoritmo que foi empregado no modelo de síntese e otimização desenvolvido nesta dissertação.

2.1 Características do Processo de Projeto de Navios e Embarcações:

Navios e embarcações são produtos de alta complexidade por conta dos vários aspectos que os caracterizam, como por exemplo: o porte ou tamanho, a diversidade de funções; o custo; as dificuldades de operação; o número e diversidade de componentes necessários para fabricá-los; o tempo de fabricação; etc. Por esta razão seu projeto se desenvolve normalmente em etapas, através de um processo naturalmente iterativo, principalmente nas etapas iniciais (GALE, 2003).

Uma das subdivisões mais comuns separa o processo de projeto nas seguintes etapas: projeto de concepção; projeto preliminar; projeto de contrato e projeto de detalhamento. Na medida em que se avança nas etapas do projeto, as características e atributos que definem a solução, ou soluções, são determinados e definidos de forma cada vez mais detalhada. Neste processo, as configurações e características vão sendo modificadas, refinadas e reavaliadas, de forma iterativa, até que se chegue a uma solução considerada satisfatória e que melhor atenda aos requisitos de projeto (ANDRADE, 2001).

Estas características do processo de projeto estão representadas pela clássica figura da espiral de projeto proposta por Evans (1959) e seguidamente adaptada nos trabalhos de vários autores (GALE, 2003). A Figura 2-1 mostra um exemplo da espiral adaptado de Gale (2014).

Esta espiral representa o processo iterativo e convergente do projeto, desde a etapa inicial de concepção até a etapa final de detalhamento da solução. A figura mostra que, durante o processo, são realizadas diversas tarefas de definição de características e análise de atributos sendo que, na etapa inicial de concepção, as primeiras definições estão relacionadas com a especificação dos requisitos de

projeto, com a caracterização geral da forma (dimensões e coeficientes) e com avaliações iniciais dos principais atributos de desempenho.

Figura 2-1 Espiral de projeto (Adaptada de: Gale (2014))

Todo projeto de navio ou embarcação é orientado para a satisfação dos chamados Requisitos do Armador. Tais requisitos especificam as principais características, atributos e restrições que devem ser atendidos pela solução final de projeto dos pontos de vista de desempenho, capacidade, custo, operabilidade, confiabilidade, sustentabilidade, risco, etc. Além destes requisitos a solução de projeto tem que satisfazer também regras, restrições e legislações impostas por organizações internacionais como a IMO⁵, as Sociedades Classificadoras, as autoridades portuárias e dos países onde a embarcação irá operar, entre outras (GALE, 2003).

Com base nos requisitos definem-se também os objetivos, ou atributos de desempenho, que serão empregados como critérios para escolha das melhores soluções. No entanto, na maioria dos problemas de projeto, os critérios de projeto ou

de mérito, empregados para avaliação e seleção da melhor solução, são conflitantes. Em função disto, o projeto de navios exige um cuidadoso balanceamento e otimização destes diversos critérios interconectados e conflitantes, para orientar as decisões de compromisso (*"trade off"*) que os projetistas devem tomar ao longo do processo (PARSONS 2003; ANDRADE 2001).

Estas atividades de balanceamento e otimização das características das alternativas de solução são fundamentais, principalmente na etapa de concepção, pois definições e decisões tomadas durante a mesma têm elevado impacto no desempenho e no custo da solução final escolhida. Nesta etapa o custo de se realizar modificações nas características das soluções é de pequena monta, quando comparado com o que se gastaria em etapas mais avançadas para se alterar soluções escolhidas inadequadamente (PARSONS, 2003).

A etapa inicial de concepção é aquela na qual são estabelecidos e validados os requisitos, restrições e os critérios de projeto, são desenvolvidas as concepções das soluções iniciais de projeto e são realizados os estudos de viabilidade técnica e econômica destas alternativas. É nesta etapa que os projetistas têm a maior liberdade para testar e avaliar diferentes alternativas e realizar a otimização e o balanceamento adequado das principais características e atributos. Como resultado desta etapa obtém-se um conjunto de características que descrevem inicialmente a solução, ou soluções, para posterior refinamento e detalhamento nas etapas subseqüentes do projeto. Entre estas características encontram-se normalmente: as dimensões principais e coeficientes de forma do casco; estimativas sobre os principais atributos de desempenho; tipo de planta propulsora; número de propulsores; potência instalada; estimativa inicial de estabilidade; avaliação inicial de custo; etc. (GALE, 2003).

Os estudos realizados na etapa de concepção envolvem a exploração sistemática, ou paramétrica, do desempenho de alternativas representadas por diferentes valores e combinações dos principais parâmetros que descrevem a embarcação, com detalhes suficientes para permitir as avaliações iniciais dos principais requisitos, restrições e critérios de desempenho. As alternativas viáveis, que satisfazem tais requisitos e restrições, podem então ser comparadas para a posterior seleção daquelas com os melhores desempenhos e que atendam os critérios de forma balanceada e otimizada. Tipicamente, este processo de síntese e análise é repetido diversas vezes na tentativa de se obter as melhores soluções

possíveis. Em função destas características deste processo é que a etapa de concepção é chamada, muitas vezes, de etapa de síntese do projeto (GALE, 2003; PARSONS 2003; ANDRADE 2001).

Para o projeto de embarcações que não representam uma quebra de paradigma, estas atividades de síntese e análise na etapa de concepção geralmente se iniciam com um exame detalhado das embarcações do mesmo tipo, já construídas, para que se possa obter mais conhecimento e informações sobre as características e o desempenho destas. Com base nesta análise, e em hipóteses simplificadoras, são então feitas as primeiras estimativas dos valores das dimensões, das características principais e do desempenho da nova embarcação. (GALE, 2003; PARSONS 2003; ANDRADE 2001).

Tradicionalmente estas estimativas eram obtidas por tentativa e erro, através da inspeção das características das embarcações similares. Caso entre estas se encontrasse alguma com bom desempenho e com funções e atributos similares àquela em projeto, a mesma era adotada como a solução de base para o projeto. A partir de modificações controladas nas principais características desta embarcação semelhante chegava-se a solução inicial do problema de projeto (PARSONS, 2003; NOWACKI, 2009). Esta abordagem é conhecida como “técnica do navio semelhante” (ANDRADE 2001).

O progressivo crescimento da capacidade dos computadores e do tamanho e número de bases de dados a respeito de embarcações já projetadas, combinado com o avanço no desenvolvimento e desempenho dos programas de análise estatística, simplificaram e facilitaram os estudos sobre as correlações entre as principais características geométricas de um dado tipo de embarcação e destas com os atributos normalmente empregados para avaliar seu desempenho (velocidade, capacidade de carga, capacidade de reboque, peso estrutural, etc.).

Análises de regressão multilíneas se tornaram então as ferramentas padrão para o desenvolvimento de equações ou modelos matemáticos para representar de forma empírica, ou semi-empírica, as correlações entre as características geométricas e os atributos de desempenho das embarcações, principalmente quando havia pouca ou nenhuma base física ou teórica para tanto. (PARSONS, 2003; GALE, 2003).

A combinação destas equações de regressão com outras semi-empíricas, e destas com as demais informações extraídas dos bancos de dados, propiciou o desenvolvimento dos modelos de síntese, ou paramétricos, integrados, para uso nas etapas iniciais do projeto. Quando programados em computadores, tais modelos permitem a geração automática de várias soluções viáveis, ou seja, de um conjunto de várias alternativas, representadas por várias possíveis combinações das características geométricas e de arranjo que atendem os requisitos e restrições de projeto. Da mesma forma, para estas alternativas viáveis, os modelos também propiciam a avaliação automática dos atributos de desempenho empregados como critério de avaliação das alternativas geradas (ANDRADE, 2001; PARSONS, 2003). Dois exemplos bastante conhecidos dos primeiros modelos são o desenvolvido por Lamb (1969), para projeto de navios mercantes convencionais, e o desenvolvido por Kupras (1976), para projeto de concepção de navios graneleiros.

Evidentemente que estes modelos computacionais de síntese, para serem efetivos e eficientes nas fases iniciais do projeto, devem ser constituídos por informações, dados, equações e modelos de avaliação relativamente simples, para permitir uma rápida e razoavelmente precisa comparação entre o maior número possível de alternativas de solução (ANDRADE, 2001).

Uma nova mudança, e um avanço neste processo de síntese, ocorreu com o desenvolvimento de técnicas e algoritmos computacionais mais eficientes para aplicação em problemas de otimização matemática. Embora a busca pela melhor solução fosse sempre uma meta no processo de projeto, o desenvolvimento dos novos algoritmos viabilizou o tratamento e a modelagem dos problemas de projeto de navios, principalmente nas etapas iniciais, como problemas formais de otimização. Para isso, os modelos de síntese passaram a ser adaptados e programados segundo a estrutura formal de um problema matemático de otimização, viabilizando a busca orientada e automatizada pela solução viável de projeto que melhor atendesse os critérios de avaliação estipulados. Esta combinação dos modelos paramétricos síntese com as técnicas e algoritmos de otimização, passou a constituir os chamados modelos de síntese e otimização de projeto. (NOWACKI, 2009; ANDRADE, 2001).

Inicialmente, os problemas de projeto eram formalizados como problemas de otimização mono-objetivo, ou seja, as soluções buscadas eram aquelas com o melhor desempenho segundo um único critério de avaliação, ou uma combinação

algébrica ponderada envolvendo mais de um critério. Técnicas de programação não-linear, como as de Programação Quadrática Sequencial (SQP), ou mesmo de programação linear, para modelos linearizados, eram empregadas na solução numérica dos problemas. Para problemas envolvendo variáveis discretas ou naqueles em que não era possível avaliar as derivadas das funções envolvidas, técnicas de busca, como o método de Nelder-Mead, eram utilizadas (PARSONS, 2003).

O avanço subsequente da capacidade computacional e dos algoritmos de otimização para tratar problemas envolvendo múltiplos objetivos ou critérios de avaliação, viabilizou a formalização dos problemas de projeto como problemas de otimização multi-objetivo (PARSONS, 2009). Os modelos de projeto passaram então a ser conhecidos como modelos de síntese e otimização multi-objetivo. Tais modelos representam mais fielmente os problemas de projeto de navio, pois estes normalmente envolvem múltiplos critérios de mérito conflitantes. Exemplos destes conflitos entre critérios ou objetivos típicos do projeto de embarcações são: minimizar custo de aquisição versus maximizar a capacidade de carga; minimizar o custo operacional versus maximizar a velocidade de serviço; maximizar a capacidade de reboque versus minimizar o porte do rebocador; etc.

Nos problemas multi-objetivo, quando há conflitos entre os critérios de mérito, o que se busca no processo de otimização são as soluções viáveis não-dominadas, que formam a chamada fronteira de Pareto. Nenhuma das soluções desta fronteira é melhor, em todos os critérios de mérito, do que as outras que também pertencem à fronteira. Neste caso, é necessário um processo decisório posterior para a escolha da solução, ou soluções, que serão detalhadas nas etapas subsequentes do projeto (PARSONS 2009). No próximo item serão apresentadas a descrição matemática do problema de otimização multi-objetivo e a definição das soluções ótimas de Pareto.

Uma das grandes vantagens do tratamento do problema de projeto como um problema de otimização multi-objetivo, particularmente na etapa inicial do projeto, é que, além da identificação das características das soluções ótimas da fronteira de Pareto, consegue-se também avaliar, através da análise das características destas soluções, qual a influência das variáveis de projeto ou das restrições sobre os atributos de desempenho das alternativas de solução. Análises de sensibilidade envolvendo o relaxamento ou aperto nas restrições e nas faixas de variação das

variáveis de projeto podem ser automaticamente realizadas, propiciando um conhecimento valioso sobre o problema de projeto e o comportamento das alternativas de solução.

Como os problemas de otimização do projeto de navios, além de envolverem múltiplos objetivos, podem também envolver, simultaneamente, funções e atributos que podem variar tanto de forma contínua como discreta, funções não diferenciáveis, funções multimodais e parâmetros ou variáveis inteiras, discretas e contínuas, os algoritmos normalmente empregados para a solução computacional do problema são algoritmos de ordem zero, ou seja, que não envolvem avaliações de derivadas de qualquer ordem. Os algoritmos desta natureza que vêm sendo mais empregados nos problemas de projeto, principalmente na etapa de concepção, são os algoritmos genéticos (PARSONS, SCOTT 2004). Uma descrição sucinta do funcionamento deste tipo de algoritmo será apresentada mais adiante neste capítulo.

Existem publicados na literatura diversos trabalhos apresentando modelos de síntese e otimização desenvolvidos para aplicação nas fases iniciais de projeto dos mais diferentes tipos de embarcações. Alguns destes trabalhos estão citados a seguir: Parsons e Scott (2004) e Xuebin (2009) apresentam um modelo de síntese e otimização multi-objetivo para o projeto de concepção de navios graneleiros; Mistree (1985) e Andrade (2001) apresentam um modelo de síntese e otimização para o projeto de navios mercantes convencionais; Nakanishi et al. (2009) propõem um modelo de síntese e otimização para o projeto de embarcações de planeio; Pereira (2016) propõem um modelo de síntese para o projeto de submarinos. Outros modelos podem ser vistos também em (TANCREDI, 2005; SHAHAK, 1998; THOMAS, 1998).

2.2 O Problema Matemático de Otimização Multi-Objetivo

O problema matemático de otimização envolvendo mais de um critério de mérito ou objetivos, pode ser formulado da seguinte maneira (RAO 2009):

$$\text{Encontrar } x = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} \quad \text{que minimiza } f(X) = f \begin{Bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ f_3(x) \\ \vdots \\ f_n(x) \end{Bmatrix}$$

sujeito às seguintes restrições:

$$h_i(x) = 0, \quad i = 1, \dots, I$$

$$g_j(x) = 0, \quad j = 1, \dots, J$$

onde: x é o vetor das variáveis ou parâmetros de projeto x_1 até x_N , $F(x)$ é o vetor das funções objetivo $f_1(x)$ até $f_k(x)$ e $h_i(x)$ e $g_j(x)$ são as funções de restrição.

2.2.1 As variáveis de projeto

Todo sistema ou produto de engenharia é descrito e representado, ao longo de seu projeto, por diversos parâmetros, informações, dados, características físicas, propriedades e atributos de desempenho. Durante o processo de projeto o que se procura é quantificar e definir vários destes elementos que, em conjunto, representam e descrevem a solução do problema de projeto que atende os requisitos e satisfaz, da melhor maneira possível, os critérios de projeto (RAO 2009; ANDRADE 2001).

Em geral, nos problemas de projeto de engenharia, os valores de alguns destes elementos descritivos já são fixados como requisitos, enquanto outros podem assumir diversos valores que devem ser escolhidos, através de um processo de decisão, pela equipe de projeto. Os parâmetros e características que têm possibilidade de assumir uma gama de valores são normalmente chamados de variáveis independentes de projeto, e são representadas matematicamente no problema de otimização pelas variáveis $x_1, x_2, \dots, x_N$. Quando consideradas em conjunto, elas são representadas pelo vetor x das N variáveis de projeto (RAO, 2009).

É comum chamar o espaço cartesiano n -dimensional, no qual cada eixo de coordenadas representa uma variável de projeto, de espaço das variáveis de projeto, ou espaço de projeto. Cada ponto deste espaço pode representar uma solução possível, ou impossível, do problema de projeto.

No caso do projeto de embarcações, principalmente na fase de concepção, o conjunto de variáveis de projeto é normalmente pequeno, mas suficiente para

permitir uma descrição adequada das soluções de projeto e uma avaliação razoavelmente precisa dos principais requisitos e atributos de desempenho empregados na avaliação destas soluções. Em geral, as variáveis nesta fase do projeto representam as dimensões principais, alguns coeficientes de forma e, eventualmente, alguma característica ou atributo da embarcação (PARSONS; SCOTT, 2004).

2.2.2 Restrições

Na maioria dos problemas de projeto a solução deve satisfazer um conjunto de restrições, que limita os valores que as variáveis de projeto podem assumir. Estas restrições decorrem normalmente dos requisitos funcionais, operacionais e legais que as alternativas de projeto devem atender. O conjunto destas restrições é chamado de restrições de projeto. As soluções que satisfazem este conjunto são chamadas de soluções viáveis de projeto (RAO 2009; ANDRADE 2001).

As restrições que impõem limitações ao comportamento ou desempenho das soluções são usualmente chamadas de restrições funcionais. Aquelas que impõem, explicitamente, limites aos valores das variáveis de projeto, por conta de limitações físicas presentes no problema, são chamadas de restrições explícitas ou laterais (RAO, 2009).

As restrições explícitas sobre as variáveis definem o domínio, contido no espaço das variáveis, dentro do qual as soluções do problema de projeto devem ser procuradas. Matematicamente estas restrições são representadas da seguinte forma:

$$x_i^{min} \leq x_i \leq x_i^{max} \quad i = 1, \dots, N$$

Os valores x_i^{min} e x_i^{max} representam os limites inferior e superior dos valores que a variável x_i pode assumir.

Para serem viáveis, as soluções, além de respeitar as restrições explícitas, devem também satisfazer as restrições funcionais e de desempenho. Estas restrições são matematicamente modeladas como limites impostos aos valores de funções que representam características e atributos de desempenho das soluções

de projeto. As restrições sobre estas funções podem ser de igualdade ou desigualdade.

Na formulação matemática apresentada anteriormente, as funções $h_i(\mathbf{x})$ e $g_j(\mathbf{x})$ das variáveis $\mathbf{x}$ de projeto, representam características e atributos das soluções e são, respectivamente, as funções sobre as quais são impostas restrições de igualdade e de desigualdade.

Na prática, as restrições de igualdade são muitas vezes empregadas para reduzir o número de variáveis de projeto ou então são substituídas por duas restrições de desigualdade, para tornar mais fácil a resolução do problema matemático de otimização (PARSONS; SCOTT, 2004).

Nos problemas usuais de projeto de engenharia normalmente existem várias soluções que atendem simultaneamente todas as restrições impostas. O conjunto destas soluções é chamado de conjunto das soluções viáveis de projeto. Aquelas que não atendem um ou mais requisitos formam o conjunto das soluções inviáveis. Evidentemente, a solução final do problema de projeto será escolhida entre aquelas que são viáveis.

2.2.3 Funções objetivo

Nos processos convencionais de projeto normalmente procura-se encontrar uma solução que atenda os requisitos e restrições de projeto, ou seja, uma solução viável para o problema proposto. No entanto, na maior parte destes problemas de projeto existe mais de uma alternativa viável de solução. Caso, no processo de projeto, se consiga identificar algumas destas alternativas viáveis, será necessário então definir um ou mais critérios de avaliação para a escolha da solução final. Este é o propósito fundamental do processo de otimização (RAO 2009; ANDRADE 2001).

Quando o problema de projeto é modelado e formulado como um problema formal de otimização, a busca por esta solução é normalmente mais eficaz, pois o emprego dos algoritmos de otimização facilita tanto a busca automatizada por uma quantidade maior de soluções viáveis como também a avaliação destas segundo os critérios de mérito. Nesta abordagem, os critérios de mérito devem ser expressos através de funções escalares das variáveis de projeto, que são comumente

chamadas de funções objetivo. Na formulação apresentada no item 2.2 as funções $f_1(\mathbf{x})$ até $f_k(\mathbf{x})$ representam as funções objetivo do problema de projeto.

A escolha dos critérios de avaliação, ou das funções objetivo de um problema de projeto depende da natureza do problema e do grupo de interessados na busca da solução mais adequada para o mesmo. Estes critérios devem ser estabelecidos no início do processo de projeto pelo grupo de interessados e são, em geral, formulados e validados com o apoio da equipe de projeto. Nos problemas de engenharia estes critérios, em grande parte, estão associados aos atributos de desempenho do produto em projeto. No projeto de navios e embarcações grande parte dos critérios envolve tipicamente atributos relacionados à: custo, peso, capacidade de carga, comportamento no mar, velocidade de serviço e outros atributos de desempenho (GALE, 2003).

Como visto no capítulo anterior, no caso dos rebocadores, dois atributos de desempenho fundamentais são a capacidade de reboque ("*bollard pull*") e o porte da embarcação, este último, por conta do custo de fabricação e da capacidade de manobra. Busca-se no projeto destas embarcações maximizar a capacidade de reboque, para permitir a assistência a navios de maior porte, e também minimizar o seu porte, visando um menor custo de aquisição e uma maior capacidade de manobra em espaços confinados (ARTYSZUK, 2013).

Se o problema de projeto envolver apenas um critério, ele será modelado como um problema de otimização mono-objetivo e haverá apenas uma função objetivo a ser otimizada. Se a função objetivo não for uma função multimodal, com vários pontos extremos de mesmo valor, haverá apenas uma solução ótima para este problema, que minimiza ou maximiza a função objetivo.

Caso o problema envolva mais de um critério de mérito ele será modelado como um problema de otimização multi-objetivo e haverá mais de uma função objetivo a ser otimizada. Caso haja conflito entre os objetivos, ou seja, a melhora do desempenho das alternativas segundo um dos critérios leva à piora segundo algum ou alguns dos demais critérios, o problema não terá uma única solução que otimize simultaneamente todas as funções objetivo (RAO, 2009). Isto é normalmente o que ocorre nos problemas de projeto de embarcações (PARSONS; SCOTT, 2004).

Neste tipo de problema, outro conceito de solução ótima deve ser adotado. A definição mais comum de solução ótima em um problema multi-objetivo é a de

solução ótima de Pareto, o que normalmente resulta não mais em uma única solução, mas sim num conjunto de soluções ótimas (PARSONS; SCOTT, 2004).

2.2.4 Soluções Pareto – Ótimas - Conceito de Dominância

Nos problemas de otimização que envolvam mais de um objetivo que sejam conflitantes entre si, não haverá, em geral, um único vetor $\mathbf{x}$ de variáveis de projeto que otimize simultaneamente todos estes objetivos. Neste caso as soluções ótimas serão as chamadas soluções não dominadas, de acordo com um conceito proposto pelo economista V. Pareto em 1896 (PARSONS, 2009).

As soluções ótimas de Pareto são soluções viáveis, dentro do espaço de soluções, que não podem ser melhoradas segundo um dado critério, sem que haja uma piora no desempenho segundo um ou mais dos demais critérios estabelecidos para o problema de projeto. Em outras palavras, em um problema envolvendo, por exemplo, a minimização simultânea de k funções objetivo, uma solução viável $\mathbf{x}_1$ será uma solução ótima de Pareto se não existir outra solução $\mathbf{x}_2$, tal que (RAO, 2009):

$$f_j(\mathbf{x}_2) \leq f_j(\mathbf{x}_1) \text{ para } j = 1, 2, \dots, k \text{ com } f_j(\mathbf{x}_2) < f_j(\mathbf{x}_1) \text{ para pelo menos um } j$$

A satisfação desta condição caracteriza a solução $\mathbf{x}_1$ como uma solução viável não dominada, do problema de otimização multi-objetivo.

Em geral, o conceito de solução ótima de Pareto faz com o resultado da otimização seja um conjunto de soluções não dominadas que formam a chamada fronteira de Pareto. Por este conceito de ótimo, estas soluções são todas igualmente boas e melhores do que todas as demais soluções viáveis do problema (PARSONS, 2009).

A figura 2.2 ilustra a fronteira de Pareto para um problema com dois objetivos conflitantes que devem ser minimizados simultaneamente. Os eixos representam os valores dos dois objetivos, a curva fechada representa o domínio dos valores das funções objetivo, calculados para todas as soluções viáveis do problema, e a curva realçada sobre os limites deste domínio, representa a fronteira de Pareto. Esta fronteira se estende desde o valor mínimo de uma das funções objetivo, até o valor

mínimo da outra função, quando estas são minimizadas considerando-se o problema como mono-objetivo.

Figura 2-2 Exemplo de Fronteira de Pareto (Fonte: Elaborado pela autora)

Uma vez determinada a fronteira de Pareto representado as melhores soluções de um problema de otimização multi-objetivo, a escolha da solução final, que será posteriormente detalhada durante o processo de projeto, deverá ser feita através de um processo de decisão *a posteriori*, no qual as preferências dos interessados na solução de projeto sejam cuidadosamente balanceadas.

2.2.5 Algoritmos Genéticos

Existem diversos algoritmos capazes de solucionar um problema de otimização multi-objetivo, com objetivos conflitantes. Para os problemas de engenharia, e em particular os problemas de projeto de embarcações, os algoritmos genéticos vêm sendo um dos tipos mais empregados para gerar a fronteira de Pareto. Isto se deve, principalmente, à relativa facilidade com que tais algoritmos lidam com variáveis de diversos tipos (reais, inteiras ou discretas), com funções de várias naturezas, como as funções lineares, não-lineares, descontínuas, com derivadas contínuas ou descontínuas, e com problemas com múltiplos objetivos

conflitantes. Em geral estas características estão presentes na maioria dos problemas de projeto de embarcações (PARSONS, 2009).

Os algoritmos genéticos são algoritmos probabilísticos de ordem zero, para a busca de ótimos globais de problemas de otimização dos mais variados tipos. Sua estratégia de busca do ótimo global não depende da avaliação de derivadas, mas se baseia em mecanismos inspirados pelo princípio darwiniano de seleção natural e reprodução genética.

De acordo com a teoria de Darwin, o princípio de seleção privilegia os indivíduos mais aptos, com maior probabilidade de reprodução. Indivíduos mais aptos são os que podem ter mais descendentes e, portanto, têm mais chance de perpetuarem seus códigos genéticos nas gerações subsequentes. Os códigos genéticos constituem a identidade de cada indivíduo da população e estão representados por seus cromossomos.

Estes mesmos princípios são emulados nos algoritmos genéticos que, tipicamente, incluem operações que simulam os processos biológicos naturais de seleção natural (ou sobrevivência), reprodução (ou cruzamento), e mutação. As operações de cruzamento e mutação são aquelas que garantem certa aleatoriedade ao processo e proporcionam uma maior chance de se obter o ótimo global ou a fronteira de Pareto do problema (PARSONS, 2009).

Nos algoritmos genéticos, o vetor x das variáveis de projeto é normalmente codificado como uma cadeia de caracteres ("*string*") binários, que forma o cromossomo que representa o código genético de um indivíduo da população.

Uma população inicial aleatória é gerada com um determinado número de indivíduos (cromossomos), representando parte do universo de potenciais soluções do problema de projeto. Os cromossomos são então submetidos a um processo evolucionário que envolve avaliação, seleção, cruzamento e mutação. A avaliação é feita com base nas funções objetivo do problema. Os indivíduos mais aptos para sobreviver são aqueles com melhores valores das funções objetivo. As restrições podem ser incluídas nesta avaliação, de forma a reduzir a aptidão ou a adaptação do indivíduo, caso estejam sendo violadas.

Em seguida, são selecionados os indivíduos que serão cruzados para formar a nova geração. Os mais aptos na população têm mais chance de serem selecionados para este cruzamento. O processo de cruzamento é feito através da combinação aleatória dos cromossomos de pares de indivíduos sobreviventes do

processo de seleção. Este cruzamento tende a produzir melhores descendentes (mais aptos) para formação da geração subsequente de indivíduos.

Para garantir que as informações genéticas de bons indivíduos não sejam perdidas ao longo deste processo de cruzamento, vários algoritmos genéticos incluem também mecanismos de elitismo, que asseguram que os melhores indivíduos de uma geração sejam também preservados nas gerações seguintes.

Durante este processo evolucionário, o operador de mutação eventualmente produz alterações em um gene selecionado aleatoriamente num cromossomo de um indivíduo da população, também selecionado de forma aleatória. Os mecanismos de cruzamento e mutação são os que conferem o caráter probabilístico a este tipo de algoritmo, aumentando as chances de se localizar o ótimo global ou a fronteira de Pareto do problema de otimização. Em geral, após um grande número de gerações, consegue-se localizar com boa precisão estas soluções ótimas.

A Figura 2.3 representa, através de um diagrama de blocos, o processo evolucionário que caracteriza os algoritmos genéticos.

Figura 2-3 Representação do processo seguido por um algoritmo genético (Fonte: Elaborado pela autora)

Em geral, a solução de problemas de otimização através do emprego de algoritmos genéticos exige tempos de computação elevados. No entanto, o grande poder computacional dos computadores e servidores modernos tem tornado esta questão menos relevante na modelagem de problemas de projeto como problemas de otimização, particularmente porque o uso de algoritmos genéticos propicia o extenso uso de computação paralela para acelerar o tempo de solução dos problemas.

Os algoritmos genéticos apresentam, no entanto, uma grande vantagem na solução de problemas multi-objetivo, pois permitem a identificação de toda a fronteira de Pareto em um único processamento do problema de otimização.

2.2.6 Algoritmo NSGA II

O algoritmo NSGA – II (Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) desenvolvido por Deb et al. (2002) é hoje um dos algoritmos genéticos de referência em problemas de otimização multi-objetivo.

Este algoritmo emprega um mecanismo de elitismo para preservar as melhores soluções de gerações anteriores. Este mecanismo propicia a identificação e classificação das soluções não-dominadas dentro de uma determinada geração, que são então preservadas e mantidas nas gerações subsequentes, para participar dos processos de seleção, cruzamento e mutação impostos aos indivíduos das novas gerações.

Em particular, o NSGA-II emprega também um mecanismo específico na avaliação das soluções, no qual as melhores são aquelas que, na fronteira de Pareto, encontram-se mais distantes das soluções da fronteira próximas a ela e que pertençam ao domínio das soluções viáveis. Tal mecanismo colabora na identificação de soluções ótimas mais bem distribuídas ao longo da fronteira identificada.

O algoritmo NSGA-II será o algoritmo empregado junto com o modelo de síntese para obtenção das soluções ótimas de projeto na etapa de concepção do processo de projeto de rebocadores portuários,

3. CARATERÍSTICAS GERAIS DO REBOCADOR PORTUARIO

Neste capítulo apresenta-se uma descrição geral das principais características dos rebocadores. Em particular serão apresentados os tipos, as características funcionais, de operação, de arranjo e de propulsão dos rebocadores portuários.

3.1 Classificação de rebocadores:

Na literatura os autores têm diferentes criterios para classificar os rebocadores sendo que os mais usuais estão relacionados às funções e local de operação do rebocador e ao tipo de propulsão.

Brady (1967) classifica os rebocadores, em função dos locais de operação e das funções específicas, como: rebocadores de porto; rebocadores de rio; rebocadores de canal; rebocadores costeiros; rebocadores oceânicos e rebocadores de resgate e salvamento. Já o *US Navy Towing Manual* (2002) classifica os rebocadores com base na função que devem cumprir, tais como: rebocadores de porto; rebocadores para operação ponto a ponto; rebocadores de resgate e emergência; rebocadores de salvamento, e rebocadores especiais para operação oceânica. Allan (2003), por sua vez, também classifica os rebocadores de acordo com sua área de trabalho e sua função, como segue: rebocadores portuários e de assistência a navios, tal como o mostrado na Figura 3.1; rebocadores costeiros; rebocadores oceânicos e de salvamento; rebocadores de escolta e rebocadores de rio.

Figura 3-1 Rebocador Agbodrafo (Fonte: DAMEN, 2010)

Fragoso e Cajaty (2002), num estudo que fizeram sobre as classes de rebocadores os classificaram também em função do tipo de propulsor que empregam, como: rebocadores com propulsão convencional e rebocadores com propulsão especial (azimutal ou cicloidal).

Já Gorski et. al. (2012) também classifica os rebocadores de acordo com o tipo de propulsão, mas, acrescentam outras classificações em função dos equipamentos e dos tipos de serviço, como por exemplo, rebocadores com capacidade de combate a incêndio ou com capacidade de combate a poluição marítima.

Para fins do desenvolvimento deste trabalho serão considerados apenas os rebocadores portuários com seus diferentes sistemas de propulsão e eventual capacidade de realização de combate a incêndio na região portuária.

3.2 Descrição Geral de um Rebocador Portuário

Os rebocadores portuários são embarcações consideradas de vital importância para a assistência à navegação e para a segurança das operações portuárias. Essas funções são fundamentais uma vez que os navios que entram e saem dos portos não conseguem manobrar satisfatoriamente em baixas velocidades, o que eleva os riscos de colisão e encalhe durante a navegação, atracação e desatracação. A Figura 3.2, adaptada do trabalho de Bartels (2011), mostra uma representação gráfica deste problema de perda de controle na manobra dos navios em função da redução da velocidade e o consequente aumento da necessidade de assistência de reboque.

Figura 3-2 Capacidade de manobra de navio (Fonte: Adatada do Bartels, 2011)

Embora as funções principais dos rebocadores tenham se mantido ao longo da história, recentemente o projeto de novos rebocadores portuários vem incluindo entre suas funções principalmente as atividades de combate a incêndio na região portuária. Estas novas funções evidentemente provocam mudanças nas instalações e equipamentos a bordo do rebocador e no seu arranjo.

Os rebocadores são normalmente caracterizados pela elevada potencia instalada em relação às dimensões do seu casco (ALLAN, 2003), o que confere a eles uma forma e arranjo únicos entre os demais navios. A Figura 3.3 ilustra a configuração e o arranjo típicos de um rebocador portuário e apresenta a nomenclatura de algumas das suas partes principais.

1- Luz de topo	10- Amurada	19- Passador de cabos
2- Mastro	11- Escada de acesso a ponte	20- Borda de popa
3- Bandeira	12- Salva-vidas	21- Defesa
4- Sirene de nevoeiro	13- H-Bit	22- Proa
5- Antena de rádio	14- Cabrestante	23- Leme
6- Lâmpada de sinalização	15- Gancho de reboque	24- Abertura da hélice
7- Chaminé	16- Cabo	25- Hélice
8- Ponte de navegação	17- Coberta principal	26- Eixo do hélice
9- Visor	18- Escotilha	27- Casco

Figura 3-3 Arranjo e nomenclatura do rebocador (Fonte: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Rebocador>>)

Os rebocadores marítimos evoluíram significativamente desde a sua criação em 1830. Ao longo dos anos suas características passaram por diversas alterações significativas tais como: a introdução, por volta de 1932 dos propulsores com tubulão (*Kort Nozzles*); em 1955 o primeiro rebocador com propulsão cicloidal (*Voith*

Schneider “*Tractor Tug*”) é lançado no mercado; em meados dos anos 60 alguns rebocadores já eram equipados com tubulão giratório, levando a capacidade de tração até 30 toneladas; no início dos anos 80 surgem os rebocadores com dupla propulsão azimutal (ASD *Azimutal Stern Drives*), elevando a capacidade de reboque (*Bollard Pull*) a valores hoje em torno de 80 toneladas mesmo em rebocadores de pequeno porte (GASTON, 2014). A Figura 3.4 mostra a evolução ao longo do tempo, da configuração e do tipo de propulsão dos rebocadores.

Figura 3-4 Evolução dos rebocadores (Fonte: Gaston, 2014)

Atualmente existem diversos estudos voltados para o desenvolvimento de inovações para otimizar a capacidade operacional, a eficiência e o desempenho dos rebocadores. Alguns exemplos desses estudos tratando de otimização da forma do casco, novos arranjos de planta de propulsão e de melhorias no consumo de

combustível e emissão de poluentes podem ser vistos em (ALLAN, PAPUC, 2010; VON WILCO, et. al., 2010; MAN, 2012).

Com relação à frota dos rebocadores portuários, um estudo desenvolvido por (ARTYSZUK 2013), a partir de bancos de dados particulares, mostra que a frota mundial ao final de 2012 era composta por um total de 14624 embarcações, incluindo algumas poucas que executam funções não tradicionais. Deste total, representando os rebocadores mais modernos, 9268 possuem 2 propulsores. Dentre estes, uma maioria de 8104 é constituída de rebocadores que empregam propulsão convencional (5178) ou propulsão azimutal (2926).

3.2.1 A operação típica de reboque portuário

Quando um navio a ser atracado desponta na entrada do porto, o rebocador segue em sua direção a fim de se encontrar com ele e iniciar a operação de reboque. Quando o navio precisa desatracar do porto, da mesma forma o rebocador o assiste na operação e o acompanha até uma zona segura para navegação independente.

Neste processo o rebocador atua sob o comando do mestre, que vai a bordo do rebocador, e do prático, que sobe ao navio para dirigir a manobra. O rebocador, seja para as manobras de atracação ou desatracação, lança os cabos para o navio com a finalidade de tracioná-lo e, se for necessário, dependendo do tipo de navio, serão empregados dois, três ou mais rebocadores. O rebocador irá tracionar ou empuxar o navio numa velocidade típica de 4 nós aproximadamente. Na Figura 3.5 mostra-se algumas das possíveis configurações da manobra de um navio com auxílio do rebocador.

Figura 3-5 Formas de manobra do rebocador (Fonte: Adaptado de Obras Marítimas Tecnológicas, 2000)

É interessante observar que o serviço de reboque varia de acordo com os tipos de navios que o porto recebe; no caso de um porto que recebe navios porta-container, os quais lá permanecem por apenas algumas horas, será necessário um serviço rápido que exigirá o emprego de pelo menos 2 ou 3 rebocadores, para conseguir atracar e desatracar o navio no menor tempo possível.

Os principais fatores que vão influir no trabalho dos rebocadores portuários (OBRAS MARITIMAS TECNOLOGIAS, 2000) são:

- Acesso aos portos: os acessos estão sob a influência do mar aberto e podem ser largos ou estreitos. Dependendo da situação, os rebocadores devem ter a capacidade de trabalhar nas diferentes condições do mar para poder atuar nas entradas desses portos.
- Condições climatológicas e ambientais do porto: são fundamentais para estabelecer a estratégia da operação de reboque, pois, os portos podem estar sujeitos a correntezas ou ventos fortes, diferentes calados de operação, e também

podem exigir longos tempos de ingresso e saída de navios. Em função disso o porto pode necessitar da disponibilidade de diferentes tipos de rebocadores.

3.3 Atributos fundamentais dos rebocadores portuários

Tendo em vista as funções típicas de um rebocador portuário, (LARRUCEA, 2012) é um dos autores que citam quais devem ser os principais atributos e características operacionais dos mesmos e os define como:

- Capacidade reboque (*Bollard Pull*): Representa a força, em toneladas, que o rebocador é capaz de exercer em baixas velocidades para rebocar outras embarcações; esta capacidade está diretamente associada com a potência instalada e o tipo de propulsor empregado.

- Manobrabilidade: Representa a capacidade e facilidade que o rebocador tem de realizar manobras de giro e parada; esta capacidade é fundamental uma vez que, manobras de grandes navios em espaços reduzidos, exige que o rebocador se movimente em todas as direções com agilidade e precisão; esta capacidade está diretamente associada ao porte e à potência instalada na embarcação.

- Estabilidade: Diante da possibilidade do rebocador alcançar grandes ângulos de inclinação devido à tração no cabo de reboque, as normas (NORMA IMO A-167, 1968) exigem características especiais de estabilidade para os mesmos: a curva de estabilidade estática para o rebocador deve ser positiva até pelo menos 60 ou 70 graus de inclinação, e possuir uma altura metacêntrica de no mínimo 60 centímetros.

- Pessoal reduzido: Para reduzir os custos operacionais a maioria dos rebocadores atuais são projetados para serem operados por tripulações não maiores do que três pessoas. Como consequência estes rebocadores deveriam dispor de equipamentos automatizados e que possam ser operados através de sistemas remotos de controle.

- Forma do casco: uma das características mais importantes e típicas dos rebocadores é o pontal reduzido; nos rebocadores de última geração procura-se manter a altura do convés a menor possível, reduzindo a altura do guincho de reboque, visando uma maior estabilidade.

Em função destas características, os rebocadores portuários são embarcações que apresentam uma elevada relação entre a potência instalada e o deslocamento do casco. Esta condição decorre da necessidade de que os rebocadores apresentem, simultaneamente, uma elevada capacidade de reboque (*bollard pull*) e uma alta manobrabilidade em áreas reduzidas. A alta potência instalada confere ao rebocador não só maior capacidade de reboque, mas também maiores capacidades de giro e de parada. Por outro lado o porte reduzido propicia operações de manobras em espaços reduzidos, embora possa provocar também eventuais problemas de estabilidade durante o reboque. A capacidade de reboque e a manobrabilidade são normalmente os principais atributos empregados para avaliar o desempenho operacional dos rebocadores (ARTYSZUK, 2013).

3.4 Tipos de propulsores empregados nos rebocadores portuários

Usualmente, a propulsão dos rebocadores portuários é realizada por meio de motores a diesel, que trabalham com hélices convencionais ou hélices não convencionais.

Allan (2003) propõe que para o projeto de rebocadores portuários o primeiro passo deve ser a escolha correta do sistema propulsivo. A Figura 3.6 mostra os principais e categorias de sistemas de propulsão de rebocadores.

Figura 3-6 Tipos de propulsores (Fonte: Elaborado pela autora)

3.4.1 Propulsores convencionais

Os hélices convencionais são de grande variedade de tipos e geometria. Pesam desde uns poucos quilos, para pequenas embarcações, até mais de 130 toneladas para uso em navios porta - contêineres.

Quando empregados em rebocadores tais hélices podem ser de passo fixo ou variável e são acionados por um eixo propulsor ligado à caixa de redução e ao motor principal. Existem instalações com um, dois ou até três hélices convencionais em rebocadores. Os mesmos podem ser instalados com ou sem tubulão. O uso de hélices convencionais normalmente exige a presença de lemes para realizar as manobras dos rebocadores. (FRAGOSO; CAJATY, 2002)

Muitas vezes, para melhorar a capacidade de manobra de rebocadores com hélices convencionais, são instalados lemes adicionais posicionados a frente do propulsor, com a finalidade de direcionar o fluxo da água.

O uso de tubulões Kort, segundo Fragoso e Cajaty (2002), propicia o aumento da capacidade de reboque em até 30 por cento em condições de velocidade nula. Na Figura 3.7 ilustra-se uma instalação convencional com tubulão.

Figura 3-7 Hélice convencional com tubulão Kort (Fonte: Orviz, 2012)

Tipicamente as relações entre força de tração e potencia para hélices com e sem tubulão são as seguintes (ALLAN, 2006):

Hélice sem tubulão: 10-15 Kg/kW

Hélices com tubulão: 15-20 Kg/Kw

3.6.2 Propulsores especiais:

Os propulsores especiais são aqueles que além da função de propulsão exercem também a função de governo substituindo os lemes dos rebocadores. Segundo Larrucea (2002) os tipos mais importantes são os propulsores azimutais e os propulsores cicloidais.

▪ Sistema Azimutal: é constituído de um hélice instalado dentro de um tubulão que pode girar 360 graus em torno de um eixo vertical. O acionamento do propulsor é feito por um sistema de eixos em forma de “Z” que, além do acionamento do hélice, permite seu giro em 360° (Figura 3.8).

Segundo Allan (2006) a capacidade de tração em função da potência de um propulsor azimutal varia entre 15 e 20 Kg/Kw.

Figura 3-8 Sistema Azimutal (Fonte: <<http://www.nauticexpo.es/prod/schottel/propulsores-timones-para-buque-22142-53045.html>>)

▪ Sistema Cicloidal Voith-Schneider: há mais de oitenta anos, desenvolveu-se o conceito de propulsor cicloidal, que revolucionou a indústria marítima devido à sua capacidade de gerar um empuxo em qualquer direção. Este sistema é capaz de realizar, com um único equipamento, as funções de governo, propulsão e estabilização do movimento de *roll* (LARRUCEA, 2002).

O conceito de VSP (*Voith-Schneider Propeller*) é baseado em um rotor, que está localizado no casco, tendo rotação constante em torno de um eixo vertical. Na parte inferior do rotor em forma de disco, são firmadas quatro ou cinco pás de perfil hidrodinâmico, as quais participam do movimento circular do rotor. O empuxo do propulsor decorre da sustentação hidrodinâmica proveniente das pás. A Figura 3.9 ilustra este tipo de propulsor, que é considerado por muitos o ideal para uso em rebocadores.

Allan (2006) propõe que força de tração em relação a potência de um propulsor VSP é de 12, 5 a 16 Kg/Kw

Figura 3-9 Sistema Cicloidal

(Fonte: <<http://www.voith.com/en/products-services/power-transmission/voith-schneider-propeller-10002.html>>)

Na Figura 3.10 pode se observar alguns dos rebocadores portuários com diferentes tipos de propulsão. Esses rebocadores pertencem à base de dados que será empregada mais adiante para estudos sobre as características dos rebocadores e para elaboração do modelo de síntese.

M.T OHAFIA – PROP AZIMUTAL

UNION PEARL – PROP 2 FIXAS

BUGSIER 1 – PROP CICLOIDAL

Figura 3-10 Rebocadores com diferentes tipos de propulsor (Fonte: www.shipspotting.com)

Na Tabela 3-1 apresenta-se um resumo das principais características dos diferentes tipos de propulsores de acordo com Fragoso e Cajaty (2002).

Tabela 3-1 Características de tipos de propulsor

PROPULSOR	CARACTERÍSTICAS
HELICES DE PASSO FIXO	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil fabricação - Projetado para uma única condição de operação - Não tem restrição na área ou forma das pás - Velocidade de rotação varia com a potencia requerida - Cubo de hélice com pequenas dimensões
HELICES DE PASSO CONTROLAVEL	<ul style="list-style-type: none"> - Opera com eficiência em múltiplas condições de operação - Permite operação com diferentes rotações do eixo - Restrição na área das pás e no giro das mesmas - Maior complexidade mecânica - Grande cubo de hélice
HELICES COM TUBULÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Podem acomodar hélices de passo fixo ou variável - Fácil fabricação - Propiciam aumento do empuxo em baixa velocidade
PROPULSÃO AZIMUTAL	<ul style="list-style-type: none"> - Permitem controle direcional do empuxo - Podem substituir os lemes - Maior complexidade mecânica - Podem operar com tubulão, ser de passo fixo ou variável
PROPULSÃO CICLOIDAL	<ul style="list-style-type: none"> - Permitem controle direcional do empuxo - Podem substituir os lemes - Maior complexidade mecânica

O emprego de propulsão não convencional tem impacto na forma do casco submerso dos rebocadores. Allan (2006) discute essa influência do tipo do propulsor na forma do casco. A Figura 3.11 adaptada de Allan (2006) indica a forma preferida de casco para emprego de propulsão azimutal. O primeiro desenho desta figura ilustra a inadequação de um casco convencional para instalação de um propulsor azimutal. O segundo desenho ilustra a forma adequada para melhor eficiência dos propulsores deste tipo.

Figura 3-11 Proposta de casco para diferentes propulsores (Fonte: Adaptado do Allan, 2006)

3.5 Rebocadores com função de Combate a Incêndios

Como já comentado anteriormente os rebocadores portuários modernos têm sido projetados para executar outras funções além do reboque. A função adicional normalmente atribuída aos rebocadores é a de auxílio a combate a incêndios na região portuária. Para exercer essa nova função um conjunto adicional de equipamentos deve ser incorporado no arranjo do rebocador, como por exemplo, monitores e bombas hidráulicas. Em geral os rebocadores portuários tem classificação FIFI 1 (*Fire Fighting Class 1*). Esta classificação exige que os rebocadores contenham pelo menos 2 monitores com capacidade, cada um, de 1200 m³/hora, e uma ou duas bombas com capacidade total de 2400 m³/hora (FFS, 2016). A instalação de estes equipamentos evidentemente modifica o arranjo interno dos rebocadores, exigindo espaços maiores na praça de maquinas, o que implica também no eventual crescimento nas dimensões principais.

Verifica-se em bases de dados de rebocadores (TUGS OF THE WORLD, 2009) que rebocadores com esta função adicional normalmente empregam propulsão

azimutal, pois para um eficiente combate a incêndio é essencial que a embarcação possua uma elevada capacidade de manobra.

Na elaboração do modelo de síntese estas características serão consideradas para diferenciar este tipo de rebocador daqueles que só possuem a função de reboque. A Figura 3.12 ilustra a praça de maquinas de um rebocador equipado também para combate a incêndio.

Figura 3-12 Praça de maquinas do rebocador Rio Gatun (Reproduzido de: DAMEN, 2012)

4. LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE DIMENSÕES, ATRIBUTOS TÍPICOS DOS REBOCADORES PORTUÁRIOS

Neste capítulo apresenta-se os resultados do levantamento de dados sobre os atributos e as características geométricas, dimensionais e operacionais típicas de rebocadores portuários. Os dados foram levantados a partir dos bancos de dados disponíveis nas referências (TUGS OF THE WORLD, 2009; DAMEN, 2012) e nas informações disponíveis nos artigos e trabalhos de diversos autores, que serão citados ao longo do capítulo. Além dos dados serão apresentadas também aproximações empíricas relacionando as informações geométricas e estas com os atributos de desempenho dos rebocadores.

Como visto no capítulo 3, a maior parte dos rebocadores em operação possui 2 propulsores com tubulão sendo que destes por volta de 90 por cento empregam as propulsões convencional e azimutal (ARTYSZYK, 2013). Além disso, alguns desses rebocadores também executam a função de combate a incêndio. Em função dessas circunstâncias, as informações levantadas se concentraram em rebocadores com as seguintes características: rebocadores com função única de reboque; rebocadores com função adicional de combate a incêndio; rebocadores com propulsão convencional e rebocadores com propulsão azimutal.

O objetivo deste levantamento e análise de dados são a obtenção de informações que permitam estabelecer padrões e limites de variação das dimensões principais e das relações entre elas, assim como correlações empíricas entre características geométricas, potência instalada e os atributos de desempenho, como a capacidade de reboque (*Bollard Pull*). Estes resultados serão posteriormente empregados na elaboração do modelo de síntese e otimização para o projeto de concepção de rebocadores portuários.

4.1 Características Gerais e Dados Típicos dos Rebocadores Portuários

Na Tabela 4-1 pode se observar as informações consolidadas por diferentes autores sobre as dimensões principais dos rebocadores portuários, e sobre alguns atributos de desempenho.

Tabela 4-1 Características gerais de rebocadores portuários.

	L (m)	B (m)	T (m)	D (m)	L/B	B/H	Pot (KW)	BP (ton)	V (nós)
Allan (2003)	25 - 35						1500 - 3750		
Gorski (2012)	15 - 50	5 - 14	2 - 6				2000 - 4000	5 - 80	11 - 14
Van Dokkum (2003)					3 - 5	1.3 - 2			
Arnaldos (1994)					3 - 4				

No Apêndice 1 encontra-se a Tabela A1.1 que contem dados de 280 rebocadores construídos a partir de 1998, extraídos das bases de dados (TUGS OF THE WORLD, 2009; DAMEN, 2012). Destes, 125 rebocadores possuem 2 propulsores sendo que 68 possuem propulsão azimutal, 32 possuem propulsão convencional, e 25 possuem propulsão azimutal e cumprem a função de combate a incêndios.

Para os 125 rebocadores acima citados as bases fornecem o conjunto completo de informações necessárias para as análises realizadas ao longo deste capítulo. Estas informações são as seguintes: Comprimento; Boca; Pontal; Calado; Potencia Instalada; Velocidade em corrida livre; Tipo de propulsão, Tipo de motor, *bollard pull*.

Nos itens subsequentes serão apresentados os dados e análises referentes às dimensões principais, às razões geométricas entre elas, às relações entre potência instalada e a capacidade de reboque e as dimensões do rebocador.

4.2 Comprimento (L), Boca (B) e razão L/B

Os valores de comprimento, boca e da razão entre eles são características que tem influencia na manobrabilidade, na estabilidade e no peso estrutural das embarcações.

Com base nas informações da Tabela A1.1 construiu-se o gráfico apresentado na Figura 4-1, no qual o eixo horizontal representa os valores do comprimento e o eixo vertical os valores da boca. Neste gráfico os pontos representam os rebocadores desta tabela classificados segundo a função e o tipo de propulsão.

No gráfico estão inseridos também os intervalos propostos Allan (2003) para o comprimento e os intervalos propostos por Gorski et. al. (2012), e estão desenhadas retas representando valores da razão L/B , inclusive os propostos por Arnaldos (1994) e Van Dokum (2003).

Figura 4-1 Relação entre Comprimento e Boca (Fonte: Elaborado pela autora)

Com relação ao comprimento, pode se observar que para os rebocadores das bases de dados os valores se situam numa faixa entre 20 e 40 metros. Estes valores são compatíveis com as faixas sugeridas por Gorski et.al. (2012) ($15 < L < 50$) e Allan (2003) ($25 < L < 35$).

Já com relação à boca os valores das bases de dados variam entre 7,0 e 12 metros, sendo também compatíveis com a faixa proposta por Gorski et. al. (2012) ($5 < B < 14$).

Com respeito a relação L/B o gráfico mostra que para os rebocadores das bases de dados esta relação varia entre 2,2 e 4,0. Esta faixa é compatível com aquela sugerida por Van Dokum (2003) com valores de L/B variando em ter 3,0 e 5,0, embora neste caso a faixa também inclua outros tipos de rebocadores.

Arnaldos (1994) propõe a seguinte relação empírica, representada na equação 4.1 relacionando a boca com o comprimento dos rebocadores. Esta equação também esta representada na Figura 4-1 e indica aproximadamente um limite superior para a razão L/B.

$$B = \frac{31,5 * L}{87 + L} \quad (4.1)$$

Allan (2003) apresenta duas linhas de tendência da variação da razão L/B em função do comprimento dos rebocadores, sendo uma das linhas para rebocadores com propulsão convencional e outra para rebocadores com propulsão azimutal. Essas linhas estão mostradas na Figura 4-2 juntamente com os pontos representando os rebocadores com propulsão convencional, azimutal e rebocadores com função de combate a incêndio, extraídos da Tabela A.1.1.

Figura 4-2 Relação L/B em função de L (Fonte: Elaborado pela autora e adaptado de Allan, 2003)

A análise das Figuras 4-1 e 4-2 e dos trabalhos de Allan (2003), Gorski et. al. (2012) e Arnaldos (1994) mostra que a relação entre a boca e o comprimento dos rebocadores varia de forma acentuada com o tipo de propulsão e a função do rebocador. Nos gráficos da Figura 4-3 essas relações são mostradas em função dos três tipos de rebocador. Os gráficos mostram diferenças entre as faixas de valores de L, B e de L/B, que serão consideradas separadamente na elaboração do modelo de síntese.

Figura 4-3 Relação L/B e limites superior e inferior para rebocadores com propulsão convencional, azimutal e combate a incêndios (Fonte: Elaborado pela autora)

4.3 Boca (B), Pontal (D) e razão B/D

Os valores de boca e pontal têm influencia importante na estabilidade transversal das embarcações, em particular dos rebocadores pois estes podem ser submetidos às forças transversais aplicadas pelo cabo de reboque.

Com base nos dados da Tabela A.1.1 foi construído o gráfico apresentado na Figura 4-4, no qual o eixo horizontal representa os valores da boca e o eixo vertical os valores do pontal. Os pontos representam esses valores para os três tipos de rebocadores analisados.

No gráfico estão inseridos também o intervalo proposto por Gorski et. al. (2012) para os valores do pontal, linhas representando valores da razão B/D e também linhas representando os limites desta razão propostos por Arnaldos (1994) e Van Dokum (2003).

Figura 4-4 Relação entre a Boca e o Pontal (Fonte: Elaborado pela autora)

Com respeito aos valores do pontal pode-se observar que, segundo a base de dados, estes valores situam-se numa faixa entre 3,0 e 6,0 metros, compatíveis com aqueles propostos por Gorski et. al. (2012) ($2 < D < 6$).

Já com relação à razão B/D , verifica-se que para os rebocadores da base de dados os valores situam-se entre 1,6 e 2,6. Estes valores mostram-se compatíveis com aqueles sugeridos tanto por Van Dokum (2003) ($1,3 < B/D < 2,0$), como por Arnaldos (1994) ($1,9 < B/D < 2,3$).

A análise da Figura 4-5 mostra também que as relações entre B e D variam com o tipo de rebocador considerado. A Figura 4.6 mostra estas relações para cada um desses tipos separadamente. Os limites e faixas de variação identificados nesta figura serão posteriormente empregados na elaboração do modelo de síntese.

Figura 4-5 Relação boca - pontal e limites superior e inferior para rebocadores de propulsão convencional, azimutal e combate a incêndios (Fonte: Elaborado pela autora)

4.4 Boca (B), Calado (T) e razão B/T

A boca e a razão geométrica B/T tem também influência na estabilidade transversal do rebocador. Por sua vez, o valor do calado tem influencia decisiva no diâmetro do propulsor, como será visto mais adiante.

Com base da Tabela A.1.1 construiu-se o gráfico da Figura 4-6. Neste gráfico os pontos representam os valores de B e T dos rebocadores da tabela. O gráfico mostra também o intervalo proposto por Gorski et. al. (2012) para os valores do

calado e as faixas de valores da razão B/T, inclusive aquelas propostas por Allan (2003) e Van Dokum (2003).

Figura 4-6 Razão Calado - Boca (Fonte: Elaborado pela autora)

Como mostra a Figura 4-6, os valores do calado dos rebocadores da base de dados situam-se numa faixa de 2,0 a 5,0 metros. Estes valores encontram-se dentro da faixa proposta por Gorski et. al. (2012) ($2 < T < 6$).

Com relação a razão B/T pode se observar que segundo a base de dados esta razão encontra-se na faixa de 2,0 a 3,5, que é compatível com as faixa proposta por Allan (2003) ($2 < B/T < 3$) e com o valor médio proposto por Van Dokum (2003) ($B/T \approx 2,25$).

Da mesma forma que para as outras dimensões a relação entre B e T para os diferentes tipos de rebocadores estão mostradas na Figura 4-7.

Figura 4-7 Relação boca - calado e limites superior e inferior para rebocadores com propulsão convencional, azimutal e combate a incêndios (Fonte: Elaborado pela autora)

4.5 Ponta (D), Calado (T) e razão D/T

A diferença entre o pontal e o calado define a borda livre da embarcação, que é um parâmetro que tem influencia fundamental na curva de estabilidade estática dos rebocadores. A definição de borda livre pode ser dada pela equação 4.2.

$$BL = D - T \quad (4.2)$$

Com base nos dados da Tabela A.1.1 foi construído o gráfico mostrado na Figura 4-8, no qual os pontos representam os valores de D e T para os rebocadores da tabela.

O gráfico mostra também, os valores da razão D/T entre os quais situam-se os pontos representando os rebocadores. Pode-se observar que esta razão varia entre 1,1 e 1,6.

Figura 4-8 Relação Pontal – Calado (Fonte: Elaborado pela autora)

Com base nos dados dos rebocadores da Tabela A.1.1 pode se observar que o valor da borda livre varia entre 0,5 a 1,6 metros. Esta faixa é compatível com o valor mínimo sugerido por Arnaldos (1994) (Borda Livre > 0,6)

A relação específica entre D e T e os limites para a razão D/T , para os diferentes tipos de rebocador, estão mostrados na Figura 4-9.

Figura 4-9 Relação pontal - calado e limites superior e inferior para rebocadores com propulsão convencional, azimutal e combate a incêndios (Fonte: Elaborado pela autora)

4.6 Relação entre o *Bollard Pull* e a Potência instalada

Um dos principais atributos de desempenho dos rebocadores, empregado normalmente como critério de mérito de um projeto, é a sua capacidade de reboque

(*bollard pull*). Esta capacidade está diretamente relacionada à potência dos motores principais e ao tipo de propulsor empregada pelo rebocador.

Na Figura 4-10 mostra-se os valores de *bollard pull* e da potência instalada para os três tipos de rebocadores da base de dados da Tabela A.1.1.

Figura 4-10 Relação *Bollard pull* – Potência (Fonte: Elaborado pela autora)

4.6.1 *Bollard pull* para propulsão convencional

Embora com menos frequência, os rebocadores equipados com dois propulsores convencionais ainda continuam sendo construídos ao redor do mundo em função do seu baixo custo.

Para estimativa do *bollard pull* dos rebocadores com instalações propulsoras convencionais, diversos autores sugerem equações empíricas relacionando a capacidade de reboque com a potência instalada. A seguir são apresentadas varias dessas relações propostas por diferentes autores.

- 1) Zahalka (2010) propõe as relações apresentadas na Tabela 4-2 para estimativa do *bollard pull* em rebocadores com propulsão convencional.

Tabela 4-2 Relação Bollard Pull – Potência de Zahalka

Tipo de Propulsor	<i>BOLLARD PULL</i>
Hélice de passo fixo	$BHP * 0.9 * 1.1 / 100$
Hélice de passo fixo em ducto	$BHP * 0.9 * 1.2 / 100$
Hélice de passo controlável	$BHP * 0.9 * 1.25 / 100$
Hélice de passo controlável em ducto	$BHP * 0.9 * 1.4 / 100$

Nesta tabela o valor do *bollard pull* é dado em toneladas e a potencia instalada (BHP) deve ser fornecida em *Horse Power* (HP).

2) Gorski et. al. (2012) propõem também equações de regressão para representar a relação entre o *bollard pull* e a potencia.

A Figura 4-11 adaptada de Gorski et. al. (2012) mostra o conjunto de pontos representando as características dos rebocadores usados por esses autores para construção da seguinte equação linear de regressão:

$$BP (ton) = 0.01814 * Pot (KW) - 0,2083 \quad (r^2 = 0,9521) \quad (4.3)$$

onde BP representa o *bollard pull* e Pot a potencia instalada.

Figura 4-11 Razão Bollard pull – Potencia de 32 rebocadores portuários da base de dados
(Fonte: Elaborado pela autora)

- 3) Na Figura 4-11 estão plotados também os valores de bollard pull e potencia dos 32 rebocadores com propulsão convencional, com hélice de passo fixo, da base de dados da Tabela A.1.1. Com base nesses pontos realizou-se uma regressão linear relacionando os dois parâmetros resultando na seguinte equação:

$$BP (ton) = 0,0171 * Pot (KW) + 2,2928 \quad (r^2 = 0,9573) \quad (4.4)$$

A Tabela 4-3 mostra os valores de *bollard pull* e potencia para dos 32 rebocadores da base de dados e os valores de *bollard pull* de cada um calculados através das equações de Zahalka (2010) (Tabela 4.3) e das equações 4.3 e 4.4. O gráfico da Figura 4-12 mostra a comparação entre as diferentes equações junto com os pontos representando os rebocadores da base de dados com propulsão convencional.

Tabela 4-3 Comparação de abordagens para estimativa de Bollard Pull

NOME	P (Kw)	Bp Real	BP Gorski	BP Zahalka	Equação 4.4
BRITOIL 66	3800	70	68.70	55.04	67.27
BRITOIL 67	3800	70	68.70	55.04	67.27
B. CEYHAN	4116	68	74.44	59.62	72.68
ANKOBRA RIVER	3542	67.3	64.02	51.30	62.86
BULLDOG	4107	66	74.28	59.49	72.53
PISCES 53	4140	65	74.87	59.96	73.09
GULF TITAN	3363	63	60.78	48.71	59.80
AL HAMRIYAH	2550	52	46.04	36.94	45.90
KANTI	2670	47	48.20	38.66	47.94
ALSANCAK-2	2088	45	37.66	30.24	38.00
LAMMA	2386	45	43.06	34.56	43.10
TAMARA I	2237	40	40.36	32.40	40.55
TAMARA LI	2237	40	40.36	32.40	40.55
AL MUKHTAR	2028	38	36.57	29.38	36.98
CHEETAH	1902	35	34.27	27.54	34.81
KARORI	1815	35	32.71	26.29	33.33
MELATI LI	1909	35	34.41	27.65	34.94
DON PEPE	1790	34	32.25	25.92	32.90
ALPAMAYO	1790	32	32.25	25.92	32.90
M.T. ADAMAWA	1834	32	33.06	26.57	33.66
M.T. OLUMO	1834	32	33.06	26.57	33.66
RIO TORIBIO	1790	31	32.25	25.92	32.90

Figura 4-12 Relação Potência - Bollard Pull para os rebocadores da base de dados e segundo as equações de regressão (Fonte: Elaborado pela autora)

Pode se observar na Figura 4-12 que a equação de regressão proposta por Gorski et. al. (2012) está bastante próxima da equação de regressão que representa os rebocadores da base de dados. Já a equação proposta por Zahalka (2010) aparenta ser mais conservadora uma vez que fornece valores inferiores aos das outras duas equações.

- 4) A MAN (2011) propõe uma equação e uma curva gráfica para o cálculo do *bollard pull* de rebocadores, em função tanto da potência instalada como do diâmetro do propulsor. Para o cálculo do *bollard pull* é preciso primeiro se determinar o valor da densidade de potência fornecido pela seguinte equação proposta pela MAN (2011):

$$\text{Densidade potência} = \frac{BHP}{\left(\frac{\pi}{4} * D_p^2\right)} \quad (4.5)$$

onde BHP representa à potência instalada de cada motor em HP e D_p o diâmetro do propulsor em metros.

Com base no valor desta densidade de potência calcula-se o bollard pull a partir do gráfico mostrado na Figura 4-13.

Figura 4-13 *Bollard Pull*, por unidade de potência instalada, em função da densidade de potência do rebocador. (Reproduzido: MAN, 2011)

- 5) Arnaldos (1994) também propõe uma equação para o calculo do bollard pull de rebocadores em função do diâmetro do propulsor e da potencia instalada. A equação é a seguinte:

$$BP(ton) = 0,0416 * Dp(pés) * BHP(HP))^{(\frac{2}{3})} \quad (4.6)$$

No gráfico da Figura 4-14 estão indicados os valores de *bollard pull* de 11 rebocadores da base de dados, com propulsão convencional, para os quais há informação sobre o diâmetro dos seus propulsores. No mesmo gráfico estão indicados os valores de bollard pull calculados através das equações 4.5 e 4.6 propostas pela MAN (2011) e por Arnaldos (1994), respectivamente.

Figura 4-14 Bollard pull de rebocadores da base de dados e estimados pelas equações 4.5 e 4.6 (Fonte: Elaborado pela autora)

Os resultados mostram que os valores calculados pela equação proposta pela MAN (2011) aproximam melhor os valores reais de *bollard pull* dos rebocadores da base de dados. Esta equação, no entanto, depende do conhecimento prévio do diâmetro do propulsor instalado no rebocador.

4.6.2 *Bollard pull* para propulsão azimutal:

- 1) Para estimativa do *bollard pull* de rebocadores com propulsão azimutal Gorski et. al (2012) propõe a seguinte equação de regressão:

$$BP(ton) = 0,01617 * Pot (KW) + 2,7314 \quad (r^2 = 0,9635) \quad (4.7)$$

- 2) Com base nos valores de *bollard pull* dos rebocadores com propulsão azimutal pertencentes a base de dados da Tabela A.1.1 realizou-se também uma análise de regressão que resultou na seguinte equação linear:

$$BP(ton) = 0,0144 * Pot(KW) + 6,5662 \quad (r^2 = 0,8254) \quad (4.8)$$

Na Figura 4-15 encontram-se: os pontos representando o *bollard pull* dos 65 rebocadores com propulsão azimutal da base de dados da Tabela A.1.1; os pontos representando os dados dos rebocadores empregados por Gorski para elaboração da sua equação de regressão e as duas retas representando as equações de regressão 4.7 e 4.8.

Figura 4-15 Regressão de Potência –Bollard Pull de rebocadores da base de dados de 65 rebocadores com propulsão azimuthal

Pode se observar tanto na Figura 4-15 como pelos coeficientes das equações que ambas são bastante similares e representam adequadamente o *bollard pull* dos rebocadores com propulsão azimuthal. Estas regressões representam também o *bollard pull* dos rebocadores com função extra de combate a incêndio pertencentes às bases de dados da Tabela A.1.1

4.7 Relação Potência – Número Cúbico:

A potência instalada em rebocadores portuários está diretamente ligada ao porte e peso dos motores. A capacidade de um rebocador utilizar motores de maior potencia esta diretamente ao espaço interno disponível no rebocador, que pode ser adequadamente representado pelo número cúbico que é dado pela seguinte equação:

$$N3 (m^3) = L * B * D \quad (4.9)$$

Na Figura 4-16 mostra-se os valores de número cúbico em função da potencia instalada para todos os rebocadores da base de dados da Tabela A.1.1. Na mesma figura mostra-se também linhas representando certos valores da relação $N3/100/Pot$ e linhas propostas por Allan (2003) para representar também esta relação para

rebocadores com propulsão convencional e azimutal. Pode-se observar nesta figura que os valores da razão $N3/100/Pot$ propostos por Allan (2003) encontram-se próximos dos valores médios obtidos dos rebocadores da base de dados.

Figura 4-16 Relação Número Cúbico – Potência para rebocadores da base de dados e proposta por Allan (2003) (Fonte: Elaborado pela autora e adaptado de Allan (2003))

Outra evidência da Figura 4-16 é a de que os rebocadores com diferentes tipos de propulsão possuem valores relativamente distintos da relação $N3/100/Pot$.

Em função disso estas relações para os diferentes tipos de rebocadores estão mostradas separadamente na Figura 4.17

Figura 4-17 Relação Número Cúbico - Potencia e limites superior e inferior para diferentes tipo de rebocadores (Fonte: Elaborado pela autora)

4.8 Relação Diâmetro do propulsor (Dp) e Calado (T)

O diâmetro do propulsor dos rebocadores é limitado pelo calado de operação dos mesmos e pelas condições de navegação dos canais portuários. A Figura 4.18 mostra a relação entre esse diâmetro e o calado dos rebocadores da base de dados, da Tabela A.1.1, para os quais estas informações estão disponíveis.

Figura 4-18 Relação do Diâmetro do propulsor com o calado de 19 rebocadores portuários da base de dados (Fonte: Elaborado pela autora)

A Figura mostra também que a razão T/D_p para os rebocadores da base de dados varia entre 1,5 e 2,2. Estes valores serão empregados posteriormente no modelo de síntese.

4.9 Síntese da Análise de Dados

Com base nas análises de dados apresentadas ao longo deste capítulo, baseadas tanto nos dados constantes na Tabela A.1.1 como em estudos elaborados por diferentes autores já citados elaborou-se a Tabela 4-4 onde são sugeridas faixas típicas e limites de variação das principais características geométricas e de alguns dos principais atributos operacionais e de desempenho dos rebocadores. Estas faixas e limites serão empregadas posteriormente na elaboração do modelo de síntese e otimização proposto para o projeto conceitual de rebocadores portuários.

Tabela 4-4 Faixas típicas de valores das dimensões dos rebocadores portuários

	Rebocador Portuário Propulsor Convencional		Rebocador Portuário Propulsor Azimutal		Rebocador Portuário Combate Incendios (FIFI)	
Variável	Mín	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Comprimento (m)	20	35	20	35	25	40
Boca (m)	7,0	11	8,0	13	8,4	13
Pontal (m)	3,0	6,0	4,0	6,0	4,0	6,0
Calado (m)	2,4	5,0	2,5	5,5	2,5	5,5
Relação L/B	2,4	4,0	2,2	3,5	2,2	3,5
Relação B/D	1,6	2,6	1,6	2,6	1,6	2,6
Relação B/T	2,0	3,5	2,0	3,5	2,0	4,2
Relação D/T	1,1	1,6	1,25	1,6	1,25	1,6
Borda Livre	0,5	1,6	0,5	1,6	0,5	1,6
N3/Pot	0,28	0,8	0,30	0,78	0,35	0,8
Pot (KW)	1800	4200	1900	4700	2500	4500
BP (ton)	30	70	30	80	30	70
T/D_p	1,5	2,2	1,5	2,2	1,5	2,2

5. MODELO DE SÍNTESE E OTIMIZAÇÃO PARA PROJETO DE UM REBOCADOR PORTUÁRIO

Neste capítulo descreve-se o modelo de síntese desenvolvido para o projeto de concepção de rebocadores portuários. O modelo foi desenvolvido para permitir a seleção das características principais de rebocadores que melhor atendem dois dos principais atributos de desempenho que contribuem para a eficácia e eficiência dos serviços portuários de assistência a navegação. Segundo Allan (2003) e Artyszuk (2013) esses atributos são a capacidade de reboque (*bollard pull*) e a capacidade de manobra.

Em geral o que se procura no projeto de rebocadores modernos, como já discutido nos capítulos 1 e 2, são rebocadores com elevada capacidade de reboque, para a assistência a navios de porte cada vez maior, e também com elevada capacidade de manobra em espaços cada vez mais confinados nos portos.

A capacidade de reboque é medida pelo valor da força de *bollard pull* que o rebocador é capaz de desenvolver em velocidades baixas ou nulas.

Já a maior capacidade de manobra em espaços confinados esta associada tanto ao número de propulsores como ao porte da embarcação. Embarcações com dois propulsores e menor porte apresentam melhor desempenho em relação a esta capacidade de manobra.

Conforme já discutido no capítulo anterior a maior parte dos rebocadores atualmente construídos são rebocadores com dois propulsores. O modelo de síntese, portanto, foi desenvolvido considerando apenas esta configuração de propulsão.

Com relação ao porte do rebocador o atributo escolhido no modelo de síntese para a avaliação do mesmo foi o número cúbico.

Tendo em vista também as diferenças identificadas nas análises do Capítulo 4, entre as características e atributos dos rebocadores com propulsão convencional, com propulsão azimutal e rebocadores com função adicional de combate a incêndio, o modelo de síntese será elaborado com elementos específicos para cada um desses tipos, particularmente em relação às restrições do problema.

Nos próximos itens apresenta-se as definições das variáveis de projeto, das restrições e das funções objetivo que representam o modelo de síntese e otimização proposto para o projeto de concepção de rebocadores portuários.

Ao final do capítulo apresenta-se de forma gráfica a estrutura deste modelo de síntese para posterior implementação num programa computacional contendo o algoritmo genético NSGA-II.

5.1 Variáveis de projeto

As variáveis de projeto escolhidas para descrever adequadamente os rebocadores na etapa de projeto de concepção são aquelas apresentadas na Tabela 5-1. Essas variáveis representam as dimensões principais do rebocador e a potencia total instalada na praça de máquinas. Como falado no capítulo 2 na etapa de concepção do projeto procura-se efetuar estimativas iniciais dos valores das dimensões da embarcação para isto emprega-se como base navios similares existentes o que foi efetuado através da base de dados, considerando como as principais dimensões do projeto o comprimento, boca, calado e pontal e acrescentando como variável a potencia pela sua relação direta com o bollard pull.

Tabela 5-1 Variáveis de projeto

Descrição	Símbolo
Comprimento Total	L
Boca	B
Pontal	D
Calado	T
Potencia	Pot

O conjunto dessas 5 variáveis, formando o vetor $\mathbf{x}$ das variáveis de projeto, é suficiente para descrever de forma adequada as alternativas de solução do problema de projeto. Em função do levantamento de dados e das análises realizadas no capítulo 4, verifica-se também que este conjunto é suficiente para a avaliação dos dois principais atributos que serão empregados como critério de avaliação do desempenho das alternativas de solução.

5.2 Restrições de projeto

Como visto no Capítulo 2 as restrições de projeto podem ser explícitas nas variáveis de projeto ou então restrições funcionais, sobre características e atributos da embarcação. A seguir apresenta-se as restrições destes dois tipos consideradas no modelo de síntese. É importante destacar que estas restrições podem ser futuramente modificadas dependendo da escolha do armador para definir os parâmetros do projeto.

5.2.1 Restrições explícitas

Com base no levantamento de informações e nas análises desenvolvidas no Capítulo 4, identificou-se os limites que definem as restrições explícitas sobre as variáveis de projeto para os três tipos de rebocadores considerados, conforme mostra a Tabela 5-2.

Tabela 5-2 Restrições dos limites das variáveis de projeto

	Propulsão Convencional		Propulsão Azimutal		Combate Incendios (FIFI)	
Variável	Mín	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
L (m)	20	35	20	35	25	40
B (m)	7,0	11	8,0	13	9,0	13
D (m)	3,0	6,0	4,0	6,0	4,0	6,0
T (m)	2.4	5,0	3,0	5,0	2.5	5.5
Pot (KW)	1800	4200	1900	4700	2500	4500

5.2.2 Restrições funcionais

As restrições funcionais consideradas no modelo de síntese são de dois tipos: as restrições geométricas e as restrições sobre características e atributos de desempenho.

A seguir detalham-se os dois tipos de restrição funcional consideradas no modelo.

(I) Restrições geométricas

As restrições geométricas são aquelas impostas sobre as seguintes relações entre as dimensões principais da embarcação: L/B; B/D; B/T; D/T; Borda Livre.

A Tabela 5-3 mostra os limites para estes parâmetros geométricos extraídos das análises realizadas no Capítulo 4.

Tabela 5-3 Restrições geométricas

	Propulsão Convencional		Propulsão Azimutal		Combate Incendios (FIFI)	
Restrição	Mín	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
L/B	2.4	4,0	2.2	3,5	2.2	3,5
B/D	1,6	2,6	1,6	2,6	1,6	2,6
B/T	2	3,5	2	3,5	2	4,2
D/T	1.1	1.6	1.25	1.6	1.25	1.6
Borda Livre (BL)	0.5	1.6	0.5	1.6	0.5	1.6

Além destes parâmetros geométricos as embarcações também são caracterizadas pelo seu coeficiente de bloco (CB), definido pela seguinte equação:

$$Cb = \frac{\nabla}{L*B*T} \quad (5.1)$$

onde ∇ representa o volume deslocado pela embarcação em metros cúbicos.

O coeficiente de bloco é um parâmetro geométrico fundamental que caracteriza a forma do casco submerso das embarcações.

Como nas bases de dados estudadas não existem informações sobre os valores típicos deste coeficiente para os rebocadores, decidiu-se empregar no modelo de síntese, para os três tipos de rebocadores, os valores limites propostos por Arnaldos (1994) e reproduzidos na Tabela 5.4:

Tabela 5-4 Limites da restrição sobre o Coeficiente de bloco

	Propulsão Convencional		Propulsão Azimutal		Combate Incêndios (FIFI)	
Restrição	Mín	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
CB	0.45	0.55	0.45	0.55	0.45	0.55

Para o cálculo do coeficiente de bloco necessita-se, além dos três valores das variáveis L, B e T, o valor do volume deslocado pela embarcação. Este volume pode ser calculado através da seguinte equação:

$$\nabla = \frac{\Delta}{\rho * g} \quad (5.2)$$

onde:

ρ (kg/m³) = Densidade do fluido

g (m/s²) = aceleração da gravidade

Δ (N) = Deslocamento da embarcação

Não existe também nas bases de dados informações sobre o deslocamento dos rebocadores. Para estimativa deste valor empregou-se também no modelo de síntese as equações empíricas propostas por Arnaldos (1994) para estimativa do peso total de rebocadores.

O peso total, ou deslocamento dos rebocadores é expresso através da seguinte equação:

$$\Delta = M_{ST} + M_M + M_{A+E} + DWT \quad (5.3)$$

onde:

DWT = Porte bruto (*Deadweight*)

M_{ST} = Peso do aço

M_{SE} = Peso da superestrutura e acabamento

M_M = Peso de máquinas e equipamentos

Para o cálculo do porte bruto Arnaldos (1994) propõe o gráfico da Figura 5-1 que relaciona este peso com o produto $L*B$.

Figura 5-1 Relação Porte bruto com $L*B$ (Fonte: Adaptado de Arnaldos, 1994)

Para representar esse gráfico realizou-se uma regressão polinomial que resultou na seguinte equação para o porte bruto:

$$DWT(ton) = 0,0012 * (L * B)^2 + 0,2902 * (L * B) + 3,5 \quad (5.4)$$

Para o cálculo de peso do aço Arnaldos (1994) propõe a seguinte equação:

$$M_{ST} = \alpha * L * B * D \quad (5.5)$$

onde α é uma constante com valor médio de 0,145 para rebocadores portuários.

Para o peso da superestrutura e acabamento Arnaldos (1994) propõe a seguinte equação empírica para rebocadores portuários:

$$M_{SE} = \beta * L * B * H \quad (5.6)$$

onde β é uma constante cujo valor médio é aproximadamente 0,06.

Arnaldos (1994) em seu trabalho indica que o peso total de máquinas e equipamentos (M_M) de um rebocador portuário é aproximadamente igual a três vezes o peso de um dos motores principais, ou seja:

$$M_M = 3 * P_m \quad (5.7)$$

onde P_m é o peso de cada motor principal da instalação.

O peso dos motores principais, por sua vez, está diretamente relacionado com sua potência e o *bollard pull* que proporcionam.

As bases de dados estudadas não indicam diretamente valores para o peso dos motores principais dos rebocadores, mas indicam sua potência e, em vários casos, o fabricante destes motores. Na Tabela A.1.1 do apêndice pode-se verificar que, quando há indicação do fabricante do motor, a maior parte é de motores fabricados pela empresa Caterpillar.

Nos catálogos de motores fabricados por esta empresa, estão indicados o peso dos principais motores utilizados em rebocadores portuários. Com base nesses catálogos elaborou-se a Figura 5.8 que mostra o peso destes motores em função da potência total instalada e do *bollard pull* fornecido pela instalação propulsora.

Figura 5-2 Quadro representativo do peso dos motores em função da Potência e Bollard Pull segundo (CATERPILLAR, 2014), (Fonte: Elaborado pela autora)

Deste gráfico estabeleceu-se as seguintes relações empíricas para estimativa do peso dos motores principais:

Se $Pot \leq 3600$ KW e $BP \leq 45$ ton $\rightarrow P_m = 6532$ kg;

Se $Pot > 3600$ KW e $BP > 45$ ton $\rightarrow P_m = 7961$ kg

Para concluir a estimativa do peso das máquinas e equipamentos resta estabelecer o valor do *bollard pull*. No Capítulo 4 desenvolveu-se, a partir das informações das bases de dados sintetizadas na Tabela A.1.1, equações de regressão relacionando o *bollard pull* com a potência total instalada, para os dois tipos de instalação propulsora consideradas no modelo de síntese. As comparações dessas equações de regressão com aquelas propostas por outros autores, mostrou a boa aderência entre elas. Sendo assim, adotou-se no modelo de síntese, as equações de regressão 4.4 e 4.8 para a estimativa do *bollard pull* dos rebocadores.

(II) Restrições geometrias adicionais

A análise dos domínios de variação dos parâmetros geométricos e dos de alguns atributos de desempenho, com base nos gráficos apresentados no Capítulo 4, mostram que estes domínios estão limitados também por equações relacionando os parâmetros e os atributos entre si. Estes limites estão representados pelas linhas tracejadas presentes nas Figuras 4-3; 4-5; 4-7; 4-9 e 4-17. .

Estas equações estão apresentadas na Tabela 5-5 para os três tipos de rebocador considerados.

Tabela 5-5 Restrições geométricas adicionais

Propulsão Convencional	Propulsão Azimutal	Combate a incêndio
$B_L^{sup} = 0,2285 * L + 4$	$B_L^{sup} = 0,346 * L + 3$	$B_L^{sup} = 0,346 * L + 2,8$
$B_L^{inf} = 0,2285 * L + 1,2$	$B_L^{inf} = 0,346 * L + 2$	$B_L^{inf} = 0,346 * L - 2$
$D_B^{sup} = 0,4251 * B + 1,4$	$D_B^{sup} = 0,4834 * B + 1,2$	$D_B^{sup} = 0,4701 * B + 1,2$
$D_B^{inf} = 0,4251 * -0,2$	$D_B^{inf} = 0,4834 * B - 1,2$	$D_B^{inf} = 0,4701 * B - 1,2$
$T_B^{sup} = 0,3436 * B + 1,3$	$T_B^{sup} = 0,3777 * B + 0,8$	$T_B^{sup} = 0,3779 * B + 1$
$T_B^{inf} = 0,3436 * B - 0,3$	$T_B^{inf} = 0,3777 * B - 0,8$	$T_B^{inf} = 0,3779 * B - 1,5$
$T_D^{sup} = 0,8889 * D + 0,2$	$T_D^{sup} = 0,6474 * D + 1,3$	$T_D^{sup} = 1,104 * D - 0,5$
$T_D^{inf} = 0,8889 * D - 0,8$	$T_D^{inf} = 0,6474 * D - 0,2$	$inf = 1,104 * D - 2,5$
$Pot_{N3}^{sup} = 199,42 * \frac{N3}{100} + 1200$	$Pot_{N3}^{sup} = 106,29 * \frac{N3}{100} + 3000$	$Pot_{N3}^{sup} = 70,916 * \frac{N3}{100} + 3200$
$Pot_{N3}^{sup} = 199,42 * \frac{N3}{100} - 700$	$Pot_{N3}^{inf} = 106,29 * \frac{N3}{100} + 500$	$Pot_{N3}^{sup} = 70,916 * \frac{N3}{100} + 1100$

(III) Restrições de desempenho

As restrições de desempenho são aquelas impostas sobre características e atributos de desempenho da embarcação. Na etapa de concepção do projeto de embarcações a principal restrição de desempenho diz respeito a estabilidade inicial

das embarcações. No caso de rebocadores uma restrição adicional é normalmente acrescentada e diz respeito ao valor máximo possível do diâmetro dos propulsores.

Nas etapas iniciais de projeto a estabilidade inicial é avaliada com base no valor da altura metacêntrica, que é dada pela seguinte equação:

$$GM(m) = KB(m) + BM(m) - KG(m) \quad (5.8)$$

onde

GM = altura metacêntrica

KB = coordenada vertical do centro de carena a partir da linha de base do casco da embarcação

BM = raio metacêntrico

KG = coordenada vertical do centro de gravidade a partir da linha de base

Segundo as normas da *International Maritime Organization* (IMO A-167) o valor inicial do GM de um rebocador portuário deve respeitar a seguinte inequação:

$$GM \geq 0,6 \quad (5.9)$$

Para avaliação do GM as seguintes equações empíricas foram empregadas no modelo de síntese:

$$KB = 0,52 D \quad (\text{MUNRO SMITH, 1973}) \quad (5.10)$$

$$BM = 0,105 \frac{B^2}{T} \quad (\text{ARNALDOS, 1994}) \quad (5.11)$$

$$KG = 0,8 * D \quad (\text{ARNALDOS, 1994}) \quad (5.12)$$

Com relação ao diâmetro do propulsor verificou-se nas análises realizadas no Capítulo 4 que nos rebocadores portuários a relação entre o calado e o diâmetro (T/D_p) se situa normalmente entre 1,5 e 2,2. Esta restrição está representada na Tabela 5-6.

Tabela 5-6 Limites da restrição sobre a razão T/Dp

	Propulsão Convencional		Propulsão Azimutal		Combate Incendios (FIFI)	
Restrição	Mín	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
T/Dp	1,5	2,2	1,5	2,2	1,5	2,2

Para verificar se esta relação está sendo satisfeita é necessário estimar o diâmetro dos propulsores dos rebocadores. Para esta estimativa empregou-se correlações propostas pela Caterpillar (2012) que relacionam o diâmetro do propulsor com a potência dos motores e o *bollard pull*. A Tabela 5-7 reproduz estas correlações.

Tabela 5-7 Relações entre diâmetro, potencia e *bollard pull* (Reprodução Caterpillar, 2012)

BP (tn)	Quant. Motor	Tipo de motor	Potencia (Kw)	Diametro propulsor (m)
40	2	3512	2460	2.0
45	2	3512	3000	2.0
50	2	3512	3000	2.4
55	2	3512	3530	2.4
60	2	3512	3804	2.4
60	2	3516	3840	2.4
65	2	3516	4000	2.7
70	2	3516	4480	2.7
75	2	3516	4700	3.0
80	2	3516	5050	3.0

Nesta tabela os dois tipos de motores indicados representam os motores cujos pesos são aqueles mostrados a Figura 5-2.

Com base nos dados desta tabela construiu-se o gráfico mostrado na Figura 5-3 que relaciona o diâmetro do propulsor com o *bollard pull* para os dois tipos de motor.

Figura 5-3 Diâmetro do propulsor em função do *Bollard Pull* (Fonte: Elaborado pela autora)

A partir dos pontos representando os dois tipos de motor (e por tanto os dois valores de peso indicados na Figura 5.2) realizou-se uma regressão linear para relacionar o diâmetro com o *bollard pull*. Estas equações, que serão empregadas para os três tipos de rebocador, são as seguintes:

- Para motor Caterpillar tipo 3512

$$Dp(m) = \frac{BP(ton) + 20}{31.25} \quad (5.13)$$

- Para motor Caterpillar tipo 3516

$$Dp(m) = \frac{BP(ton) + 12.143}{29.762} \quad (5.14)$$

5.3 Funções objetivo

Com forme discutido no início deste capítulo os objetivos de projeto serão considerados no modelo de síntese e otimização são os seguintes: maximizar o *bollard pull* e minimizar o número cúbico dos rebocadores.

As seguintes funções objetivo são empregadas no modelo de síntese para representar o *bollard pull*:

Bollard pull para rebocadores com propulsão convencional

$$BP(ton) = 0,0171 * Pot(KW) + 2,2928 \quad (5.15)$$

Bollard pull para rebocadores com propulsão azimutal

$$BP(ton) = 0,0144 * Pot(KW) + 6,5662 \quad (5.16)$$

A função objetivo que representa o número cúbico no modelo de síntese é a seguinte:

$$N3 = L * B * D \quad (5.17)$$

5.3 Estrutura do modelo de síntese

A Figura 5-4 representa na forma de diagrama de blocos a estrutura do modelo de síntese e otimização para projeto de concepção de rebocadores portuários.

O fluxograma desta Figura mostra que inicialmente devem ser atribuídos valores para as variáveis de projeto, para o cálculo posterior das funções de restrição e das funções objetivo. Aqueles vetores de variáveis de projeto que representam soluções que respeitam as restrições, ou seja, as soluções viáveis são então separadas para posterior comparação das funções objetivo com as demais soluções viáveis geradas no processo de otimização. Aquelas soluções não dominadas formarão então a fronteira de Pareto do problema de projeto.

Conhecida a fronteira de Pareto do problema deve se estabelecer então um critério de decisão *a posteriori* para a seleção da solução que representa a solução de concepção do problema de projeto.

No próximo capítulo apresenta-se um exemplo de aplicação deste modelo de síntese e otimização para projeto de rebocadores portuários.

Figura 5-4 Fluxograma dos principais atributos calculados na avaliação da solução de projeto para o rebocador portuário.

6. EXEMPLO DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE CONCEPÇÃO DE REBOCADORES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se um exemplo de aplicação do modelo de síntese e otimização proposto no Capítulo 5, para o projeto de concepção de rebocadores portuários.

Para isto o modelo de síntese foi preparado e programado segundo a estrutura de organização do *software ModeFrontier* (4.4.2). Este *software* contém internamente um conjunto de algoritmos de otimização para aplicação aos mais diversos tipos de problema de engenharia. Foram definidas no *software* as variáveis de projeto, as funções de restrição, as funções objetivo e os limites estabelecidos para as restrições explícitas e funcionais.

Para a realização da otimização dos rebocadores, empregou-se o algoritmo genético NSGA-II disponível no *software*, conforme já discutido no Capítulo 2.

Nos itens a seguir apresenta-se: a configuração típica do algoritmo empregada no processo de otimização: os resultados da otimização para os três diferentes tipos de rebocador e a análise e comparação desses resultados com as características dos rebocadores das bases de dados consultadas.

6.1 Configuração do algoritmo NSGA-II

A qualidade dos resultados da aplicação dos algoritmos genéticos é influenciada por alguns parâmetros de configuração desse tipo de algoritmo. Dois dos parâmetros mais importantes dessa configuração são: a população inicial de indivíduos (alternativas de solução) e o número de gerações para evolução desta população segundo os objetivos.

Para aplicação do modelo de síntese e otimização proposto realizou-se alguns testes combinando diferentes valores para esta população e o número de gerações para se tentar identificar o par de valores que propiciava um balanço adequado entre tempo de processamento, número de soluções viáveis, número de soluções da fronteira de Pareto e a convergência dessas soluções.

Os valores que se mostraram mais adequados para a aplicação do modelo de síntese são os seguintes:

- População inicial = 300 indivíduos
- Número de gerações = 100.

Para a otimização de rebocadores com propulsão convencional a população total gerada foi então de 30.000 indivíduos. Após o processo de otimização obteve-se um total de 9053 soluções viáveis das quais 629 pertencem a fronteira de Pareto do problema.

Para a otimização de rebocadores com propulsão azimutal a população total gerada foi também de 30.000 indivíduos. Após o processo de otimização obteve-se um total de 9495 soluções viáveis das quais 581 pertencem a fronteira de Pareto do problema.

Para a otimização de rebocadores com propulsão azimutal e função de combate a incêndio, a população total gerada foi de 30.000 indivíduos. Após o processo de otimização obteve-se um total de 9294 soluções viáveis das quais 775 pertencem a fronteira de Pareto do problema.

6.2 Resultados da otimização de rebocadores com propulsão convencional

A Figura 6-1 mostra um gráfico identificando o espaço das funções objetivo representando as soluções viáveis obtidas através do processo de otimização. No gráfico está destacado também o conjunto de valores dos objetivos referentes as soluções pertencentes a fronteira de Pareto do problema. Pode-se observar que a posição e a geometria dessa fronteira correspondem a um problema bi-objetivo no qual deseja-se maximizar uma das funções objetivo (BP) e minimizar a outra função (N3).

Figura 6-1 Domínio viável das funções objetivo e a fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão convencional (Fonte: Elaborado pela autora)

A Figura 6-2 mostra a fronteira de Pareto resultante do processo de otimização aplicado sobre o modelo de síntese de rebocadores com propulsão convencional. Os pontos da fronteira representam as soluções não dominadas, ou seja, as soluções para as quais não é possível melhorar o desempenho segundo um dos atributos sem que se piore o desempenho do outro atributo. No Apêndice 2 encontra-se a Tabela A.2.1 com os valores das variáveis e de alguns atributos destas soluções para os rebocadores com propulsão convencional.

No gráfico encontram-se também os valores de *bollard pull* e de número cúbico dos rebocadores convencionais presentes na Tabela A.1.1. Pode-se observar que os rebocadores da fronteira de Pareto representam soluções que dominam os rebocadores das bases de dados, embora se observe que alguns destes encontram-se também sobre a fronteira. Para os rebocadores da fronteira, os valores de bollard pull variam de 45 a 80 toneladas enquanto o número cúbico varia de 700 m^3 a 1700 m^3 .

É interessante observar também que há rebocadores que possuem o mesmo valor de bollard pull portes distintos. Isto pode ser visto, por exemplo, para rebocadores com bollard pull igual a 60 toneladas. Verifica-se no gráfico que há rebocadores com este bollard pull com número cúbico variando de aproximadamente 1100 m^3 até 2000 m^3 . Este resultado confirma as discussões apresentadas nos

Capítulos 1 e 2, nas quais diversos autores indicam que instalações propulsoras iguais são empregadas em rebocadores de variados portes. Isso se deve provavelmente ao uso pelos estaleiros de projetos padrão de cascos de rebocadores, mesmo que a demanda e projeto não requeira embarcações de grande porte.

Figura 6-2 Fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão convencional (Fonte: elaborado pela autora)

As soluções sobre a fronteira de Pareto não podem ser melhoradas, pois possuem valores das variáveis de projeto que ou atingiram os limites das restrições explícitas sobre elas ou que, quando substituídas nas funções de restrição funcionais, resultam em valores dessas funções também iguais aos limites impostos sobre elas. Quando isto ocorre diz-se que as restrições com valores iguais aos limites são as restrições ativas do problema de projeto.

No caso dos rebocadores com propulsão convencional as principais restrições ativas para as soluções da fronteira de Pareto são as seguintes:

- Razão $N3/Pot$ (número cúbico/potencia): o limite inferior é atingido para soluções de menor *bollard pull*;
- CB: na região intermediária da fronteira as soluções possuem coeficiente de bloco próximo ao limite inferior deste atributo;

- Razão T/D_p (calado/diâmetro do propulsor): o limite superior da restrição é atingido para soluções com menor valor de *bollard pull*;
- Domínio dos pares de valor N_3 e Pot : os limites superiores deste domínio são atingidos pelas soluções de maior *bollard pull*;
- Domínio dos pares de valor D e B (pontal e boca): os limites inferiores deste domínio são atingidos pelas soluções de maior *bollard pull*;
- Domínio dos pares de valor D e T (pontal e calado): os limites inferiores deste domínio são atingidos pelas soluções de maior *bollard pull*;
- Domínio dos pares de valor T e B : os limites inferiores deste domínio são atingidos pelas soluções na região intermediária na fronteira.

O gráfico 6-3 reproduz a fronteira de Pareto e indica sobre ela os valores típicos das variáveis de projeto para soluções que apresentam: menor bollard pull e menor número cúbico; valores intermediários de bollard pull e número cúbico e maiores valores de bollard pull e maior número cúbico. Na mesma figura estão indicados o desempenho e as características de três rebocadores da base de dados, que estão sobre ou próximos à fronteira de Pareto.

Para as três soluções da fronteira de Pareto geradas pelo processo de otimização observa-se o crescimento contínuo das variáveis de projeto a medida que se percorre a fronteira desde as soluções de menor bollard pull e menor número cúbico até as de maior valor destes objetivos. Comparando os valores das variáveis destas três soluções com os valores das características dos três rebocadores da base de dados, verifica-se que essa tendência de crescimento acompanha o que se observa nos rebocadores existentes, embora o rebocador da base de dados situado próximo do centro da fronteira de Pareto apresente um calado maior do que o do rebocador situado mais próximo da extremidade superior desta fronteira.

De modo geral observa-se que os valores das características dos rebocadores tanto da base de dados como das soluções do modelo de síntese são bastante próximos, indicando que o modelo de síntese está gerando soluções com características que representam adequadamente rebocadores reais.

Figura 6-3 Comparação de soluções da fronteira com rebocadores da base com propulsão convencional

6.3 Resultados da otimização de rebocadores com propulsão azimuthal

A Figura 6-4 mostra um gráfico no qual se identifica também o espaço das funções objetivo representando as soluções viáveis obtidas através do processo de otimização. No gráfico destaca-se o conjunto de valores dos objetivos referentes as soluções pertencentes a fronteira de Pareto do problema, obtidos após o processo de otimização.

Figura 6-4 Domínio viável das funções objetivo e a fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão azimuthal (Fonte: Elaborado pela autora)

Pode-se observar na Figura 6-5 a fronteira de Pareto resultante do processo de otimização aplicado sobre o modelo de síntese de rebocadores portuários com propulsão azimuthal. No Apêndice 2 encontra-se a Tabela A.2.2 com os valores das variáveis e de alguns atributos destas soluções para os rebocadores com propulsão azimuthal.

Na Figura 6-5 encontram-se também os pontos referentes aos valores do bollard pull e do número cúbico dos rebocadores com propulsão azimuthal da Tabela A.1.1. É possível observar que alguns destes rebocadores da base de dados possuem pares de valor BP e N3 similares aos da fronteira calculada. Da mesma forma verifica-se que os rebocadores das soluções da fronteira dominam a maior parte dos rebocadores da base de dados. Para os rebocadores da fronteira, os valores de bollard pull variam de 48 a 72 toneladas enquanto o número cúbico varia de 880 m³ a 1740 m³.

Figura 6-5 Fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão azimuthal (Fonte: Elaborado pela autora)

É interessante observar que rebocadores com propulsão azimuthal atingem valores máximos de bollard pull menores que os rebocadores com propulsão convencional. Isto reflete o que as diferentes equações de regressão para estimativa de bollard pull fornecem para a mesma potencia, conforme a análise feita no Capítulo 4.

No caso da fronteira de Pareto dos rebocadores com propulsão azimuthal as principais restrições ativas são as seguintes:

- Razão $N3/Pot$: todas as soluções da fronteira apresentam esta razão próxima ao limite inferior da mesma.
- CB: os valores de CB para soluções da fronteira encontraram-se muito próximos dos limites inferior deste atributo.
- Razão T/Dp : o limite superior da restrição é atingido para soluções com menor valor de *bollard pull*;
- Borda Livre: na região intermediária da fronteira as soluções possuem borda livre próxima ao limite superior;
- Domínio dos pares de valor $N3$ e Pot : os limites superiores deste domínio são atingidos pelas soluções de maior *bollard pull*.

- Domínio dos pares de valor T e B: os limites inferiores deste domínio são atingidos pelas soluções de menor *bollard pull*;

A ativação do limite inferior do domínio dos pares de valor N3 e Pot inicia-se aproximadamente para valores de N3 próximos de 1200 m³. Isto pode ser observado na fronteira de Pareto na região em que há uma mudança brusca de direção desta curva a medida que se aumenta os valores do número cúbico das soluções. Portanto, a ativação desta restrição tem um impacto importante na fronteira de Pareto das soluções dos rebocadores com propulsão azimutal.

O gráfico 6-6 reproduz a fronteira de Pareto e indica sobre ela os valores típicos das variáveis de projeto para soluções que apresentam: menor bollard pull e menor número cúbico; valores intermediários de bollard pull e número cúbico e maiores valores de bollard pull e maior número cúbico. Na mesma figura estão indicados o desempenho e as características de três rebocadores da base de dados, que estão sobre ou próximos à fronteira de Pareto.

Observa-se que da mesma forma que para as soluções dos rebocadores portuários com propulsão convencional para as três soluções da fronteira de Pareto geradas pelo processo de otimização para rebocadores portuários com propulsão azimutal se mantém o crescimento contínuo das variáveis de projeto à medida que se percorre a fronteira desde as soluções de menor bollard pull e menor número cúbico até as de maior valor destes objetivos. Analisando os valores das variáveis destas três soluções com os valores das características dos três rebocadores da base de dados, verifica-se que essa tendência de crescimento acompanha o que se observa nos rebocadores existentes.

De modo geral observa-se que os valores das características dos rebocadores tanto da base de dados como das soluções do modelo de síntese são bastante próximos, indicando que o modelo de síntese está gerando soluções com características que representam adequadamente rebocadores reais.

Figura 6-6 Comparação de soluções da fronteira com rebocadores da base de dados com propulsão azimutal (Fonte: Elaborado pela autora)

6.4 Resultados da otimização de rebocadores com propulsão azimutal e função combate a incêndio

Na Figura 6-7 está identificado o espaço das funções objetivo representando as soluções viáveis obtidas através do processo de otimização. No gráfico destaca-se também o conjunto de valores dos objetivos referentes as soluções pertencentes a fronteira de Pareto do problema de otimização de rebocadores com função de combate a incêndio.

Figura 6-7 Domínio viável das funções objetivo e a fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão azimuthal e função de combate a incêndio (Fonte: Elaborado pela autora)

Pode-se observar na Figura 6-8 a fronteira de Pareto resultante do processo de otimização aplicado sobre o modelo de síntese de rebocadores portuários com propulsão azimuthal e função adicional de combate a incêndio. No Apêndice 2 encontra-se a Tabela A.2.3 com os valores das variáveis e de alguns atributos destas soluções para estes rebocadores.

A Figura 6-8 mostra também os pontos referentes aos valores do bollard pull e do número cúbico dos rebocadores de combate a incêndio da Tabela A.1.1. É possível observar que alguns destes rebocadores da base de dados possuem pares de valor BP e N3 próximos aos da fronteira calculada. Da mesma forma verifica-se que os rebocadores das soluções da fronteira dominam totalmente os rebocadores da base de dados. Para os rebocadores da fronteira, os valores de bollard pull variam de 43 a 72 toneladas enquanto o número cúbico varia de 900 m^3 a 1900 m^3 .

Figura 6-8 Fronteira de Pareto para rebocadores com propulsão azimutal e função combate incêndio (Fonte: elaborado pela autora)

No caso da fronteira de Pareto dos rebocadores com propulsão azimutal e função de combate a incêndio as principais restrições ativas são as seguintes:

- Razão N3/Pot: todas as soluções da fronteira apresentam esta razão próxima ao limite inferior da mesma.
- CB: os valores de CB para soluções da fronteira encontraram-se muito próximos dos limites inferior deste atributo.
- Razão T/Dp: o limite superior da restrição é atingido para soluções com menor valor de *bollard pull*;
- Borda Livre: na região intermediária da fronteira as soluções possuem borda livre próxima ao limite superior;
- Domínio dos pares de valor N3 e Pot: os limites superiores deste domínio são atingidos pelas soluções de maior *bollard pull*.

Com forme discutido na análise de soluções dos rebocadores com propulsão azimutal para rebocadores com função adicional de combate a incendio também existe a ativação do limite inferior do domínio dos pares de valor N3 e Pot que se inicia aproximadamente para valores de N3 próximos de 1460 m³. Isto pode ser observado na fronteira de Pareto na região em que há uma mudança brusca de

direção desta curva a medida que se aumenta os valores do número cúbico das soluções. Por tanto, a ativação desta restrição tem um impacto importante na fronteira de Pareto das soluções dos rebocadores com propulsão azimutal.

O gráfico 6-9 reproduz a fronteira de Pareto e indica sobre ela os valores típicos das variáveis de projeto para soluções que apresentam: menor bollard pull e menor número cúbico; valores intermediários de bollard pull e número cúbico e maiores valores de bollard pull e maior número cúbico. Na mesma figura estão indicados o desempenho e as características de dois rebocadores da base de dados, que estão próximos à fronteira de Pareto. As três soluções da fronteira geradas mostram o crescimento contínuo das variáveis de projeto no percorrer da fronteira desde as soluções de menor bollard pull e menor número cúbico até as de maior valor destes objetivos.

Comparando os valores das variáveis destas três soluções com os valores das características dos dois rebocadores da base de dados, os quais se encontram na região central e superior da fronteira, verifica-se o acompanhamento da tendência de crescimento nos rebocadores existentes.

De modo geral observa-se que os valores das características dos rebocadores tanto da base de dados como das soluções do modelo de síntese são bastante próximos, indicando que o modelo de síntese está gerando soluções com características que representam adequadamente rebocadores reais.

Figura 6-9 Comparação de soluções da fronteira com rebocadores da base de dados com propulsão azimutal e função combate incêndio (Fonte: Elaborado pela autora)

6.5 Comparação entre as fronteiras de Pareto

A Figura 6-10 mostra as três fronteiras de Pareto resultantes do processo de otimização realizado sobre o modelo de síntese para os três tipos de rebocador. Pode-se observar nesta tabela que a fronteira com rebocadores de maior capacidade de reboque é aquela referente aos rebocadores com propulsão convencional. Isto indica que embora a propulsão azimutal proporcione maior capacidade de manobra aos rebocadores ela implica numa pequena redução da capacidade de *bollard pull*.

Além disso, o acréscimo de funções aos rebocadores também implica numa redução da capacidade de reboque.

Essas características mostram que a seleção de rebocadores portuários passa necessariamente por um processo de *trade off* (balanceamento) entre seus atributos, que, como comenta Hensen [2003?], deve ser realizado levando-se em consideração as características do porto onde cada rebocador irá operar

Figura 6-10 Fronteiras de Pareto para os tipos de rebocadores analisado (Fonte: Elaborado pela autora)

7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O principal objetivo estabelecido para este trabalho é o desenvolvimento de um modelo de síntese e otimização multi-objetivo para o projeto de rebocadores portuários. O modelo deveria ser apropriado para aplicação na etapa de concepção do projeto, na qual deve se dispor de ferramentas que permitam aos projetistas explorar o máximo possível o espaço das potenciais soluções de projeto, na busca por aquelas que melhor atendam os critérios de mérito estabelecido.

Como objetivos secundários foram propostos os seguintes estudos e desenvolvimentos: descrição detalhada sobre os rebocadores, seus tipos e funções e suas principais características geométricas, de arranjo e de desempenho; levantamento de dados e estudo empírico sobre as correlações entre as características e atributos de rebocadores portuários; determinação de um conjunto de equações de regressão empíricas e semi-empíricas, desenvolvidas com base nos dados ou obtidas em trabalhos de outros autores, úteis para emprego na etapa de concepção do projeto de rebocadores.

A descrição detalhada sobre os rebocadores, envolvendo suas principais características e desempenho, está apresentada no Capítulo 3. Neste capítulo pode-se identificar a existência de diferentes tipos de rebocadores realizando operações de assistência à navegação nos portos. As informações obtidas de outros autores mostrou que a maior parte dos rebocadores possui dois propulsores, sendo que a maioria dos rebocadores atuais vem sendo projetados e construídos para utilizar instalações propulsoras com hélices azimutais.

As análises destas informações indicou também que a maioria dos rebocadores empregados atualmente pertence a três categorias principais: rebocadores com propulsão convencional (hélice + tubulão); rebocadores com propulsão azimutal; e rebocadores com propulsão azimutal com função adicional de combate a incêndio. Com base nessa análise definiu-se que o modelo de síntese e otimização seria subdividido em três, considerando as particularidades de cada uma

dessas categorias. Esta subdivisão mostrou-se essencial como pode se observar na análise dos resultados apresentados no Capítulo 6.

O levantamento de dados e os estudos empíricos sobre as correlações entre as características e atributos de rebocadores portuários foram realizados e estão apresentados no Capítulo 4. Os dados para estes estudos foram obtidos de duas bases de dados contendo informações ao respeito de rebocadores já construídos. Outras informações também foram levantadas em trabalhos disponíveis na literatura, realizados por diversos autores que atuam em pesquisas a respeito de rebocadores.

Os diferentes dados sobre características geométricas e atributos de desempenho dos rebocadores foram organizados em diversos gráficos que permitiram, por inspeção, identificar correlações entre os diversos parâmetros geométricos e destes com os principais atributos de desempenho dos rebocadores. Com base em análises de regressão aplicadas sobre este conjunto de informações determinou-se diversas equações empíricas que podem auxiliar o processo de projeto, principalmente em suas etapas iniciais. Essas mesmas equações foram posteriormente empregadas na elaboração do modelo de síntese e otimização como pode ser visto no Capítulo 5.

No Capítulo 5 estão apresentadas a estrutura do modelo de síntese, o conjunto de variáveis de projeto estabelecido para a etapa de concepção, as equações representando tanto as restrições explícitas como funcionais e as equações representando as funções objetivo estabelecidas para formalização do modelo de síntese e otimização para projeto de rebocadores portuários.

Conforme discutido nos Capítulos 4 e 5, os principais atributos de desempenho considerados nas etapas iniciais do projeto dos rebocadores são a capacidade de reboque e o porte da embarcação. No modelo de síntese estes atributos estão representados pelas funções objetivo que permitem o cálculo do bollard pull e o cálculo do número cúbico, parâmetro este escolhido para representar o porte dos rebocadores.

Tendo em vista os objetivos de maximizar tanto a capacidade de reboque (BP) como a capacidade de manobra dos rebocadores portuários, para com isso aumentar a eficácia e eficiência dos serviços de assistência portuária, no modelo de síntese estabeleceu-se como objetivos de projeto a maximização de bollard pull e a minimização do número cúbico.

O modelo de síntese foi desenvolvido em três versões cada uma apropriada para representar o problema de projeto dos três tipos mais relevantes de rebocadores: rebocador com propulsão convencional, rebocador com propulsão azimutal e rebocadores com função adicional de combate a incêndio. Os três modelos foram então programados no software Modefrontier (4.4.2), com a estrutura adequada para serem otimizados empregando-se o algoritmo genético NSGA-II.

Os resultados destes processos de otimização estão apresentados no Capítulo 6. Como pode-se observar neste capítulo os modelos foram capazes de gerar um amplo conjunto de soluções viáveis para os três tipos de rebocador. Nestes conjuntos foi possível identificar claramente as fronteiras de Pareto contendo as soluções não dominadas para cada problema de projeto.

A comparação das soluções da fronteira de Pareto com os atributos dos rebocadores extraídos das bases de dados mostrou que os resultados obtidos possuem características e propriedades com valores normalmente encontrados nos rebocadores portuários, mas, em muitos casos, com desempenho superior aos das bases de dados, mostrando que o processo de otimização empregando o modelo de síntese é capaz de produzir soluções com desempenho igual ou superior aos rebocadores existentes.

A análise dos resultados mostrou também quais eram as principais restrições ativas nas soluções na fronteira de Pareto. Esta identificação é fundamental pois permite o desenvolvimento posterior de análises de sensibilidade envolvendo o relaxamento ou a compressão dos limites destas restrições. Tais estudos são fundamentais principalmente quando se procura soluções capazes de incorporar inovações tecnológicas na embarcação em projeto.

Finalmente os resultados comparando as fronteiras de Pareto obtidas para os três tipos de rebocador mostraram que a decisão de subdividir o modelo de síntese em três categorias resultou num melhor entendimento do comportamento das soluções de projeto para cada um desses tipos.

A fronteira de Pareto apresentada para as três fronteiras expressa graficamente que rebocadores com propulsores mais modernos embora ofereçam maior manobrabilidade não oferecem maior bollard pull quando comparados com rebocadores de propulsão convencional, assim também podemos concluir que rebocadores com funções adicionais tendem a proporcionar menor bollard pull em

relação ao número cúbico devido a precisar de um número cúbico maior para equipamentos adicionais.

Tendo em vista os resultados acima descritos considera-se que os objetivos propostos para este trabalho foram plenamente atendidos.

7.1 Recomendações para desenvolvimentos futuros

Com base nos estudos realizados para o desenvolvimento do modelo de síntese e na análise dos resultados obtidos sugere-se os seguintes tópicos como temas de desenvolvimento de futuros trabalhos voltados para o desenvolvimento de modelo de síntese similares ou aprimoramento do modelo aqui apresentado:

- incorporar ao modelo de síntese equações simplificadas para a avaliação do custo de construção e de operação dos rebocadores;
- aprimorar o modelo simplificado para estimativa do deslocamento destas embarcações, principalmente no tange ao peso das máquinas e equipamentos;
- incorporar ao modelo de síntese melhores funções para estimativa da estabilidade e diâmetro dos propulsores;
- realizar testes de otimização com o modelo empregando outros tipos de algoritmo de otimização, visando a redução do tempo de processamento necessário para obtenção das soluções;
- desenvolver ferramentas capazes de acoplar o modelo de síntese com os processos de detalhamento e avaliação da solução ou soluções selecionadas para prosseguirem na etapa subsequente de projeto preliminar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, Robert. **Tugs and Tugboats** In: Ship design and construction society of naval architects and marine engineers, 2, 2003.

ALLAN, Robert. **Trends in the design of modern tugs for tanker escort and terminal operations** In: BC TOWBOAT INDUSTRY CONFERENCE. 2006 Vancouver. Disponível em: <<http://www.comc.cc/pres/Allan%20Presentation.pdf>> Acesso em 02 nov. 2015>

ALLAN, Robert. HARFORD, Kenneth. **Advances in tug design and operational efficiencies for harbour and offshore applications**. Apresentação no Seminar ASNE. 2009. 75p.

ALLAN, R.G. PAPUC, **A Predicting tug behavior by analysis of rated performance of coastal tugs** In: INTERNATIONAL TUG AND SALVATAGE CONVENTION Vancouver, Canada. 2010. p.1-20.

AGENCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUÁVIARIOS (ANTAQ) **Frota de rebocadores**. Disponível <<http://www.antaq.gov.br/Portal/Frota/ConsultarFrotaGeral.aspx>>

ANDRADE, BERNARDO. **Modelo de síntese e otimização por múltiplos critérios para o projeto preliminar de embarcações**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

ARNALDOS, Manuel. **Dimensionalismo de remolcadores**, *Revista Técnica de la asociación de ingenieros navales*, Espanha n 703, p. 148-163, 1994

ARTYSZUK, Jaroslaw. **Types and power of harbor tugs – the latest trends**. In *Prace naukowe politechniki warszawskiej*. 2013

BARTELS, J.E **Voith Water Tractor**: The hallmark of improved ship safety. Heidenhem, 2011. p 1-8.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO, **Análise e Avaliação da Organização Institucional e da Eficiência de Gestão do Setor Portuario Brasileiro**. v 2., Rio de Janeiro, 2012.

BONDARENKO, Oleksandr. et. al. **Effectiveness harbour tug fleet: Problem formulation and methodology of ITS solution**. In *Jornal Brodogradnja / Shipbuilding* v. 67. 2016. Disponível <www.dx.doi.org/10.21278/brod67203>

BRADY, Edward. *Tugs, Towboats and Towing*. Pensilvania 1967.

BUREAU VERITAS **Safety guidelines for design, construction na operation of tugs**. Francia, 2014.

CALDEIRINHA, Vitor. et. al. **The influence of characterizing factors on port performance, measured by operational, financial and efficiency indicators**. In. *Recent advances in environment, energy systems and naval science*. Grécia, 2011.

CORBETT, James; WINEBRAKE, James. **The impacts of globalization on international maritime transport activity** In. *JournaGlobal Forum on transport and environment in a globalizing world*. Guadalajara. Nov. 2008

DAMEN. **Agdobrago** <<http://www.damen.com/en/news/deliveries/2010/09/stu-2909-agbodrafo>> Acesso em nov. 2012

DAMEN. **Products** <<http://products.damen.com/en/clusters/harbour-tugs>> Acesso em nov. 2012

DEB, Kalyanmoy. et. al. **A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II**. In. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 6. 2002. Disponível em: <www.doi.10.1109/4235.996017>

DE JONG, Gijsbert. **The class answer to rapidly developing tug industry.** In International Tug and Salvage Convention and exhibition. Vancouver. 2010

EVANS, Harvey **Basic Design Concepts** *Journal: Naval engineers* v.71, 1959

FRAGOSO, Otavio; CAJATY, Marcelo. **Rebocadores portuários.** Rio de Janeiro, 2002.

FFS Fifi Systems <<http://www.fifisystems.com/index.php?fificlass>>

GALE, Peter. **The ship design process.** In: Ship design and construction society of naval architects and marine engineers. v.1. 2003.

GALE, Peter **Ship Design**, In. Access Scinence, McGraw-Hill Companies. 2014

GASTON, Jack. **Tug Development** In International Tugmaster Association. Disponível em:<http://www.tugmasters.org/wp-content/uploads/2014/07/BTA_Jack-gaston.pdf> Acesso em 02 feb. 2014

GORSKI, Zygmunt. et.al.. **Method for determination of energy demand for main propulsion and onboard electric power for modern harbour tug boats by means of statistics.** *Jornal KONES Power train and transport* v.19. , 2012.

HENSEN, Henk. **Using experience to assess required tug power.** In. Port Technology International. Ed 27. [2003?]

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. IMO A-167. **Recommendation on intact stability for passenger and cargo ships under 100 meters length.** 1968

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. IMO MSC/Circ. 1101. **Availability of tug assistance.** 2003

KUPRAS. L. **Optimization method and parametric study in precontracted ship design.** In International Shipbuilding Progress. Paises Baixos. 1976

LAMB Thomas. **A ship design procedure**. In. Journal of marine technology SNAME v.6 p. 362-405. 1969

LARRUCEA J.R **Aspectos de la seguridad maritime en buques remolcadores**. 2012.

LYON, T; MISTREE, F. **A computer Based Method for the Preliminary Design of Ships**, Journal of Ship Research v. 29 p 251-269. Dez, 1989

MAN Diesel and Turbo. **Propulsion of offshore support vessels**. Dinamarca 2012.

MODEFRONTIER Windows NT. V. 4.4.2

NAKANISHI, Humberto **Modelo computacional para avaliação do desempenho hidrodinâmico de embarcações de planeio em águas calmas**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015

NOWACKI. H. **Development in marine design methodology roots, results and trends**. In IMDC 2009, 10th International marine design conference. Trondheim. 2009.

OBRAS MARITIMAS TECNOLOGICAS. **Configuración maritime del Puerto: Canal de acceso y area de flotación**. Capitulo 5. 2010

PACIFICBASIN

<<http://www.pacificbasin.com/upload/fleet/towage/pdf/PB%20Karori%20-%20Spec.GA,%2014.9.09.pdf>>

PARSONS, Michael. **Parametric Deseign**. In: Ship design and construction society of naval architects and marine engineers. v.1. 2003.

PARSONS, Michael; SCOTT, R. **Formulation of multicriterion design optimization problems for solution with scalar numerical optimization methods.** Journal of ship research. v.48. mar.2004.

PARSONS, Michael **Applications of Otimization in early stage ship design.** In. Ship science and technology 5. v. 1. Cartagena 2009.

PEREIRA, Michel **Modelo de otimização multiobjectivo aplicado ao projeto de concepção de submarinos convencionais** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

RADISIC, Zoran. **Principal Types and Characters of harbour tugs.** In. Promet – Traffico v.15. 2003. Disponível em <<http://www.fpz.unizg.hr/traffic/index.php/PROMTT/article/viewFile/905/756>>

RAO. Singiresu. **Engineering optimization: Theory and Practice.** New Jersey. 2009.

SARZOSA, D.F Técnica de otimização multiobjetivo aplicada ao projeto preliminar de navios petroleiros – Escola politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, Brasil. 2008. 242p.

SHAHAK, S. **Naval ship concept design an evolutionary approach.** 1998. p. 209. Departament of Ocean Engineering Massachusetts Institute of technology. Mai. 1998.

SCHOTTEL <http://www.schottel.de/uploads/tx_schottel/PDF1170321204.pdf>

TANCREDI, Thiago **Otimização multidisciplinar distribuída aplicada a projetos de engenharia.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

TUGS OF THE WORLD ed. 4 London, 2009.

THOMAS, Mark. **Pareto frontier for full stern submarines via genetic algorithm**. 1998. p.150 Tese. Departament of Ocean Engineering Massachusetts Institute of technology. 1998

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **Reviwe of maritime transport**. 2015

U.S NAVY TOWING MANUAL United states Navy. 2002.

VAN DOKKUM, K. **Ship Knowledge**. Países Baixos, 2003..

VINCE, V. **Maritime transport and port operations**. In. global facilitation partnership for transportation and trade (GPF). 2003. Disponível em <<http://www.gfptt.org/node/67>>

VON WILCO Linden. et. al **Innovation in tug design**. In. International tug and salvatage convention. Vancouver, 2010.

WATSON, D.G.M Practical ship design Vol. 1, 1998. 531p.

WIKIPEDIA <http://pt.wikipedia.org/wiki/rebocador>

XUEBIN. L. **Multiobjective optimization and multiattribute decision making study of ship's principal parameters in conceptual design**. In. Journal of ship research v. 53. Jun, 2009.

YSLA, K et. al. **Projeto Otimizado de um rebocador: avaliação da Fronteira de Pareto conceitual e dos barcos em operação**. 24 Congresso nacional de transporte aquaviário. Rio de Janeir. 2012.

ZAHALKA, P. **Bollard pull** . Association of hanseatic marine underwriters. 2010.

APÊNDICE 1. BASE DE DADOS DE REBOCADORES

Apresenta-se neste apêndice as Tabela A.1.1 contendo os dados sobre rebocadores levantados das referências Tugs of the World (2009) e Damen (2012).

Esta tabela contém dados ao respeito de 280 rebocadores construídos a partir de 1998. Destes foi possível identificar um total de 125 rebocadores que possuem 2 propulsores, sendo que 32 tem propulsão convencional, 93 tem propulsão azimuthal, sendo que destes últimos 25 são rebocadores com função adicional de combate a incêndio.

As informações presentes na tabela são: nome; ano de fabricação; bandeira; comprimento; boca. Pontal; calado. Potência instalada; *Gross tonnage*; *DWT*; tipo do propulsor; fabricante do propulsor; diâmetro do propulsor; tipo de motor e peso do motor. Nem todos os rebocadores listados possuem dados sobre todas essas informações.

Os dados desta tabela são aqueles empregados no Capítulo 4 para o estudo e análise das relações entre as características geométricas e os atributos dos rebocadores portuários.

Tabela A. 1.1 Base de dados de rebocadores portuários

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
TAKAHIWAI	2000	NOVA ZELANDA	22.20	9.20	4.15	3.15	4460	3326	12	338
BARU	2003	AUSTRALIA	23.80	10.67	4.70	4.00	4750	3542	12.7	256
OTAGO	2003	NOVA ZELANDA	23.80	10.67	4.60	3.68	4820	3594	12	167
ADSTEAM HARTY	2006	REINO UNIDO	24.55	10.70	5.15	4.60	5680	4236	11.8	243
BOYKIY	2002	RUSSIA	25.00	9.80	4.70	3.50	3300	2461	12.0	242
BRAVYY	2002	RUSSIA	25.00	9.80	4.70	3.50	3300	2461	12.0	256
NELTUME	2002	CHILE	25	10.2	4.6	4	4600	3430	12	270
MONTACOPA	1998	ESPANHA	25.85	9.70	5.25	3.90	4002	2984	12	269
ALHUSAN	2006	CATAR	25.86	8.94	4.35	3.65	3150	2349	12.1	198
SAWA	1999	ERITREA	25.86	8.94	4.30	3.80	2600	1939	13	198
ARKAD LI	2002	TURQUIA	26.00	10.80	4.19	3.02	3500	2610	13.0	275
S PAULO	2004	BRASIL	26.00	8.90	4.50	3.60	3700	2759	12	2004
ALESSANDRO NERI	2001	ITALIA	27.00	9.10	5.20	3.90	3440	2565	12.0	198
STAR EXPLORER	2005	SINGAPURA	27.40	11.50	5.00	4.30	5102	3805	12	327
KST SKY	2005	SINGAPURA	27.80	9.80	5.35	4.35	3600	2685	12	290
MAJU SOLITAIRE	2006	SINGAPURA	27.90	9.00	4.70	3.80	3598	2683	12	246
NOBLE GUARD	2004	SINGAPURA	27.90	9.00	4.70	3.80	3600	2685	12	246
NOBLE PRINCE	2005	SINGAPURA	27.90	9.00	4.70	3.80	3600	2685	12	246
SCORPIO	2002	SINGAPURA	27.90	9.00	4.70	3.70	3200	2386	12	246
DIAMOND CAY	2005	ST VINCENT	28.00	9.80	4.80	4.00	3598	2683	12	329
LYNNE MORAN	2005	ESTADOS UNIDOS	28.04	9.75	4.91	3.35	5100	3803		259
SUSAN MORAN	2000	USA	28.04	9.75	4.23	3.20	4200	3132	14	232
RT CLAIRE	2005	FRANCIA	28.30	11.70	5.24	3.25	5400	4027	12	456
TARCOOLA	2004	AUSTRALIA	28.50	10.30	5.20	3.30	4000	2983	12	295
HARIS	2005	BRASIL	28.75	10.60	4.60	3.55	3548	2646	12	294
CETUS	2005	BRASIL	28.75	9.80	4.60	3.91	3548	2646	11.8	294
SMIT BALBOA	2005	PANAMA	28.75	9.80	4.60	3.71	4792	3573	13	294
ADSTEAM ELLERBY	1998	REINO UNIDO	29.00	9.00	4.70	3.75	4000	2983	13.1	267

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
TAKAHIWAI		AZIMUTAL			51	CATERPILLAR 3516E	7961
BARU		AZIMUTAL			62	CATERPILLAR 3516	9500
OTAGO		AZIMUTAL			57	DEUTZ TBD620V16	5610
ADSTEAM HARTY		AZIMUTAL			70		1225
BOYKIY	125	AZIMUTAL			35	CATERPILLAR 3512B	6532
BRAVYY	125	AZIMUTAL			35	CATERPILLAR 3512B	6532
NELTUME	211	AZIMUTAL			60	M.a.k 9M20	
MONTSACOPA	328	AZIMUTAL			46	NORMO KRMB	
ALHUSAN	110	AZIMUTAL			36	CATERPILLAR 3512-B	6532
SAWA	361	AZIMUTAL			32	CUMMINS KTA 38M2	4218
ARKAD LI		AZIMUTAL			42	CATERPILLAR 3512-B	6532
S PAULO		AZIMUTAL				CATERPILLAR 3512-B	6532
ALESSANDRO NERI		AZIMUTAL			45	DEUTZ SBV6M628	9500
STAR EXPLORER	107	AZIMUTAL	SCHOTTEL	2400	63	CATERPILLAR 3516B	7961
KST SKY	135	AZIMUTAL			48	NIIGATA 6L22HX	
MAJU SOLITAIRE	90	AZIMUTAL	NIIGATA		45	NIIGATA 6L25HX	
NOBLE GUARD	90	AZIMUTAL		2000	45	NIIGATA 6L22HLX	
NOBLE PRINCE	132	AZIMUTAL	NIIGATA ZP-21 RC		45	NIIGATA 6L25HX	
SCORPIO		AZIMUTAL			40	YANMAR 8N21	10500
DIAMOND CAY	209	AZIMUTAL				NIIGATA 6L25HX	
LYNNE MORAN		AZIMUTAL			70	GEN. MOTORS 12-645	12840
SUSAN MORAN		AZIMUTAL			50	GEN MOTORS EMD 12-645	12840
RT CLAIRE		AZIMUTAL	NIIGATA	2000	68	NIIGATA 6L25HX	
TARCOOLA		AZIMUTAL	AQUAMASTER		50	CATERPILLAR 3516	7961
HARIS		AZIMUTAL				CATERPILLAR 3512B	6464
CETUS		AZIMUTAL			45	CATERPILLAR 3512B	6532
SMIT BALBOA	166	AZIMUTAL				CATERPILLAR 3516 BHD	7961
ADSTEAM ELLERBY	180	AZIMUTAL				NIIGATA 6L25HX	

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
SABINE VI	2005	ST VINCENT	29.00	9.50	4.70	3.50	3600	2685	12	285
CRISTINA ANTONIA	2004	VENEZUELA	29.50	11.00	5.40	4.00	5506	4106	13	369
SAAM IXCATECA	2004	PANAMA	29.50	10.00	4.80	4.19	4786	3569		340
LYNN MARIE	2001	ESTADOS UNIDOS	29.89	12.20	5.02	3.77	6250	4661	11	396
NEON	2003	SINGAPURA	29.95	9.80	4.80	3.80	4460	3326	12	286
APOLO I	2006	ST VINCENT	30.00	9.50	4.70	3.50	4000	2983	12.0	295
FAROUCHE	1999	FRANCA	30.00	10.40	5.10	3.80	3480	2595	12	313
HONCE	2002	ESPANHA	30.00	9.85	5.40	4.20	4000	2983		360
M.T OHAFIA	2003	NIGERIA	30	11	4.7	3.35	3000	2237	12	260
SIGMA	2000	INDIA	30.00	9.80	4.80	3.80	3600	2685	12	299
REBRAS IGUACU	2004	BRASIL	30.25	11.00	5.28	3.75	4425	3300	13	398
SMIT PORT SAID	2005	BAHAMAS	30.25	11.00	5.28	4.55	4826	3599	13	
SVITZER MARKEN	2004	DINAMARCA	30.30	11.50	5.70	4.10	4894	3649	13	395
SVITZER MUIDEN	2004	PAISES BAIXOS	30.30	11.50	5.70	4.10	4894	3649	13	384
JESS NEWTON	2000	ESTADOS UNIDOS	30.50	11.59	5.12	4.54	4300	3207	12	403
PERAPAT SATU	2000	BRUNEI	30.50	9.80	4.38	3.80	2550	1902	12	308
QUETRO	2001	CHILE	30.50	9.80	4.50	3.60	3500	2610	12	316
V.B. CANARIAS	2003	ESPANHA	30.50	10.60	5.80	4.85	5550	4139	13	410
SMIT LOIRE	2000	PAISES BAIXOS	30.60	10.60	5.00	4.25	4908	3660	14	353
BUGSIER 1	2005	ALEMANHA	30.65	11.75	5.15	3.30	5430	4049	13.0	382
SHAMAL	2004	EMIRADOS ARABES UNIDOS	30.66	10.00	5.00	3.85	4350	3244	12	317
HERCULES	1997	BRASIL	30.70	10.60	4.40	3.65	4400	3281	14	311
HERCULES	2000	ST VINCENT	30.70	9.50	5.60	3.80	4000	2983	12	343
CAUCEDO	2004	REP DOMINICANA	30.79	11.14	5.21	4.78	5102	3805	12.0	402
RIGHA 2	2003	ALGERIA	30.82	9.40	4.70	4.08	3058	2280	12	313
SAN VENERIO	2001	ITALIA	30.82	10.20	4.80	3.76	4490	3348	14	300
TASSINA 4	2003	ALGERIA	30.82	9.40	4.70	4.08	3058	2280		313
URAN	1998	ITALIA	30.82	10.2	4.8	3.76	4520	3371	14	313

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
SABINE VI	40	AZIMUTAL	NIIGATA			NIIGATA 6L22HLX	
CRISTINA ANTONIA	170	AZIMUTAL			55	DEUTZ 240X280	
SAAM IXCATECA	203	AZIMUTAL				M.T.U 16V4000M70	5900
LYNN MARIE		AZIMUTAL			76	DETROIT 16V 4000	
NEON	200	AZIMUTAL			60	NIIGATA 6L28HX	
APOLO I		AZIMUTAL	NIIGATA		53	NIIGATA	
FAROUCHE	335	AZIMUTAL			40	A.B.C 6DZC	10620
HONCE		AZIMUTAL			50	CATERPILLAR 3516-B	7961
M.T OHAFIA	345	AZIMUTAL			45	DEUTZ TBD620V12	4190
SIGMA	110	AZIMUTAL			50	YANMAR8N21AL	10500
REBRAS IGUACU	204	AZIMUTAL			53	DEUTZ TBD620	4190
SMIT PORT SAID		AZIMUTAL	ROLLS ROYCE	2400	62	CATERPILLAR 3516	7961
SVITZER MARKEN	226	AZIMUTAL				CATERPILLAR 6M25	21000
SVITZER MUIDEN	175	AZIMUTAL				CATERPILLAR 6M25	21000
JESS NEWTON		AZIMUTAL			47	GEN MOTORS EMD 12-645	12840
PERAPAT SATU		AZIMUTAL			44	CATERPILLAR 3516-TA	7961
QUETRO	189	AZIMUTAL			48	CATERPILLAR 3512-BTA	6532
V.B. CANARIAS	295	AZIMUTAL	SCHOTTEL		65	DEUTZ SBV9M628	13400
SMIT LOIRE	175	AZIMUTAL			65	WARTSILA 6L26	18100
BUGSIER 1	160	AZIMUTAL	ROLLS ROYCE		65	DEUTZ SBV9M628	13400
SHAMAL	134	AZIMUTAL				WARTSILA 9L20	11600
HERCULES	363	AZIMUTAL	SCHOTTEL	2200	59	DEUTZ 8M628	11500
HERCULES	247	AZIMUTAL			50	NIIGATA 6L25HLX	
CAUCEDO	145	AZIMUTAL			80	CATERPILLAR 3516B 4	7961
RIGHA 2		AZIMUTAL			36	M.a.k 6M20	
SAN VENERIO		AZIMUTAL			54	WARTSILA 6L26	18100
TASSINA 4		AZIMUTAL			37	M.a.k 6M20	
URAN		AZIMUTAL			54	CATERPILLAR 3516B	7961

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
APOLLO	2002	ST VINCENT	30.83	10.50	5.10	3.80	4000	2983	12.2	343
A&B 314	2006	ESTADOS UNIDOS	31.00	9.60	4.79	3.90	3580	2670	12.0	290
SHUNDE	2002	CHINA	31.00	9.50	4.70	3.60	4000	2983		295
VAHBIZ	1999	INDIA	31	9.6	4.93	3.03	3580	2670	12	292
ABAI 1	1998	BRAZIL	31.34	9.80	4.50	4.00	4400	3281	12.0	299
BURRA	2000	AUSTRALIA	31.81	11.23	5.55	4.71	4800	3579	12.0	395
BULLARA	2000	AUSTRALIA	31.87	11.12	5.55	4.71	4800	3579	12.0	395
JEDDAH 35	2004	ARABIA SAUDITA	32.46	11.00	5.30	3.40	3263	2433	12	498
BURONDI	2004	ST VINCENT	32.65	10.50	5.40	4.20	4080	3042	12.0	425
MIQA	2000	ISRAEL	32.79	10.50	5.80	4.20	4840	3609	14	478
BUGSIE 2	2005	ALEMANHA	32.80	11.10	4.24	3.43	5506	4106	13.0	400
ABU DHABI 1	2002	SINGAPURA	33.00	9.97	5.19	3.80	4570	3408	14.0	369
AJAY	2000	INDIA	33.00	10.70	5.50	4.00	5000	3729	12.0	446
AL MASHRA	2001	QATAR	33.00	10.70	5.50	4.50	4530	3378	12.0	450
GHASHAM	2001	QATAR	33.00	10.70	5.50	4.50	4530	3378	12	450
SAILAIN	2000	QATAR	33.00	10.70	5.50	4.50	4530	3378	12	450
UNION EMERALD	2004	BELGICA	33.00	11.00	5.60	4.40	5030	3751	13	493
UNION PEARL	2004	BELGICA	33.00	11.00	5.60	4.40	5030	3751	13	497
SARAH 8	2001	KUWAIT	33.48	10.80	5.64	4.40	4842	3611		132
FAIRPLAY 27	2006	ANTIGUA B	37.05	15.00	6.91	5.35	6000	4474	14	731
SHANGHAI HAULI 015	2006	ST VINCENT	40.00	11.40	4.95	4.00	3900	2908	13	499
FREEDOM	2003	ESTADOS UNIDOS	41.61	11.29	6.10	5.70	5600	4176	12	235
UMAR	1999	TURQUIA	21.30	7.80	3.15	2.40	2400	1790	12	168
MODALWAN 9	2000	MALASIA	21.43	6.80	3.50	2.93	2430	1812	10	115
SURYA 555	2002	SINGAPURA	21.85	7.60	3.70	2.97	3150	2349		147
ALSANCAK-2	2005	TURQUIA	22.50	8.20	3.66	2.80	2800	2088	12.0	180
KONKOURE	2000	GUINEA	22.50	7.25	3.74	3.18	2596	1936	12	119
RIO TORIBIO	1999	PAISES BAIXOS	22.50	7.25	3.75	3.13	2400	1790	12	120

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
APOLLO	239	AZIMUTAL			50	NIIGATA 6L26HXL	
A&B 314	134	AZIMUTAL			46	BERGEN KRMB6	12700
SHUNDE	196	AZIMUTAL			52	NIIGATA	
VAHBIZ	148	AZIMUTAL	AQUAMASTER	2150	47	BERGEN KRMB-6	12700
ABAI 1	870	AZIMUTAL	SCHOTTEL	2200	50	CATERPILLAR 3516	7961
BURRA	760	AZIMUTAL			60	DAIHATSU 6DKM-28 4 S.A	18000
BULLARA	760	AZIMUTAL			60	DAIHATSU 6DKM-28 4 S.A	7961
JEDDAH 35	272	AZIMUTAL	ROLLS ROYCE		35	WARTSILLA 6L20C	9300
BURONDI	300	AZIMUTAL	NIIGATA		50	NIIGATA 6L26HLX	
MIQA	170	AZIMUTAL			30	BERGEN KRMB-8	1500
BUGSIER 2		AZIMUTAL			63	DEUTZ SBV9M628	13400
ABU DHABI 1	162	AZIMUTAL			50	WARTSILA	
AJAY		AZIMUTAL	SCHOTTEL		50	CATERPILLAR 3606	15680
AL MASHRA	297	AZIMUTAL	SCHOTTEL		55	WARTSILA 9L20	11600
GHASHAM	297	AZIMUTAL			55	WARTSILA 9L20	11600
SAILAIN	297	AZIMUTAL			55	WARTSILA 9L20	11600
UNION EMERALD	92	AZIMUTAL	SCHOTTEL	2600	65	A.B.C 8DZC	13905
UNION PEARL	92	AZIMUTAL	SCHOTTEL	2600	65	A.B.C 8CZC	13905
SARAH 8		AZIMUTAL				NIIGATA	
FAIRPLAY 27	690	AZIMUTAL	SCHOTTEL	2600	75	DEUTZ SBV9M628	13400
SHANGHAI HAULI 015		AZIMUTAL			50	CATERPILLAR	
FREEDOM		AZIMUTAL		3048	50		
UMAR		FIXO			30	CUMMINS KTA 38M2	4218
MODALWAN 9	35	FIXO				CUMMINS KTA 19M	2073
SURYA 555	125	FIXO				CATERPILLAR 3512-TA	6532
ALSANCAK-2	92	FIXO	LIPS		45		
KONKOURE	62	FIXO				CATERPILLAR 3512TA	6532
RIO TORIBIO	65	FIXO			31	CATERPILLAR 3512	6532

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
AL MUKHTAR	2002	LIBIA	22.57	7.24	3.74	3.30	2720	2028	12.0	122
ALPAMAYO	2002	PERU	22.67	8.00	3.48	2.90	2400	1790	10.0	
DON PEPE	1999	ESPANHA	24.50	8.05	4.35	3.20	2400	1790	11	201
KALTIM DOLPHIN 10-02	2004	SINGAPURA	25.08	7.60	3.20	2.51	2500	1864		175
RIMBA MGM 1	2002	SINGAPURA	25.08	7.60	3.20	2.51	2500	1864		175
TAMARA I	2001	GIBRALTAR	25.25	8.60	4.00	3.10	3000	2237	13	205
TAMARA LI	2001	GIBRALTAR	25.25	8.60	4.00	3.10	3000	2237	13	205
LAMMA	2003	HONG KONG	25.40	8.50	4.70	3.70	3200	2386	12	231
NEPTUN	2001	RUSSIA	25.86	8.90	4.30	3.65	2700	2013	12	200
PERSIAN GULF 1	2007	IRAN	25.86	8.90	4.30	3.66	2880	2148	12	201
VOLARAZA	2002	MADAGASCAR	26.09	7.95	4.05	3.22	2760	2058		183
TAYCO IV	2003	CHILE	26.75	8.50	4.00	3.40	7080	5280	12	218
BADETAS I	1999	TURQUIA	27.50	9.50	4.50	3.20	2400	1790		320
BADETAS Li	1999	TURQUIA	27.50	9.50	4.50	3.20	2400	1790		320
FERDINANDO PAGOT	2003	BRASIL	28.00	8.90	4.50	3.60	3370	2513		261
M.T. ADAMAWA	2000	NIGERIA	28.50	8.80	4.25	3.26	2460	1834	12	248
M.T. OLUMO	2000	NIGERIA	28.50	8.80	4.25	3.26	2460	1834	12	248
KIMSTRANS TYPHOON	2005	SINGAPURA	29.00	8.53	4.27	3.50	3042	2268	11	268
WECOY 7	2004	CHINA	29.00	8.96	4.24	3.50	2400	1790		245
AL HAMRIYAH	2000	EMIRADOS ARABES UNIDOS	29.16	8.85	4.40	3.92	3420	2550	13.0	269
AL MUKHAIBE	2000	UAE	29.16	8.85	4.40	3.90	3420	2550	13.0	269
FOUNDMAR 01	2003	CHINA	29.20	9.00	4.40	3.71	2432	1814	10	276
KARORI	2002	SINGAPURA	29.20	9.00	4.40	3.70	2434	1815		255
TOPNICHE 1	2000	CHINA	29.2	9	4.4	3.7	2400	1790	12	255
TOPNICHE 7	1999	CHINA	29.20	9.00	4.40	3.70	2400	1790	12	255
YEW CHOON 2	2003	CHINA	29.20	9.00	4.40	3.70	2400	1790	12	255
KOREA N7	1998	COREIA DO SUL	29.52	8.00	3.60	2.69	2434	1815	11	126
ANKOBRA RIVER	2006	GHANA	29.75	9.95	4.40	4.00	4750	3542	13.6	270

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
AL MUKHTAR	61	FIXO			38		
ALPAMAYO		FIXO			32		
DON PEPE	129	FIXO			34	CATERPILLAR 3512	6532
KALTIM DOLPHIN 10-02	77	FIXO				MTU	
RIMBA MGM 1		FIXO				M.T.U	
TAMARA I		FIXO			40	CATERPILLAR 3512-B	6532
TAMARA LI	72	FIXO			40	CATERPILLAR 3512	6532
LAMMA	70	FIXO	KAPLAN	1900	45	NIIGATA 8L25HX	
NEPTUN	110	FIXO				CATERPILLAR 3512-BTA	6532
PERSIAN GULF 1		FIXO				DEUTZ SBV6M628	9500
VOLARAZA		FIXO				CATERPILLAR 3512-TA	6532
TAYCO IV	70	FIXO			42	M.T.U 12V	
BADETAS I		FIXO					
BADETAS LI		FIXO					
FERDINANDO PAGOT	164	FIXO				WARTSILA 8L20	20900
M.T. ADAMAWA	146	FIXO			32	MWM TBD620V8	
M.T. OLUMO	146	FIXO			32	MWM TBD620V8	
KIMSTRANS TYPHOON		FIXO				CUMMINS KTA-38-M2	4218
WECOY 7	217	FIXO				YANMAR M220	9600
AL HAMRIYAH		FIXO			52	CATERPILLAR 3516-TA-A	7961
AL MUKHAIBE		FIXO				CATERPILLAR 3516-TA-A	
FOUNDMAR 01	107	FIXO				CUMMINS	
KARORI	107	FIXO			35	YANMAR M220	9600
TOPNICHE 1		FIXO				YANMAR M220	9600
TOPNICHE 7		FIXO					
YEW CHOON 2		FIXO			30	CUMMINS KTA 38M2	4218
KOREA N7	85	FIXO				CUMMINS KTA 38M2	4218
ANKOBRA RIVER		FIXO	PROMARIN		67.3	CATERPILLAR 3516B 4	7961

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
OCEAN PERIDOT	2003	SINGAPURA	29.80	8.20	4.10	3.13	2400	1790		228
PARVATI	2002	INDIA	30.1	9.6	3.9	2.9	3540	2640		287
B. CEYHAN	2006	TURQUIA	30.25	11.00	5.28	4.25	5520	4116	12.5	398
SVITZER MARS	2004	LITUANIA	30.30	11.50	5.30	4.80	4800	3579	14	395
SVITZER MJOLNER	2004	DINAMARCA	30.30	11.50	5.30	4.80	4800	3579	14	384
CHAPORRA II	2005	INDIA	31.00	11.30	5.00	4.40	4827	3599		360
KANTI	1998	INDIA	31.00	9.60	4.93	3.03	3580	2670	12	292
MELATI LI	1999	SINGAPURA	31.8	9.6	4.15	3.2	2560	1909	12	296
SHARIEF POWER	2005	EMIRADOS ARABES UNIDOS	32.00	11.50	5.60	4.76	5431	4050	13	491
STANFORD	2005	ILHA DE MAN	32.50	10.60	5.00	4.25	5200	3878	14	381
SUNDARANAR	2002	INDIA	32.60	10.70	4.65	4.00	3600	2685		397
CHEETAH	2000	INDIA	32.90	10.00	4.25	3.20	2550	1902	11	372
PISCES 53	2003	SINGAPURA	34.00	10.50	6.20	5.00	5552	4140	12	420
BULLDOG	1999	NORUEGA	35.00	11.50	5.50	4.80	5508	4107	13.0	481
SHARK 5	2004	KUWAIT	36.00	10.80	5.40	3.75	5220	3893		434
GULF TITAN	2001	ESTADOS UNIDOS	36.60	10.66	7.00	6.12	4510	3363	14	534
ZAKHER PRINCE	2002	ST VINCENT	37.00	11.40	4.95	4.06	2500	1864	12	475
BRITOIL 64	2006	SINGAPURA	40.00	11.20	4.95	4.00	5096	3800		497
BRITOIL 65	2006	SINGAPURA	40.00	11.20	4.95	4.00	5096	3800		497
BRITOIL 66	2006	SINGAPURA	40.00	11.20	4.95	4.00	5096	3800		497
BRITOIL 67	2006	SINGAPURA	40.00	11.20	4.95	4.00	5096	3800		497
LAMNALCO WEAVER	2005	KUWAIT	25.35	8.60	4.00	3.10	3000	2237	10	224
AFON BRAINT	2005	RUSSIA	25.50	8.00	3.60	2.40	2600	1939	11.0	147
AMAZONAS I	1998	PANAMA	26.00	9.40	4.30	3.40	2560	1909	11.3	223
PIONEER ADMIRAL	2002	CHINA	28.80	8.40	4.00	3.46	2400	1790	12	252
RITOQUE	2004	CHILE	30.50	10.30	4.50	3.50	4058	3026	13	313
PILBARA NEPTUNE	2004	AUSTRALIA	30.60	10.60	5.00	4.25	4998	3727		360

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
OCEAN PERIDOT		FIXO				YANMAR M220	9600
PARVATI	350	FIXO				WARTSILA 8L20	11000
B. CEYHAN		FIXO			68	CATERPILLAR 3606 4S.A	15680
SVITZER MARS	175	FIXO	ROLLS ROYCE	2400	62	M.A.K 8M32	
SVITZER MJOLNER	175	FIXO	ROLLS ROYCE	2400	62	M.A.K 8M32	
CHAPORRA II	170	FIXO				WARTSILA 6L26	18100
KANTI	148	FIXO	AQUAMASTER	2150	47	BERGEN KRMB-6	12700
MELATI LI		FIXO			35	CATERPILLAR 3512	6532
SHARIEF POWER		FIXO				DEUTZ 9M628	13400
STANFORD	260	FIXO				M.a.k 6M25	
SUNDARANAR	152	FIXO				YANMAR 8N21A	10500
CHEETAH	207	FIXO			35	CATERPILLAR 3516-DITA	7961
PISCES 53	195	FIXO	SCHOTTEL	2600	65	DEUTZ SBV9M628	13400
BULLDOG		FIXO			66	DEUTZ SBV9M628	13400
SHARK 5	220	FIXO				YANMAR 6EY26	17500
GULF TITAN		FIXO	ULSTEIN		63	CATERPILLAR 3516-B	7961
ZAKHER PRINCE	322	FIXO				CATERPILLAR 3512	6532
BRITOIL 64	281	FIXO	TUNNEL THRUSTER		70	CATERPILLAR	
BRITOIL 65	281	FIXO	TUNNEL THRUSTER		70	CATERPILLAR	
BRITOIL 66	281	FIXO	TUNNEL THRUSTER		70	CATERPILLAR	
BRITOIL 67	281	FIXO	TUNNEL THRUSTER		70	CATERPILLAR	
LAMNALCO WEAVER						CATERPILLAR 3512-TA	6532
AFON BRAINT	200				34	CUMMINS KTA 38M2	4218
AMAZONAS I							
PIONEER ADMIRAL	553				36		
RITOQUE	179				53	CATERPILLAR 3516B	7961
PILBARA NEPTUNE	213				61	NIIGATA 6L28HX	

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
ANGELO RAVANO	2001	ITALIA	32.50	11.24	5.00	4.16	4904	3657	14.0	390
BESTWIN 48	2001	SINGAPURA	19.90	7.00	2.90	2.20	892	665		
ALEJANDRO JOSE	2002	ESPANHA	20.00	8.20	4.20	3.70	2200	1641	10.0	
SMS POWER	1999	SINGAPURA	20.80	6.70	2.90	2.70	1240	925	11	
LAMNALCO ROBIN	2002	CHIPRE	21.00	7.00	3.30	2.40	1000	746	11	
MARINA MEGA	1998	SINGAPURA	21.00	7.30	3.20	2.70	1080	805	10	
LM MARINER 6	2001	SINGAPURA	21.30	7.00	2.90	2.40	1800	1342	10	
UMAY	2000	TURQUIA	21.30	7.80	3.15	2.40	2400	1790	12	168
ADAS 01	2002	INDONESIA	21.40	6.80	3.50	2.90	1014	756	10.0	129
ADAS 03	2002	INDONESIA	21.40	6.80	3.50	2.90	1102	822	10.0	129
MODALWAN 1018	2002	INDONESIA	21.40	6.80	3.43	2.80	1014	756	10	
MODALWAN 1020	2002	MALASIA	21.40	6.80	3.50	2.90	1014	756	10	
MODALWAN 1021	2002	MALASIA	21.40	6.80	3.50	2.90	1014	756	12	
MODALWAN 1022	2002	MALASIA	21.40	6.80	3.50	2.90	1010	753	10	
MODALWAN 1025	2002	MALASIA	21.40	6.80	3.50	2.90	1010	753	10	
MODALWAN 1041	2003	MALASIA	21.40	6.80	3.50	2.90	1014	756	10	
OCEAN UNIFORM	2001	SINGAPURA	21.50	6.80	3.34	2.60	1000	746		
OCEAN VICTOR	2001	SINGAPURA	21.50	6.80	3.34	2.60	1000	746		
OCEAN YANKEE	2002	SINGAPURA	21.50	6.80	3.34	2.60	1000	746		
OCEAN ZULU	2002	SINGAPURA	21.50	6.80	3.34	2.60	1000	746		
BESTWIN 58	2002	SINGAPURA	21.60	7.30	3.00	2.30	1026	765		
KIMSTRANS BRAVO	2001	SINGAPURA	21.80	7.30	2.90	2.30	920	686	12	
DUTCH PEARL	1999	PAISES BAIXOS	22.00	7.60	3.10	2.60	1780	1327	12	
DMS MERLIN	2004	PAISES BAIXOS	22.40	8.00	2.99	2.00	1460	1089	10	
BESTWIN 18	1999	SINGAPURA	22.60	6.70	2.90	2.20	1014	756	11.0	
KALTIM DOLPHIN 10-18	2004	SINGAPURA	23.00	7.30	3.10	2.60	974	726		
KALTIM DOLPHIN 10-19	2004	SINGAPURA	23.00	7.30	3.10	2.60	974	726		
WOODMAN 36	2000	MALASIA	23.00	8.20	3.60	3.00	731	545	11	

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
ANGELO RAVANO	200				38	DETROIT 8-645-E7B	
BESTWIN 48							
ALEJANDRO JOSE					26		
SMS POWER							
LAMNALCO ROBIN					15		
MARINA MEGA							
LM MARINER 6							
UMAY					31	CUMMINS KTA 38M2	4218
ADAS 01						NIIGATA KTA19M	
ADAS 03						NIIGATA KTA19M	
MODALWAN 1018							
MODALWAN 1020							
MODALWAN 1021							
MODALWAN 1022							
MODALWAN 1025							
MODALWAN 1041							
OCEAN UNIFORM							
OCEAN VICTOR							
OCEAN YANKEE							
OCEAN ZULU							
BESTWIN 58							
KIMSTRANS BRAVO							
DUTCH PEARL							
DMS MERLIN							
BESTWIN 18							
KALTIM DOLPHIN 10-18							
KALTIM DOLPHIN 10-19							
WOODMAN 36							

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
ALBATROS	2003	BAHREIN	23.20	7.00	2.90	2.00	1200	895	12.0	
AVIK	2004	ESTADOS UNIDOS	23.20	9.80	1.98	1.10	1350	1007	9.0	
BINA OCEAN 7	2004	SINGAPURA	23.20	7.00	3.00	2.40	974	726	10.0	
ENTEBE EMERALD	2002	SINGAPURA	23.20	7.30	3.00	2.50	1240	925	12	
KALTIM DOLPHIN 10-09	2004	SINGAPURA	23.20	7.00	2.90	2.40	974	726	10	
KALTIM DOLPHIN 10-10	2004	SINGAPURA	23.20	7.00	2.90	2.40	974	726	10	
OCEAN JAYA I	2004	INDONESIA	23.30	7.60	2.80	2.10	1014	756		
BALOE	2006	PAISES BAIXOS	23.40	8.00	2.99	2.10	1718	1281	10.5	
DHEERA	2000	SRI LANKA	23.40	7.00	2.90	1.90	1300	969	10	
KANCHADEWA	2000	SRI LANKA	23.40	7.00	2.90	1.90	1300	969	10	
ASL RANGER	1999	SINGAPURA	23.50	7.30	3.30	2.70	1280	954	11.0	
BESTWIN 78	2002	SINGAPURA	23.50	7.30	3.20	2.70	997	743	10.0	
BESTWIN 88	2004	SINGAPURA	23.50	7.30	3.20	2.70	1270	947	10.0	
ENTEBE EMERALD 19	2003	SINGAPURA	23.50	7.30	3.20	2.70	1462	1090	10	
ENTEBE EMERALD 22	2004	SINGAPURA	23.50	7.30	3.20	2.70	1440	1074		
ENTEBE EMERALD 32	2005	SINGAPURA	23.50	7.30	3.70	3.20	1440	1074		
ENTEBE POWER 1	2006	SINGAPURA	23.50	7.30	3.10	2.60	1200	895		
ENTEBE POWER 2	2006	SINGAPURA	23.50	7.30	3.10	2.60	1200	895		
EVAGORAS	2004	SINGAPURA	23.50	7.30	3.20	2.70	974	726	10	
FORWARD MARINE 107	2006	SINGAPURA	23.50	7.40	3.20	2.70	1958	1460		
KALTIM DOLPHIN 10-12	2004	SINGAPURA	23.50	7.30	3.13	2.50	1269	946	13	
KIM HENG 1188	2000	SINGAPURA	23.50	7.30	3.20	2.70	1100	820	12	
PANCON 5	2004	SINGAPURA	23.50	7.30	3.20	2.70	1462	1090	10	
UNV 386	2007	ESPANHA	23.80	11.00	4.72	4.00	3400	2535	13	236
SAMUDRA RAYA 1	2002	MALASIA	24.00	8.20	4.00	3.30	1636	1220	11	
ENTEBE EMERALD 23	2005	MALASIA	24.30	8.00	3.65	3.00	1600	1193		
ENTEBE STAR 26	2005	SINGAPURA	24.30	8.00	3.65	3.00	2060	1536		
CHAVIN	2003	PERU	24.40	9.20	4.04	3.50	2360	1760	12	

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
ALBATROS							
AVIK							
BINA OCEAN 7							
ENTEBE EMERALD					10		
KALTIM DOLPHIN 10-09							
KALTIM DOLPHIN 10-10							
OCEAN JAYA I							
BALOE							
DHEERA							
KANCHADEWA							
ASL RANGER							
BESTWIN 78							
BESTWIN 88							
ENTEBE EMERALD 19							
ENTEBE EMERALD 22							
ENTEBE EMERALD 32							
ENTEBE POWER 1							
ENTEBE POWER 2							
EVAGORAS							
FORWARD MARINE 107							
KALTIM DOLPHIN 10-12							
KIM HENG 1188							
PANCON 5							
UNV 386	58					CATERPILLAR 3516B	7961
SAMUDRA RAYA 1							
ENTEBE EMERALD 23							
ENTEBE STAR 26							
CHAVIN					30		

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
MODALWAN 10	2002	MALASIA	24.70	8.00	3.80	2.90	1724	1286	10	
FORWARD MARINE FM5	2006	SINGAPURA	25.00	8.10	3.60	3.00	1638	1221		
KALTIM DOLPHIN 17-03	2004	SINGAPURA	25.00	8.10	3.60	3.00	1618	1207		
M12	2002	EMIRADOS ARABES UNIDOS	25.00	10.30	2.55	2.00	1740	1298	8	
SURYA WIRA 6	2000	SINGAPURA	25.00	7.60	3.30	2.70	1440	1074	11	
LAMNALCO WAGTAIL	2004	KUWAIT	25.25	8.60	4.00	3.00	3000	2237	12	224
FLAGMAN	2004	RUSSIA	25.40	8.80	4.60	3.50	1395	1040	12	
PAVLOSK	2005	RUSSIA	25.40	9.30	4.30	3.30	3200	2386	12	188
PETERGOF	2005	RUSSIA	25.40	9.30	4.30	3.30	2000	1491	12	
DMS CONDOR	2001	PAISES BAIXOS	25.80	9.00	3.20	2.20	1948	1453	11	
DUTCH PIONNEER	2001	PAISES BAIXOS	25.80	7.60	3.10	2.50	1780	1327	11	
ELIZABETH	2002	S. VICENTE	25.80	8.50	3.20	2.50	2200	1641		
MCS MARLENE	2001	REINO UNIDO	25.80	8.50	3.20	2.20	1950	1454	10	
ENTE BE STAR 28	2005	SINGAPURA	26.00	8.00	3.65	3.00	2000	1491		
ENTE BE EMERALD 25	2005	SINGAPURA	26.00	8.00	2.65	3.00	2200	1641	10	
ENTE BE EMERALD 36	2005	SINGAPURA	26.00	8.00	3.65	3.00	1650	1230	11	
ENTE BE EMERALD 50	2006	SINGAPURA	26.00	8.00	3.65	3.00	1600	1193		
ENTE BE EMERALD 51	2005	SINGAPURA	26.00	8.00	3.65	3.00	1600	1193		
FORWARD MARINE FM8	2006	SINGAPURA	26.00	8.00	3.65	3.00	1030	768		
HIGHLINE 23	2003	MALASIA	26.00	7.90	3.80	3.20	819	611	10	
AMIRABAD	2003	IRAN	26.30	8.10	4.07	3.40	1620	1208	11.5	
KAYUMANIS	2000	SINGAPURA	26.50	8.40	3.80	3.10	1600	1193	11	
OCEAN MIKE	1998	SINGAPURA	26.50	8.40	3.80	3.10	1600	1193	11	
HAE SUNG	2004	COREIA DO SUL	26.90	8.00	3.60	2.70	1650	1230	12	
EVERBRIGHT 9	2004	MALASIA	27.00	8.50	4.12	3.30	1442	1075	10	
KIMSTRANS MIKE	2003	SINGAPURA	27.20	8.50	4.27	3.60	2033	1516	11	
ASL PRIMA VI	2003	INDONESIA	27.50	7.60	4.10	2.90	2000	1491	10.0	
ASL PROSPER III	2004	SINGAPURA	27.50	7.60	3.00	2.40	1216	907		

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
MODALWAN 10							
FORWARD MARINE FM5							
KALTIM DOLPHIN 17-03							
M12							
SURYA WIRA 6							
LAMNALCO WAGTAIL					38		
FLAGMAN							
PAVLOSK						CATERPILLAR 3512-B	6532
PETERGOF							
DMS CONDOR							
DUTCH PIONNEER							
ELIZABETH							
MCS MARLENE							
ENTE BE STAR 28							
ENTE BE EMERALD 25							
ENTE BE EMERALD 36							
ENTE BE EMERALD 50							
ENTE BE EMERALD 51							
FORWARD MARINE FM8							
HIGHLINE 23							
AMIRABAD							
KAYUMANIS					22		
OCEAN MIKE					22		
HAE SUNG							
EVERBRIGHT 9							
KIMSTRANS MIKE							
ASL PRIMA VI							
ASL PROSPER III							

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
NASEEB VII	2002	KUWAIT	27.90	9.00	4.70	3.80	1700	1268		
BMP 888	2002	NORUEGA	28.00	8.50	4.26	3.40	1440	1074	12.0	
BRITOIL 18	2005	SINGAPURA	28.00	8.80	3.20	2.60	1440	1074	10.0	
CHOULOU	2003	ALGERIA	28.00	9.00	4.70	3.70	1820	1357	12	
M. BEN BOULAID 2	2003	ALGERIA	28.00	9.00	4.70	3.70	1820	1357	12	
INTAN MEGAH 4	2006	ILHAS MARSHALL	28.1	8.6	4.3	3.3	2000	1491	10	
WUHU DAJIANG 2005102A	2006	ILHAS MARSHALL	28.20	9.00	4.10	3.40	2000	1491		
MARINA STAR	2006	INDONESIA	28.50	8.10	3.40	2.60	2000	1491		
ENTE BE STAR 10	2001	SINGAPURA	28.50	8.50	4.50	3.80	1946	1451	11	
ENTE BE STAR 9	2000	SINGAPURA	28.50	8.50	4.50	3.10	1920	1432	11	
SAMWOO HO	2002	COREIA DO SUL	28.50	7.80	3.40	2.40	2000	1491		
SMIT GUDELOU	2009		28.67	10.43	4.60	3.63	4930	3676	14	
BIG FAIR 303	1998	HONG KONG	28.80	8.40	3.80	3.30	2000	1491	12.0	
BIG FAIR 305	1998	HONG KONG	28.80	8.40	3.80	3.30	2000	1491	12.0	
ENTE BE STAR 8	2002	SINGAPURA	28.80	8.40	3.80	3.20	2000	1491	12	
MAY 101	2002	SINGAPURA	28.80	8.40	4.00	3.30	2000	1491		
ENTE BE STAR 21	2004	SINGAPURA	29.00	8.60	4.11	3.50	2060	1536		
JIANGSU SUGANG 0518	2006	CHINA	29.00	9.00	4.26	3.70	2400	1790		280
K VI	2004	SINGAPURA	29	8.6	4.11	3.5	2002	1493	11	
KERTAPATI	2002	MALASIA	29.00	9.00	4.25	3.50	2400	1790	11	291
KIMSTRANS DELTA	2003	SINGAPURA	29.00	8.50	4.26	3.60	2060	1536	11	
KIMSTRANS ECHO	2003	SINGAPURA	29.00	8.50	4.27	3.50	2060	1536	11	
PINETO	2000	ITALIA	29.10	8.60	4.01	3.50	1700	1268	10	
PAK	2005		29.16	8.84	4.40	3.63	4525	3374	13	
TOLYATTI	2004	RUSSIA	29.30	8.30	4.30	3.40	1604	1196	10	
PACIFIC OCEAN 1234	2006	INDONESIA	29.50	9.00	4.25	3.50	3200	2386		252
OCEAN PEARL	2003	SINGAPURA	29.80	8.20	4.10	3.10	2368	1766	12	
DELILA	1999	ISRAEL	29.88	9.40	3.70	2.93	3400	2535	12	283

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
NASEEB VII							
BMP 888							
BRITOIL 18							
CHOULOU							
M. BEN BOULAID 2					22		
INTAN MEGAH 4							
WUHU DAJIANG 2005102A							
MARINA STAR							
ENTE BE STAR 10							
ENTE BE STAR 9							
SAMWOO HO							
SMIT GUDELOU							
BIG FAIR 303							
BIG FAIR 305							
ENTE BE STAR 8							
MAY 101							
ENTE BE STAR 21							
JIANGSU SUGANG 0518						CUMMINS KTA 38 M2	4218
K VI							
KERTAPATI	146				35		
KIMSTRANS DELTA							
KIMSTRANS ECHO							
PINETO							
PAK							
TOLYATTI							
PACIFIC OCEAN 1234	135					YANMAR 8N21	10500
OCEAN PEARL							
DELILA	108				35	DEUTZ SBV6M628	9500

NOME	ANO	BANDEIRA	L (m)	B (m)	D (m)	T (m)	P(BHP)	P (Kw)	V (nos)	GT
CARES	2002	ESPANHA	30.00	9.80	5.40	4.20	2000	1491	12.0	
SURYA PUTRA 6	2006	SINGAPURA	30.00	8.60	4.12	3.50	2060	1536	11	
THERAPUTHTHABHAYA	2001	SRI LANKA	30.50	9.60	4.48	3.80	1960	1462	12	
SULTAN HABIB A HOUMED	2006	DJIBOUTI	30.82	10.20	4.88	4.08	4750	3542	13	300
TASSINA 3	2002	ALGERIA	30.82	10.20	4.80	3.75	2800	2088		309
INDAH ABADI 1	2003	MALASIA	31.00	8.50	3.80	3.00	731	545	11	
SURYA WIRA 5	2002	SINGAPURA	31.00	8.50	3.80	3.00	1450	1081	10	
TAKAVAR 3	2004	IRAN	31.00	9.50	3.80	3.00	2060	1536	12	
DIONISIO	2006	MALTA	32.10	9.50	3.80	2.80	2000	1491	12	
GAJRAJ	2000	INDIA	32.90	10.00	4.25	3.20	2550	1902	11	372
HEERA	1999	INDIA	32.90	10.00	4.25	3.20	2550	1902	11	372
MEHUL	1999	INDIA	32.90	10.00	4.25	3.20	3420	2550	11	372
MICLYN BAY	2003	MALASIA	34.00	10.60	4.96	4.00	2080	1551	11	
ESINO	2006	ITALIA	35.00	10.60	5.80	4.80	5500	4101	13	425
JEDDAH 43	2007	ARABIA SAUDITA	35.00	12.00	5.30	3.70	4894	3649	14	600
KARIN	2003	PANAMA	36.00	9.00	4.00	3.20	1985	1480	13	
ZEEMEEUW	2006	PAISES BAIXOS	36.40	7.60	3.40	2.60	1350	1007		
AJANG IKLHAS	2002	MALASIA	37.00	11.40	4.90	4.10	1299	969	12.5	
DANUM 45	2006	MALASIA	37.00	11.40	4.95	4.06	2700	2013	12	475
DANUM 8	2002	MALASIA	37.00	11.40	4.90	4.10	1379	1028	13	
SUSANNA	2005	PANAMA	46.32	13.60	6.40	5.60	7850	5854		1148

NOME	DWT	TIPO PROP	MARCA	DIAM. PROP	BP (ton)	TIPO MOTOR	PESO MOTOR
CARES							
SURYA PUTRA 6							
THERAPUTHHABHAYA							
SULTAN HABIB A HOUMED					54.7	CATERPILLAR 3516B	7961
TASSINA 3						M.a.k 6M20	
INDAH ABADI 1							
SURYA WIRA 5							
TAKAVAR 3							
DIONISIO							
GAJRAJ	207				35	CATERPILLAR 3516-DITA	7961
HEERA	211				35	CATEPILLAR 3516	7961
MEHUL	211				35	CATERPILLAR 3516-DITA	7961
MICLYN BAY							
ESINO	400					WARTSILA	
JEDDAH 43	525					WARTSILLA 9L20	11600
KARIN							
ZEEMEEUW							
AJANG IKLHAS							
DANUM 45	400				30	CUMMINS KTA-38-M2	4218
DANUM 8							
SUSANNA	974					WARTSILA	

APÊNDICE 2. BASE DE DADOS DE REBOCADORES

Apresenta-se neste Apêndice as Tabelas A.2.1, A.2.2 e A.2.3 que correspondem aos dados dos valores das variáveis e de alguns atributos das soluções do processo de otimização para rebocadores com propulsão convencional; rebocadores com propulsão azimutal e rebocadores com propulsão azimutal e função de combate a incêndios respectivamente.

Estes valores foram obtidos através do processo exposto no Capítulo 6 para cada uma das abordagens.

Tabela A. 2.1 Soluções do processo de otimização para rebocadores com propulsão convencional

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)	N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
741	47.5	26.2	7.5	3.8	2.7	2646	0.49	264.5	1308	67.4	32.1	9.8	4.2	3.2	3807	0.47	479.7
741	47.5	26.2	7.5	3.8	2.7	2646	0.49	264.5	1308	67.4	32.1	9.8	4.2	3.3	3807	0.46	479.7
741	47.5	26.2	7.5	3.8	2.7	2646	0.49	264.5	1308	67.4	32.1	9.8	4.2	3.3	3807	0.45	479.7
741	47.5	26.2	7.5	3.8	2.6	2646	0.51	264.5	1315	67.6	30.5	9.6	4.5	3.3	3821	0.47	461.0
744	47.7	26.3	7.5	3.8	2.7	2653	0.49	264.9	1315	67.6	30.5	9.6	4.5	3.3	3821	0.47	461.0
744	47.7	26.3	7.5	3.8	2.7	2653	0.49	264.9	1315	67.6	30.5	9.6	4.5	3.4	3821	0.45	461.0
746	47.7	26.4	7.5	3.8	2.6	2654	0.50	266.0	1316	67.7	30.5	9.6	4.5	3.4	3823	0.45	461.3
748	47.9	26.4	7.4	3.8	2.7	2668	0.49	265.4	1319	67.8	32.3	9.8	4.2	3.1	3830	0.48	486.3
748	47.9	26.4	7.4	3.8	2.7	2668	0.49	265.4	1319	67.8	32.3	9.8	4.2	3.1	3830	0.48	486.3
748	47.9	26.4	7.4	3.8	2.7	2668	0.50	265.4	1323	67.9	33.0	9.8	4.1	3.2	3835	0.46	493.4
749	48.0	26.1	7.4	3.9	2.7	2674	0.50	263.1	1323	67.9	33.0	9.8	4.1	3.2	3835	0.46	493.4
756	48.3	26.4	7.4	3.9	2.7	2690	0.50	266.0	1323	67.9	33.0	9.8	4.1	3.2	3835	0.46	493.4
757	48.4	26.4	7.5	3.8	2.7	2697	0.49	268.0	1326	68.0	32.3	10.0	4.1	3.2	3844	0.46	492.3
759	48.6	26.4	7.5	3.8	2.7	2711	0.49	268.5	1326	68.0	32.3	10.0	4.1	3.3	3844	0.46	492.3
759	48.6	26.4	7.5	3.8	2.7	2711	0.49	268.5	1326	68.0	32.3	10.0	4.1	3.2	3844	0.46	492.3
759	48.6	26.4	7.5	3.8	2.7	2711	0.49	268.5	1333	68.3	33.6	9.8	4.0	3.2	3857	0.46	501.6
759	48.6	26.4	7.5	3.8	2.7	2711	0.49	268.5	1335	68.3	33.7	9.8	4.0	3.2	3859	0.46	502.8
759	48.6	26.4	7.5	3.8	2.7	2711	0.49	268.5	1335	68.3	33.7	9.8	4.0	3.2	3859	0.46	502.8
759	48.6	26.4	7.5	3.8	2.7	2711	0.50	268.5	1335	68.3	33.7	9.8	4.0	3.2	3859	0.46	502.8
759	48.6	26.4	7.5	3.8	2.6	2711	0.50	268.5	1335	68.3	33.7	9.8	4.0	3.3	3859	0.45	502.8
759	48.6	26.4	7.5	3.8	2.6	2711	0.51	268.5	1336	68.3	32.2	10.1	4.1	3.2	3863	0.46	496.5
764	48.9	26.3	7.4	3.9	2.7	2723	0.49	267.1	1336	68.3	32.2	10.1	4.1	3.3	3863	0.46	496.5
767	48.9	24.8	8.0	3.9	2.7	2727	0.50	270.5	1336	68.3	32.2	10.1	4.1	3.3	3863	0.45	496.5
767	48.9	24.8	8.0	3.9	2.8	2728	0.48	270.5	1337	68.4	32.2	10.1	4.1	3.2	3865	0.46	497.0
767	48.9	24.8	8.0	3.9	2.7	2728	0.49	270.5	1337	68.4	32.2	10.1	4.1	3.2	3865	0.46	497.0
767	48.9	24.8	8.0	3.9	2.8	2728	0.48	270.5	1337	68.4	32.2	10.1	4.1	3.2	3865	0.47	497.0
767	48.9	24.8	8.0	3.9	2.7	2728	0.49	270.5	1337	68.4	32.2	10.1	4.1	3.2	3865	0.47	497.0
767	49.0	24.8	8.0	3.9	2.8	2729	0.48	270.6	1339	68.5	33.7	9.8	4.0	3.2	3870	0.47	504.7
767	49.0	24.8	8.0	3.9	2.7	2729	0.50	270.6	1340	68.5	33.8	9.8	4.0	3.2	3872	0.46	505.0
767	49.0	24.8	8.0	3.9	2.8	2729	0.48	270.6	1340	68.5	33.8	9.8	4.0	3.1	3872	0.48	505.0
771	49.1	25.5	7.7	3.9	2.8	2736	0.49	270.2	1340	68.5	33.8	9.8	4.0	3.1	3872	0.48	505.0
772	49.1	24.9	8.0	3.9	2.8	2739	0.48	271.9	1341	68.5	32.9	10.0	4.1	3.3	3872	0.45	502.0
777	49.3	24.9	8.0	3.9	2.8	2748	0.49	272.9	1342	68.5	32.9	9.8	4.2	3.3	3873	0.46	496.3
777	49.3	24.9	8.0	3.9	2.8	2749	0.49	273.0	1342	68.5	32.9	9.8	4.2	3.1	3873	0.48	496.3
778	49.3	25.6	7.7	3.9	2.7	2750	0.49	272.8	1344	68.5	32.9	9.8	4.2	3.3	3874	0.46	496.9
779	49.4	25.6	7.7	3.9	2.7	2754	0.49	273.1	1345	68.6	33.0	9.8	4.2	3.3	3879	0.45	495.9
779	49.4	25.6	7.7	3.9	2.7	2754	0.49	273.1	1346	68.7	32.2	10.1	4.2	3.2	3882	0.47	498.0
783	49.5	25.9	7.7	3.9	2.7	2759	0.49	274.6	1349	68.7	32.2	10.1	4.2	3.2	3886	0.47	498.9
783	49.5	25.9	7.7	3.9	2.7	2759	0.49	274.6	1349	68.7	32.2	10.1	4.2	3.3	3886	0.45	498.9
783	49.5	25.9	7.7	3.9	2.7	2759	0.49	274.6	1349	68.7	32.2	10.1	4.2	3.2	3886	0.47	498.9
783	49.5	25.9	7.7	3.9	2.8	2759	0.49	274.6	1349	68.7	32.2	10.1	4.2	3.3	3886	0.46	498.9
783	49.5	25.9	7.7	3.9	2.7	2759	0.50	274.6	1351	68.7	32.2	10.1	4.2	3.3	3886	0.46	500.0
783	49.5	25.9	7.7	3.9	2.8	2759	0.48	274.6	1352	68.9	30.5	9.8	4.5	3.4	3896	0.45	472.3
788	49.5	26.0	7.7	3.9	2.7	2760	0.49	276.4	1355	69.0	30.6	9.8	4.5	3.3	3902	0.47	473.0
789	49.7	26.3	7.7	3.9	2.8	2772	0.49	277.8	1355	69.0	30.6	9.8	4.5	3.4	3902	0.45	473.0
789	49.7	26.3	7.7	3.9	2.8	2772	0.48	277.8	1355	69.0	30.6	9.8	4.5	3.4	3902	0.46	473.0
789	49.7	26.3	7.7	3.9	2.7	2772	0.49	277.8	1355	69.0	30.6	9.8	4.5	3.4	3902	0.46	473.0
792	49.8	26.3	7.7	3.9	2.7	2779	0.49	278.1	1355	69.0	30.6	9.8	4.5	3.2	3902	0.48	473.0
792	49.8	26.3	7.7	3.9	2.7	2779	0.50	278.1	1372	69.6	29.7	10.3	4.5	3.4	3936	0.46	484.2
793	49.8	26.1	7.7	3.9	2.7	2779	0.49	278.5	1372	69.6	29.7	10.3	4.5	3.4	3936	0.46	484.2
794	49.9	26.3	7.7	3.9	2.8	2781	0.49	279.4	1372	69.6	29.7	10.3	4.5	3.3	3936	0.46	484.2

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
794	49.9	26.3	7.7	3.9	2.8	2781	0.49	279.4
796	49.9	26.1	7.8	3.9	2.8	2782	0.49	279.6
797	49.9	26.4	7.7	3.9	2.8	2784	0.49	280.2
799	49.9	26.1	7.8	3.9	2.8	2786	0.49	280.3
799	49.9	26.1	7.8	3.9	2.8	2786	0.49	280.3
801	50.1	26.3	7.7	3.9	2.8	2795	0.49	280.7
802	50.1	26.3	7.7	3.9	2.8	2798	0.49	281.1
802	50.2	25.8	8.4	3.7	2.8	2800	0.47	291.3
809	50.2	26.0	8.4	3.7	2.7	2802	0.49	294.2
809	50.2	26.0	8.4	3.7	2.7	2802	0.49	294.2
809	50.2	26.0	8.4	3.7	2.7	2802	0.49	294.2
812	50.4	25.8	8.4	3.7	2.7	2814	0.50	293.3
813	50.5	25.8	8.4	3.7	2.8	2821	0.48	294.0
813	50.5	25.8	8.4	3.7	2.7	2821	0.48	294.0
813	50.5	25.8	8.4	3.7	2.7	2821	0.50	294.0
816	50.6	26.3	8.2	3.8	2.7	2824	0.49	293.5
816	50.6	26.3	8.2	3.8	2.6	2824	0.51	293.5
816	50.6	26.3	8.2	3.8	2.6	2824	0.51	293.5
817	50.6	26.4	8.2	3.8	2.7	2827	0.49	294.2
821	50.7	25.8	8.4	3.8	2.8	2830	0.48	295.4
821	50.7	25.8	8.4	3.8	2.6	2830	0.50	295.4
822	50.8	26.4	8.2	3.8	2.8	2838	0.47	295.3
822	50.8	26.4	8.2	3.8	2.9	2838	0.47	295.3
826	50.8	24.9	8.5	3.9	2.8	2840	0.48	292.6
826	50.8	24.9	8.5	3.9	2.8	2840	0.48	292.6
828	51.0	24.7	8.6	3.9	2.8	2847	0.47	292.9
828	51.0	24.7	8.6	3.9	2.7	2851	0.50	293.0
828	51.0	24.7	8.6	3.9	2.7	2851	0.50	293.0
828	51.0	24.7	8.6	3.9	2.9	2851	0.47	293.0
828	51.0	24.7	8.6	3.9	2.8	2851	0.48	293.0
828	51.0	24.7	8.6	3.9	2.8	2851	0.48	293.0
828	51.0	24.7	8.6	3.9	2.7	2851	0.49	293.0
828	51.0	24.7	8.6	3.9	2.8	2851	0.48	293.0
828	51.0	24.7	8.6	3.9	2.7	2851	0.49	293.0
830	51.0	24.6	8.6	3.9	2.7	2851	0.49	292.7
834	51.1	25.0	8.6	3.9	2.9	2855	0.47	295.4
838	51.4	25.3	8.5	3.9	2.7	2871	0.50	297.3
838	51.4	25.3	8.5	3.9	2.7	2871	0.50	297.3
838	51.4	25.3	8.5	3.9	2.8	2871	0.48	297.3
838	51.4	25.3	8.5	3.9	2.7	2871	0.49	297.3
838	51.4	25.3	8.5	3.9	2.7	2871	0.51	297.3
838	51.4	25.3	8.5	3.9	2.7	2871	0.50	297.3
841	51.5	26.4	8.4	3.8	2.7	2878	0.50	303.1
845	51.6	26.2	8.3	3.9	2.7	2881	0.50	299.6
845	51.6	26.2	8.3	3.9	2.8	2881	0.49	299.6
845	51.6	26.2	8.3	3.9	2.7	2881	0.50	299.6
845	51.6	26.2	8.3	3.9	2.9	2881	0.47	299.6
846	51.7	26.7	8.1	3.9	2.7	2888	0.49	300.5
848	51.7	26.4	8.4	3.8	2.7	2889	0.50	303.8
849	51.7	26.4	8.4	3.8	2.7	2890	0.49	303.9
849	51.7	26.4	8.4	3.8	2.7	2890	0.50	303.9
849	51.7	26.4	8.4	3.8	2.8	2890	0.47	303.9
852	51.8	26.9	8.4	3.8	2.7	2895	0.50	308.8

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1372	69.6	29.7	10.3	4.5	3.4	3936	0.45	484.2
1372	69.6	29.7	10.3	4.5	3.4	3936	0.45	484.2
1372	69.6	29.7	10.3	4.5	3.3	3936	0.46	484.2
1372	69.6	29.7	10.3	4.5	3.3	3936	0.46	484.2
1372	69.6	29.7	10.3	4.5	3.3	3936	0.46	484.2
1380	69.7	33.3	10.1	4.1	3.2	3940	0.47	516.5
1384	69.8	33.5	10.0	4.1	3.3	3946	0.45	517.5
1384	69.8	33.5	10.0	4.1	3.3	3946	0.45	517.5
1385	70.0	33.4	10.1	4.1	3.2	3960	0.47	518.5
1385	70.0	33.4	10.1	4.1	3.2	3960	0.46	518.5
1385	70.0	33.4	10.1	4.1	3.2	3960	0.47	518.5
1385	70.0	33.4	10.1	4.1	3.3	3960	0.46	518.5
1385	70.0	33.4	10.1	4.1	3.3	3960	0.45	518.5
1385	70.0	33.4	10.1	4.1	3.2	3960	0.46	518.5
1385	70.0	33.4	10.1	4.1	3.2	3960	0.47	518.5
1385	70.0	33.4	10.1	4.1	3.3	3960	0.45	518.5
1385	70.0	33.4	10.1	4.1	3.2	3960	0.45	518.5
1388	70.1	33.0	10.1	4.2	3.2	3968	0.47	516.4
1390	70.2	33.5	10.1	4.1	3.2	3969	0.47	520.7
1391	70.2	33.5	10.1	4.1	3.3	3971	0.45	520.7
1391	70.2	33.5	10.1	4.1	3.3	3971	0.46	520.7
1391	70.2	33.5	10.1	4.1	3.3	3971	0.45	520.7
1391	70.2	33.5	10.1	4.1	3.2	3971	0.46	520.7
1391	70.3	33.5	10.1	4.1	3.3	3974	0.45	521.1
1398	70.4	33.4	10.1	4.2	3.2	3982	0.47	521.1
1398	70.4	33.4	10.1	4.2	3.3	3982	0.46	521.1
1398	70.4	33.4	10.1	4.2	3.2	3982	0.47	521.1
1398	70.4	33.4	10.1	4.2	3.2	3982	0.47	521.1
1398	70.4	33.4	10.1	4.2	3.2	3982	0.48	521.1
1404	70.7	32.1	10.1	4.3	3.3	3998	0.47	509.6
1404	70.7	32.1	10.1	4.3	3.4	3998	0.46	509.6
1404	70.7	32.1	10.1	4.3	3.2	3998	0.48	509.6
1404	70.7	32.1	10.1	4.3	3.3	3998	0.47	509.6
1404	70.7	32.1	10.1	4.3	3.2	3998	0.48	509.6
1404	70.7	32.1	10.1	4.3	3.3	3998	0.47	509.6
1406	70.7	32.6	10.1	4.3	3.2	4001	0.48	513.9
1406	70.7	32.6	10.1	4.3	3.2	4001	0.48	513.9
1406	70.7	32.6	10.1	4.3	3.2	4001	0.48	513.9
1416	71.1	32.0	10.1	4.4	3.3	4023	0.47	511.0
1416	71.1	32.0	10.1	4.4	3.2	4023	0.48	511.0
1416	71.1	32.0	10.1	4.4	3.3	4023	0.47	511.0
1416	71.1	32.0	10.1	4.4	3.3	4023	0.46	511.0
1417	71.1	30.6	10.3	4.5	3.4	4025	0.46	502.9
1418	71.2	32.2	10.2	4.3	3.3	4027	0.47	515.6
1418	71.2	32.2	10.2	4.3	3.3	4027	0.47	515.6
1418	71.2	32.2	10.2	4.3	3.3	4027	0.46	515.6
1418	71.2	32.2	10.2	4.3	3.4	4027	0.46	515.6
1418	71.2	32.2	10.2	4.3	3.3	4027	0.47	515.6
1418	71.2	32.2	10.2	4.3	3.3	4027	0.47	515.6
1418	71.2	32.2	10.2	4.3	3.3	4027	0.46	515.6
1422	71.2	32.2	10.2	4.3	3.4	4032	0.45	517.2
1422	71.3	32.2	10.2	4.3	3.2	4036	0.48	517.0

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
854	51.9	26.7	8.2	3.9	2.8	2899	0.48	303.5
854	51.9	26.7	8.2	3.9	2.7	2899	0.50	303.5
859	52.0	26.7	8.3	3.9	2.7	2908	0.49	305.5
866	52.3	26.5	8.4	3.9	2.7	2925	0.50	308.2
869	52.4	26.5	8.6	3.8	2.9	2932	0.47	312.9
870	52.5	26.5	8.4	3.9	2.7	2934	0.50	309.8
870	52.5	26.5	8.4	3.9	2.7	2934	0.50	309.8
870	52.5	26.5	8.4	3.9	2.7	2934	0.50	309.8
870	52.5	26.5	8.4	3.9	2.8	2934	0.48	309.8
875	52.6	25.9	8.7	3.9	2.7	2940	0.50	312.9
875	52.6	25.9	8.7	3.9	2.8	2940	0.49	312.9
875	52.6	25.9	8.7	3.9	2.8	2940	0.49	312.9
879	52.7	27.3	8.3	3.9	2.7	2946	0.50	313.0
880	52.8	26.7	8.5	3.9	2.7	2953	0.51	313.3
880	52.8	26.7	8.5	3.9	2.8	2953	0.48	313.3
883	52.8	26.7	8.5	3.9	2.7	2953	0.50	314.1
883	52.8	26.7	8.5	3.9	2.8	2953	0.49	314.1
883	52.8	26.7	8.5	3.9	2.7	2953	0.51	314.1
885	53.0	26.7	8.5	3.9	2.7	2964	0.50	314.7
885	53.0	26.7	8.5	3.9	2.9	2964	0.47	314.7
886	53.0	26.8	8.5	3.9	2.7	2968	0.50	315.3
893	53.2	26.9	8.5	3.9	2.8	2975	0.48	319.3
893	53.2	26.9	8.5	3.9	2.7	2976	0.50	319.4
893	53.2	26.9	8.5	3.9	2.8	2976	0.48	319.4
896	53.3	27.0	8.6	3.9	2.8	2982	0.49	320.8
896	53.3	27.0	8.6	3.9	2.8	2982	0.49	320.8
897	53.4	27.0	8.6	3.9	3.0	2987	0.45	321.6
897	53.4	27.0	8.6	3.9	3.0	2987	0.46	321.6
902	53.5	26.7	8.6	3.9	2.8	2993	0.48	321.5
902	53.5	26.7	8.6	3.9	2.9	2993	0.48	321.5
904	53.6	27.9	8.4	3.9	3.0	3002	0.46	324.6
909	53.8	27.8	8.4	3.9	2.8	3011	0.48	325.9
913	53.8	27.6	8.4	3.9	2.8	3012	0.48	325.5
913	53.9	27.9	8.4	3.9	2.7	3017	0.50	327.0
913	53.9	27.9	8.4	3.9	2.7	3017	0.50	327.0
913	53.9	27.9	8.4	3.9	3.0	3017	0.46	327.0
913	53.9	27.9	8.4	3.9	2.7	3017	0.50	327.0
913	53.9	27.9	8.4	3.9	2.7	3017	0.50	327.0
917	54.1	26.6	8.7	3.9	3.0	3027	0.46	326.5
917	54.1	28.1	8.4	3.9	2.9	3028	0.48	329.0
919	54.1	28.1	8.4	3.9	2.8	3031	0.49	329.6
921	54.2	26.6	8.8	3.9	3.0	3034	0.46	328.0
930	54.5	29.0	8.4	3.8	2.7	3051	0.49	337.9
930	54.5	29.0	8.4	3.8	2.7	3051	0.50	337.9
933	54.5	28.5	8.4	3.9	2.8	3054	0.49	335.2
936	54.7	27.5	8.6	3.9	3.0	3067	0.46	333.7
945	54.9	27.3	8.8	3.9	2.9	3076	0.48	337.2
945	54.9	27.3	8.8	3.9	2.9	3076	0.47	337.2
946	55.0	27.3	8.8	3.9	2.9	3085	0.48	337.5
949	55.1	26.6	9.1	3.9	2.8	3090	0.48	340.1
949	55.1	26.6	9.1	3.9	3.0	3090	0.46	340.1
949	55.1	26.6	9.1	3.9	3.0	3090	0.46	340.1
949	55.1	26.6	9.1	3.9	2.9	3090	0.47	340.1

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1428	71.5	32.3	10.2	4.3	3.4	4045	0.46	519.9
1428	71.5	32.3	10.2	4.3	3.3	4045	0.46	519.9
1428	71.5	32.3	10.2	4.3	3.3	4045	0.47	519.9
1428	71.5	32.3	10.2	4.3	3.4	4045	0.45	519.9
1428	71.5	32.3	10.2	4.3	3.3	4045	0.46	519.9
1430	71.5	33.2	10.0	4.3	3.3	4049	0.46	520.6
1430	71.5	33.2	10.0	4.3	3.4	4049	0.46	520.6
1431	71.5	32.4	10.2	4.3	3.4	4050	0.45	520.8
1433	71.6	33.3	10.0	4.3	3.3	4052	0.47	522.3
1438	71.8	34.1	9.8	4.3	3.4	4065	0.46	526.8
1440	71.9	33.9	10.1	4.2	3.2	4070	0.48	534.6
1441	71.9	33.9	10.1	4.2	3.2	4071	0.48	535.3
1443	72.0	33.1	10.1	4.3	3.2	4076	0.48	526.3
1446	72.1	33.9	10.2	4.2	3.3	4082	0.46	540.0
1446	72.1	33.9	10.2	4.2	3.3	4082	0.46	540.0
1446	72.1	33.9	10.2	4.2	3.4	4082	0.45	540.0
1446	72.1	33.9	10.2	4.2	3.4	4082	0.45	540.0
1446	72.1	33.9	10.2	4.2	3.2	4082	0.47	540.0
1447	72.1	34.0	10.2	4.2	3.3	4083	0.46	541.1
1447	72.1	34.0	10.2	4.2	3.3	4083	0.47	541.1
1455	72.4	34.2	10.2	4.2	3.3	4101	0.47	545.1
1455	72.4	34.2	10.2	4.2	3.3	4101	0.47	545.1
1455	72.4	34.2	10.2	4.2	3.3	4101	0.46	545.1
1456	72.5	34.4	9.6	4.4	3.4	4104	0.45	526.9
1456	72.5	34.4	9.6	4.4	3.3	4104	0.46	526.9
1456	72.5	34.4	9.6	4.4	3.4	4104	0.45	526.9
1456	72.5	34.4	9.6	4.4	3.4	4104	0.45	526.9
1460	72.6	34.8	10.1	4.2	3.3	4110	0.46	548.5
1461	72.6	34.8	10.1	4.2	3.3	4113	0.46	549.1
1465	72.7	33.9	10.2	4.2	3.3	4120	0.46	543.5
1465	72.7	33.9	10.2	4.2	3.4	4120	0.46	543.5
1465	72.7	33.9	10.2	4.2	3.3	4120	0.46	543.5
1465	72.8	34.5	9.7	4.4	3.2	4120	0.48	531.6
1467	72.8	34.6	9.7	4.4	3.2	4125	0.48	532.3
1468	72.8	33.2	10.2	4.3	3.4	4125	0.46	538.2
1468	72.8	33.2	10.2	4.3	3.4	4125	0.46	538.2
1473	73.0	33.3	10.2	4.3	3.4	4138	0.45	539.6
1473	73.0	33.3	10.2	4.3	3.4	4138	0.45	539.6
1477	73.2	35.1	10.2	4.1	3.3	4144	0.46	559.4
1480	73.2	35.0	9.8	4.3	3.3	4147	0.47	542.0
1480	73.2	35.0	9.8	4.3	3.3	4147	0.47	542.0
1480	73.2	35.0	9.8	4.3	3.2	4147	0.48	542.0
1482	73.3	35.2	10.2	4.1	3.3	4153	0.46	561.5
1482	73.3	35.2	10.2	4.1	3.3	4153	0.46	561.5
1482	73.3	35.2	10.2	4.1	3.3	4153	0.46	561.5
1482	73.3	35.2	10.2	4.1	3.3	4153	0.46	561.5
1482	73.3	35.2	10.2	4.1	3.4	4154	0.45	561.5
1482	73.3	35.2	10.2	4.1	3.4	4154	0.45	561.5
1485	73.4	35.5	9.7	4.3	3.3	4158	0.47	544.8
1485	73.4	35.5	9.7	4.3	3.4	4158	0.45	544.8
1485	73.4	35.5	9.7	4.3	3.4	4158	0.45	544.8
1487	73.5	35.5	9.7	4.3	3.3	4166	0.47	545.5
1487	73.5	35.5	9.7	4.3	3.2	4166	0.48	545.5

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
949	55.1	26.6	9.1	3.9	3.0	3090	0.46	340.1
949	55.1	26.6	9.1	3.9	3.0	3090	0.46	340.1
953	55.1	26.6	9.1	3.9	3.0	3091	0.46	340.8
953	55.1	26.6	9.1	3.9	3.0	3091	0.46	340.8
953	55.2	26.6	9.1	3.9	3.0	3096	0.47	340.8
953	55.2	26.6	9.1	3.9	3.0	3096	0.46	340.8
953	55.2	26.6	9.1	3.9	2.8	3096	0.48	340.8
953	55.2	26.6	9.1	3.9	3.0	3096	0.46	340.8
953	55.2	26.6	9.1	3.9	3.0	3096	0.47	340.8
957	55.4	30.4	8.4	3.7	2.7	3107	0.49	353.9
957	55.4	30.4	8.4	3.7	2.8	3107	0.49	353.9
957	55.4	30.4	8.4	3.7	2.7	3107	0.50	353.9
973	55.6	30.5	8.3	3.8	2.8	3117	0.49	355.9
1004	57.0	29.5	8.6	3.9	2.9	3197	0.47	361.4
1004	57.0	29.5	8.6	3.9	2.9	3197	0.48	361.4
1023	57.6	29.1	8.8	4.0	3.1	3236	0.45	365.9
1023	57.6	29.1	8.8	4.0	3.0	3236	0.46	365.9
1023	57.6	29.1	8.8	4.0	2.8	3236	0.49	365.9
1023	57.6	29.1	8.8	4.0	3.0	3236	0.47	365.9
1023	57.6	29.1	8.8	4.0	3.1	3236	0.46	365.9
1024	57.7	29.1	8.8	4.0	3.1	3243	0.45	366.3
1024	57.7	29.1	8.8	4.0	3.1	3243	0.45	366.3
1036	57.9	29.5	8.8	4.0	3.1	3251	0.45	371.4
1068	59.2	29.2	8.8	4.2	3.0	3327	0.47	375.2
1073	59.4	29.2	8.8	4.2	2.9	3337	0.49	376.8
1073	59.4	29.2	8.8	4.2	3.1	3337	0.46	376.8
1073	59.4	29.2	8.8	4.2	2.9	3339	0.49	377.0
1074	59.4	29.2	8.8	4.2	2.9	3340	0.49	377.2
1074	59.4	29.2	8.8	4.2	2.9	3340	0.49	377.2
1074	59.4	29.2	8.8	4.2	2.9	3340	0.49	377.2
1074	59.4	29.2	8.8	4.2	2.9	3340	0.49	377.2
1099	60.2	25.6	9.6	4.5	3.2	3385	0.46	375.1
1104	60.4	25.5	9.6	4.5	3.3	3400	0.45	374.5
1104	60.4	25.5	9.6	4.5	3.3	3400	0.46	374.5
1105	60.5	25.5	9.6	4.5	3.3	3402	0.45	374.7
1105	60.5	25.5	9.6	4.5	3.3	3402	0.46	374.7
1110	60.7	25.6	9.6	4.5	3.3	3414	0.46	376.8
1144	61.7	29.2	8.8	4.5	3.2	3477	0.47	393.1
1144	61.7	29.2	8.8	4.5	3.3	3477	0.46	393.1
1144	61.7	29.2	8.8	4.5	3.2	3477	0.47	393.1
1144	61.7	29.2	8.8	4.5	3.3	3477	0.46	393.1
1151	62.1	29.4	8.8	4.5	3.2	3495	0.47	396.1
1151	62.1	29.4	8.8	4.5	3.2	3495	0.47	396.1
1151	62.1	29.4	8.8	4.5	3.3	3495	0.46	396.1
1158	62.2	29.5	8.8	4.5	3.2	3505	0.47	398.6
1158	62.3	28.9	9.7	4.1	3.1	3509	0.47	419.2
1158	62.3	28.9	9.7	4.1	3.1	3509	0.47	419.2
1158	62.3	28.9	9.7	4.1	3.2	3509	0.45	419.2
1158	62.3	28.9	9.7	4.1	3.2	3509	0.45	419.2
1158	62.3	28.9	9.7	4.1	3.1	3509	0.47	419.2
1164	62.4	29.0	9.7	4.1	3.1	3512	0.47	421.4
1169	62.7	28.9	9.8	4.1	3.1	3532	0.47	424.0
1170	62.7	28.9	9.8	4.1	3.1	3532	0.47	423.7
1170	62.7	28.9	9.8	4.1	3.1	3532	0.47	423.7

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1487	73.5	35.5	9.7	4.3	3.3	4166	0.48	545.5
1490	73.6	35.6	9.7	4.3	3.3	4169	0.47	546.4
1490	73.6	35.6	9.7	4.3	3.3	4169	0.47	546.4
1490	73.6	35.6	9.7	4.3	3.3	4169	0.47	546.4
1497	73.8	35.1	9.8	4.3	3.2	4185	0.48	549.7
1497	73.8	35.1	9.8	4.3	3.1	4185	0.50	549.7
1497	73.8	35.1	9.8	4.3	3.1	4185	0.50	549.7
1497	73.8	35.1	9.8	4.3	3.1	4185	0.50	549.7
1497	73.8	35.1	9.8	4.3	3.2	4185	0.49	549.7
1497	73.8	35.1	9.8	4.3	3.3	4185	0.46	549.7
1500	74.0	34.8	10.1	4.3	3.3	4191	0.46	558.1
1500	74.0	34.8	10.1	4.3	3.3	4191	0.46	558.1
1500	74.0	34.8	10.1	4.3	3.2	4191	0.48	558.1
1500	74.0	34.8	10.1	4.3	3.2	4191	0.48	558.1
1500	74.0	34.8	10.1	4.3	3.3	4191	0.46	558.1
1500	74.0	34.8	10.1	4.3	3.3	4191	0.47	558.1
1500	74.0	34.8	10.1	4.3	3.3	4191	0.46	558.1
1501	74.0	34.4	10.3	4.3	3.2	4192	0.48	558.7
1506	74.1	34.6	10.3	4.2	3.4	4197	0.46	562.0
1506	74.1	34.6	10.3	4.2	3.3	4197	0.46	562.0
1508	74.2	34.7	9.8	4.4	3.2	4205	0.48	547.4
1510	74.3	34.3	10.0	4.4	3.3	4209	0.47	548.6
1514	74.4	34.7	10.3	4.2	3.2	4215	0.48	565.3
1514	74.4	34.7	10.3	4.2	3.3	4215	0.47	565.3
1514	74.4	34.7	10.3	4.2	3.3	4215	0.47	565.3
1516	74.5	34.6	10.3	4.3	3.2	4220	0.48	564.7
1517	74.5	34.9	10.1	4.3	3.3	4223	0.47	562.1
1517	74.5	34.9	10.1	4.3	3.3	4223	0.47	562.1
1517	74.5	34.9	10.1	4.3	3.3	4223	0.47	562.1
1517	74.5	34.9	10.1	4.3	3.3	4223	0.47	562.1
1521	74.7	34.7	10.2	4.3	3.3	4232	0.46	563.0
1521	74.7	34.7	10.2	4.3	3.2	4232	0.48	563.0
1526	74.8	34.9	10.1	4.3	3.5	4238	0.45	561.1
1527	74.9	34.9	10.2	4.3	3.3	4243	0.47	566.5
1528	74.9	35.0	10.1	4.3	3.2	4244	0.48	563.6
1528	74.9	35.0	10.1	4.3	3.3	4244	0.47	563.6
1528	74.9	35.0	10.1	4.3	3.3	4244	0.47	563.6
1528	74.9	35.0	10.1	4.3	3.2	4247	0.48	563.6
1530	74.9	35.1	10.1	4.3	3.2	4247	0.48	564.4
1536	74.9	34.1	10.3	4.4	3.3	4248	0.48	561.7
1538	75.2	35.0	10.2	4.3	3.5	4266	0.45	571.4
1538	75.2	35.0	10.2	4.3	3.4	4266	0.45	571.4
1538	75.2	35.0	10.2	4.3	3.4	4266	0.45	571.4
1538	75.2	35.0	10.2	4.3	3.3	4266	0.47	571.4
1538	75.3	35.0	10.2	4.3	3.4	4267	0.45	571.4
1540	75.3	35.0	10.2	4.3	3.5	4269	0.45	572.1
1540	75.3	35.0	10.2	4.3	3.4	4269	0.45	572.1
1541	75.3	35.2	10.2	4.3	3.3	4271	0.47	573.6
1541	75.3	35.2	10.2	4.3	3.4	4271	0.46	573.6
1551	75.5	35.3	10.2	4.3	3.4	4283	0.46	577.6
1551	75.5	35.3	10.2	4.3	3.3	4283	0.47	577.6
1553	75.6	35.3	10.2	4.3	3.4	4286	0.46	578.3
1554	75.8	35.0	10.3	4.3	3.3	4299	0.48	579.0
1554	75.8	35.0	10.3	4.3	3.3	4299	0.47	579.0

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1170	62.7	28.9	9.8	4.1	3.2	3532	0.46	423.7
1170	62.7	28.9	9.8	4.1	3.1	3532	0.47	423.7
1170	62.7	28.9	9.8	4.1	3.1	3532	0.47	423.7
1178	63.0	29.1	9.8	4.1	3.1	3549	0.47	427.3
1178	63.0	29.1	9.8	4.1	3.2	3549	0.45	427.3
1178	63.0	29.1	9.8	4.1	3.1	3549	0.47	427.3
1178	63.0	29.1	9.8	4.1	3.1	3549	0.47	427.3
1178	63.0	29.1	9.8	4.1	3.1	3549	0.47	427.3
1180	63.1	28.7	10.0	4.1	3.2	3553	0.46	429.5
1180	63.1	28.7	10.0	4.1	3.2	3553	0.46	429.5
1182	63.1	29.1	9.8	4.1	3.2	3556	0.46	428.1
1182	63.1	29.1	9.8	4.1	3.1	3556	0.47	428.1
1183	63.1	29.1	9.8	4.1	3.2	3557	0.46	428.3
1183	63.1	29.1	9.8	4.1	3.2	3557	0.45	428.3
1183	63.1	29.1	9.8	4.1	3.2	3557	0.46	428.3
1183	63.1	29.1	9.8	4.1	3.1	3557	0.47	428.3
1184	63.2	28.7	10.0	4.1	3.2	3561	0.46	430.0
1188	63.3	28.7	10.0	4.1	3.2	3569	0.46	431.7
1190	63.3	28.7	10.0	4.1	3.2	3570	0.46	431.1
1190	63.4	30.8	8.8	4.4	3.3	3573	0.45	416.5
1190	63.4	30.8	8.8	4.4	3.3	3573	0.45	416.5
1200	63.7	27.6	9.8	4.4	3.3	3589	0.46	417.8
1200	63.7	27.6	9.8	4.4	3.2	3589	0.47	417.8
1200	63.7	27.6	9.8	4.4	3.2	3591	0.47	417.9
1201	63.7	29.1	9.8	4.2	3.1	3593	0.47	431.6
1201	63.7	29.1	9.8	4.2	3.2	3593	0.46	431.6
1202	63.8	27.6	9.9	4.4	3.2	3597	0.47	421.1
1202	63.8	27.6	9.9	4.4	3.2	3597	0.47	421.1
1202	63.8	27.6	9.9	4.4	3.2	3597	0.46	421.1
1204	63.8	27.6	9.7	4.5	3.3	3598	0.46	415.8
1204	63.9	27.9	9.6	4.5	3.4	3601	0.45	416.1
1205	63.9	27.6	9.7	4.5	3.3	3602	0.46	416.4
1205	63.9	27.6	9.7	4.5	3.2	3602	0.47	416.4
1212	64.1	27.7	9.8	4.5	3.3	3616	0.46	418.8
1212	64.1	27.7	9.8	4.5	3.2	3616	0.47	418.8
1212	64.1	27.7	9.8	4.5	3.3	3616	0.46	418.8
1212	64.1	27.7	9.8	4.5	3.2	3616	0.47	418.8
1216	64.3	28.2	9.6	4.5	3.3	3625	0.46	420.7
1216	64.3	28.2	9.6	4.5	3.3	3625	0.46	420.7
1216	64.3	28.2	9.6	4.5	3.3	3625	0.46	420.7
1220	64.4	27.0	9.8	4.6	3.3	3630	0.46	414.4
1220	64.4	27.0	9.8	4.6	3.4	3630	0.46	414.4
1220	64.4	27.9	9.8	4.5	3.2	3632	0.48	422.3
1227	64.6	29.9	10.0	4.1	3.2	3645	0.46	449.2
1227	64.6	29.9	10.0	4.1	3.2	3645	0.45	449.2
1227	64.6	29.9	10.0	4.1	3.2	3645	0.46	449.2
1227	64.6	29.9	10.0	4.1	3.2	3645	0.46	449.2
1227	64.6	29.9	10.0	4.1	3.2	3645	0.45	449.2
1227	64.6	29.9	10.0	4.1	3.2	3645	0.45	449.2
1230	64.7	31.5	8.9	4.4	3.3	3648	0.46	433.2
1230	64.7	31.5	8.9	4.4	3.1	3648	0.48	433.2
1233	64.8	30.0	10.0	4.1	3.2	3654	0.46	451.1
1238	65.0	30.0	10.0	4.1	3.2	3665	0.46	453.2

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1554	75.8	35.0	10.3	4.3	3.4	4299	0.46	579.0
1554	75.8	35.0	10.3	4.3	3.3	4299	0.48	579.0
1554	75.8	35.0	10.3	4.3	3.4	4299	0.47	579.0
1557	75.9	35.1	10.1	4.4	3.3	4305	0.47	572.3
1557	75.9	35.1	10.1	4.4	3.3	4305	0.48	572.3
1557	75.9	35.1	10.1	4.4	3.3	4305	0.47	572.3
1557	75.9	35.1	10.1	4.4	3.2	4305	0.49	572.3
1557	75.9	35.1	10.1	4.4	3.3	4305	0.48	572.3
1557	75.9	35.1	10.1	4.4	3.4	4305	0.46	572.3
1557	75.9	35.1	10.1	4.4	3.3	4305	0.48	572.3
1559	76.0	36.4	10.2	4.2	3.3	4308	0.47	589.6
1559	76.0	36.4	10.2	4.2	3.3	4308	0.47	589.6
1561	76.0	34.7	10.0	4.5	3.5	4309	0.45	565.1
1562	76.1	34.7	10.1	4.5	3.5	4314	0.45	565.8
1562	76.1	34.7	10.1	4.5	3.5	4314	0.46	565.8
1563	76.1	34.8	10.1	4.5	3.5	4315	0.45	566.7
1564	76.1	35.0	10.3	4.3	3.3	4316	0.48	580.7
1564	76.1	36.6	9.9	4.3	3.4	4319	0.47	581.0
1565	76.2	35.1	10.3	4.3	3.3	4320	0.47	578.7
1565	76.2	35.1	10.3	4.3	3.4	4320	0.46	578.7
1567	76.3	35.1	10.3	4.4	3.3	4325	0.47	579.2
1567	76.3	35.1	10.3	4.4	3.4	4325	0.46	579.2
1567	76.3	35.1	10.3	4.4	3.4	4325	0.46	579.2
1567	76.3	35.1	10.3	4.4	3.3	4325	0.47	579.2
1567	76.3	35.1	10.3	4.4	3.3	4325	0.47	579.2
1570	76.3	36.6	10.2	4.2	3.2	4331	0.49	594.7
1570	76.3	36.6	10.2	4.2	3.2	4331	0.48	594.7
1570	76.3	36.6	10.2	4.2	3.2	4331	0.48	594.7
1570	76.3	36.6	10.2	4.2	3.2	4331	0.48	594.7
1576	76.4	35.0	10.3	4.4	3.5	4335	0.45	583.4
1576	76.5	35.0	10.3	4.4	3.3	4337	0.47	583.5
1576	76.5	35.0	10.3	4.4	3.5	4337	0.45	583.5
1576	76.5	35.0	10.3	4.4	3.3	4337	0.47	583.5
1576	76.5	35.0	10.3	4.4	3.5	4337	0.45	583.5
1582	76.7	36.7	10.2	4.2	3.3	4354	0.47	596.8
1582	76.7	36.7	10.2	4.2	3.4	4354	0.46	596.8
1582	76.7	36.7	10.2	4.2	3.3	4354	0.47	596.8
1582	76.7	36.7	10.2	4.2	3.3	4354	0.47	596.8
1584	76.8	36.7	10.2	4.2	3.3	4357	0.47	597.9
1584	76.8	36.7	10.2	4.2	3.3	4357	0.48	597.9
1584	76.8	36.7	10.2	4.2	3.4	4357	0.45	597.9
1585	76.8	36.8	10.2	4.2	3.3	4359	0.48	598.0
1585	76.8	36.8	10.2	4.2	3.3	4359	0.47	598.0
1589	77.0	37.0	10.1	4.2	3.4	4366	0.46	599.8
1589	77.0	37.0	10.1	4.2	3.4	4366	0.46	599.8
1589	77.0	37.0	10.1	4.2	3.2	4366	0.48	599.8
1589	77.0	37.0	10.1	4.2	3.4	4366	0.46	599.8
1590	77.0	37.0	10.1	4.2	3.4	4369	0.46	600.4
1595	77.1	36.9	10.1	4.3	3.4	4374	0.47	601.1
1595	77.1	36.9	10.1	4.3	3.3	4374	0.48	601.1
1595	77.1	36.9	10.1	4.3	3.3	4374	0.48	601.1
1595	77.1	37.2	10.1	4.3	3.4	4377	0.46	601.4

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1242	65.1	31.5	9.0	4.4	3.3	3676	0.46	438.1
1242	65.1	31.5	9.0	4.4	3.1	3676	0.48	438.1
1246	65.2	31.6	9.0	4.4	3.3	3681	0.46	439.0
1246	65.2	31.6	9.0	4.4	3.2	3681	0.47	439.0
1246	65.2	31.6	9.0	4.4	3.3	3681	0.45	439.0
1247	65.3	32.4	9.5	4.0	3.1	3683	0.47	462.7
1247	65.3	31.6	9.0	4.4	3.3	3686	0.46	439.5
1247	65.3	31.6	9.0	4.4	3.1	3686	0.49	439.5
1247	65.3	31.6	9.0	4.4	3.3	3686	0.46	439.5
1251	65.5	31.5	9.1	4.4	3.1	3694	0.49	441.7
1255	65.6	31.7	9.5	4.2	3.2	3699	0.46	457.8
1256	65.6	30.0	10.0	4.2	3.2	3703	0.47	454.9
1256	65.6	30.0	10.0	4.2	3.2	3703	0.46	454.9
1256	65.6	30.0	10.0	4.2	3.2	3703	0.46	454.9
1256	65.6	30.0	10.0	4.2	3.2	3703	0.46	454.9
1257	65.7	30.0	10.0	4.2	3.2	3706	0.46	455.7
1257	65.7	30.0	10.0	4.2	3.2	3706	0.47	455.7
1257	65.7	30.0	10.0	4.2	3.2	3706	0.47	455.7
1259	65.7	30.0	10.0	4.2	3.2	3709	0.47	455.9
1259	65.7	30.0	10.0	4.2	3.2	3710	0.47	456.0
1259	65.7	30.0	10.0	4.2	3.2	3710	0.46	456.0
1265	65.9	32.4	9.6	4.1	3.1	3721	0.47	469.0
1265	65.9	32.4	9.6	4.1	3.1	3721	0.48	469.0
1265	65.9	32.4	9.6	4.1	3.2	3721	0.45	469.0
1270	66.1	32.5	9.6	4.1	3.1	3730	0.47	471.4
1274	66.2	32.4	9.6	4.1	3.1	3737	0.48	470.9
1274	66.2	32.4	9.6	4.1	3.2	3737	0.46	470.9
1278	66.2	31.3	10.0	4.1	3.2	3738	0.46	473.4
1281	66.2	32.5	9.6	4.1	3.1	3739	0.48	473.4
1282	66.2	32.4	9.6	4.1	3.1	3740	0.48	473.8
1282	66.2	32.4	9.6	4.1	3.1	3740	0.47	473.8
1282	66.2	32.4	9.6	4.1	3.2	3740	0.46	473.8
1282	66.2	32.4	9.6	4.1	3.1	3740	0.48	473.8
1283	66.5	32.4	9.7	4.1	3.1	3755	0.48	474.3
1283	66.5	32.4	9.7	4.1	3.1	3755	0.48	474.3
1283	66.5	32.4	9.7	4.1	3.2	3755	0.47	474.3
1283	66.5	32.4	9.7	4.1	3.1	3755	0.48	474.3
1288	66.7	31.3	10.1	4.1	3.2	3768	0.47	477.7
1288	66.7	31.3	10.1	4.1	3.3	3768	0.45	477.7
1292	66.9	31.7	10.0	4.1	3.2	3777	0.46	479.1
1294	66.9	31.5	10.0	4.1	3.2	3778	0.46	479.5
1295	67.0	31.6	10.0	4.1	3.2	3782	0.46	480.3
1305	67.3	32.0	9.8	4.2	3.2	3803	0.47	478.3
1305	67.3	32.0	9.8	4.2	3.3	3803	0.45	478.3
1306	67.3	32.3	9.9	4.1	3.1	3803	0.48	484.8
1306	67.3	32.3	9.9	4.1	3.1	3803	0.48	484.8
1306	67.3	32.4	9.8	4.1	3.1	3804	0.48	484.7
1306	67.3	32.4	9.8	4.1	3.1	3804	0.47	484.7
1306	67.3	32.4	9.8	4.1	3.2	3804	0.46	484.7
1306	67.3	32.4	9.8	4.1	3.3	3804	0.46	484.7
1306	67.3	32.4	9.8	4.1	3.1	3804	0.48	484.7
1306	67.3	32.4	9.8	4.1	3.3	3804	0.45	484.7

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1600	77.4	37.3	10.1	4.2	3.3	4390	0.48	604.9
1605	77.5	37.2	10.1	4.3	3.4	4400	0.47	605.8
1605	77.5	37.2	10.1	4.3	3.3	4400	0.47	605.8
1605	77.5	37.2	10.1	4.3	3.4	4400	0.46	605.8
1610	77.7	35.2	10.5	4.4	3.4	4409	0.46	597.2
1610	77.7	35.2	10.5	4.4	3.4	4409	0.46	597.2
1611	77.7	34.9	10.4	4.4	3.5	4412	0.45	592.6
1611	77.7	34.9	10.4	4.4	3.5	4412	0.46	592.6
1611	77.7	34.9	10.4	4.4	3.5	4412	0.45	592.6
1611	77.7	34.9	10.4	4.4	3.5	4412	0.46	592.6
1611	77.7	34.9	10.4	4.4	3.5	4412	0.46	592.6
1621	78.1	36.0	9.8	4.6	3.3	4432	0.48	582.1
1621	78.1	36.0	9.8	4.6	3.5	4432	0.46	582.1
1621	78.1	36.0	9.8	4.6	3.6	4432	0.45	582.1
1621	78.1	36.0	9.8	4.6	3.4	4432	0.48	582.1
1621	78.1	36.0	9.8	4.6	3.3	4432	0.48	582.1
1621	78.1	36.0	9.8	4.6	3.4	4432	0.47	582.1
1621	78.1	36.0	9.8	4.6	3.4	4432	0.48	582.1
1621	78.1	36.0	9.8	4.6	3.4	4432	0.48	582.1
1621	78.1	36.0	9.8	4.6	3.4	4432	0.48	582.1
1628	78.2	36.1	9.9	4.6	3.3	4438	0.48	587.4
1630	78.4	36.1	9.9	4.6	3.5	4449	0.46	587.7
1634	78.5	36.8	10.4	4.3	3.4	4458	0.47	617.3
1634	78.5	36.8	10.4	4.3	3.3	4458	0.47	617.3
1634	78.5	36.8	10.4	4.3	3.5	4458	0.46	617.3
1634	78.5	36.8	10.4	4.3	3.4	4458	0.47	617.3
1637	78.6	37.0	10.4	4.3	3.5	4460	0.46	619.4
1640	78.7	37.0	10.1	4.4	3.2	4470	0.50	606.8
1641	78.8	37.0	10.1	4.4	3.3	4473	0.48	607.5
1643	78.8	37.0	10.1	4.4	3.5	4477	0.45	607.8
1644	78.8	35.7	10.0	4.6	3.3	4477	0.48	588.1
1645	78.9	35.8	10.0	4.6	3.3	4480	0.48	590.1
1648	79.0	36.9	10.1	4.4	3.5	4486	0.45	608.4
1651	79.0	35.9	10.0	4.6	3.3	4487	0.48	592.0
1651	79.0	35.9	10.0	4.6	3.5	4487	0.46	592.0
1651	79.0	35.9	10.0	4.6	3.3	4487	0.49	592.0
1651	79.0	35.9	10.0	4.6	3.3	4487	0.49	592.0
1653	79.1	35.9	10.0	4.6	3.3	4492	0.48	593.2
1653	79.1	35.9	10.0	4.6	3.4	4492	0.47	593.2
1653	79.1	35.9	10.0	4.6	3.4	4492	0.47	593.2
1653	79.1	35.9	10.0	4.6	3.4	4492	0.48	593.2
1653	79.1	35.9	10.0	4.6	3.5	4492	0.47	593.2
1653	79.1	35.9	10.0	4.6	3.5	4492	0.46	593.2
1654	79.2	36.4	10.3	4.4	3.4	4495	0.47	614.8
1654	79.2	36.4	10.3	4.4	3.3	4495	0.48	614.8
1654	79.2	35.9	10.0	4.6	3.4	4498	0.47	593.5
1658	79.2	36.4	10.4	4.4	3.4	4500	0.47	616.6
1661	79.2	38.0	10.0	4.4	3.4	4500	0.46	621.9
1661	79.2	38.0	10.0	4.4	3.5	4500	0.46	621.9
1661	79.2	38.0	10.0	4.4	3.4	4500	0.47	621.9
1670	79.2	38.4	10.3	4.2	3.4	4500	0.47	638.4

Tabela A. 3.1 Soluções do processo de otimização para rebocadores com propulsão azimutal

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)	N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
862	47.6	23.7	9.0	4.1	2.6	2849	0.52	299.2	1260	64.7	30.7	9.0	4.6	3.2	4038	0.48	432.4
873	48.2	23.7	8.9	4.2	2.9	2894	0.48	299.6	1260	64.7	30.7	9.0	4.6	3.3	4038	0.47	432.4
873	48.2	23.7	8.9	4.2	2.9	2894	0.48	299.6	1260	64.7	30.7	9.0	4.6	3.2	4038	0.48	432.4
873	48.2	23.7	8.9	4.2	2.9	2894	0.48	299.6	1260	64.7	30.7	9.0	4.6	3.3	4038	0.46	432.4
873	48.2	23.7	8.9	4.2	2.8	2894	0.49	299.6	1260	64.7	30.7	9.0	4.6	3.2	4038	0.49	432.4
881	48.8	23.7	9.0	4.2	2.9	2935	0.48	302.8	1260	64.7	30.7	9.0	4.6	3.3	4038	0.46	432.4
881	48.8	23.7	9.0	4.2	2.8	2935	0.49	302.8	1260	64.7	30.7	9.0	4.6	3.3	4038	0.46	432.4
881	48.8	23.7	9.0	4.2	2.9	2935	0.48	302.8	1262	64.7	30.7	9.0	4.6	3.3	4039	0.46	432.7
881	48.8	23.7	9.0	4.2	2.6	2935	0.53	302.8	1271	64.9	29.9	9.2	4.6	3.4	4051	0.46	435.0
881	48.8	23.7	9.0	4.2	2.9	2935	0.49	302.8	1274	64.9	29.9	9.2	4.6	3.4	4053	0.46	435.6
881	48.8	23.7	9.0	4.2	2.9	2935	0.48	302.8	1274	64.9	29.9	9.2	4.6	3.3	4053	0.47	435.6
886	49.0	23.6	9.1	4.1	2.9	2948	0.47	306.3	1274	64.9	29.9	9.2	4.6	3.4	4053	0.46	435.8
899	49.3	23.3	9.4	4.1	2.9	2969	0.48	311.3	1277	65.0	30.0	9.2	4.6	3.4	4058	0.46	436.9
905	49.6	23.4	9.4	4.1	2.8	2986	0.51	313.6	1277	65.0	30.0	9.2	4.6	3.4	4058	0.45	436.9
912	50.3	23.7	9.4	4.1	2.9	3039	0.48	316.5	1277	65.0	30.0	9.2	4.6	3.4	4058	0.46	436.9
916	50.4	23.7	9.4	4.1	2.9	3046	0.48	317.7	1277	65.0	30.0	9.2	4.6	3.4	4058	0.46	436.9
916	50.4	23.7	9.4	4.1	2.9	3046	0.48	317.7	1281	65.0	30.0	9.2	4.6	3.4	4059	0.46	438.5
916	50.4	23.7	9.4	4.1	2.9	3046	0.48	317.7	1283	65.0	29.9	9.3	4.6	3.4	4060	0.45	439.2
916	50.4	23.7	9.4	4.1	3.0	3046	0.46	317.7	1283	65.0	29.9	9.3	4.6	3.3	4060	0.47	439.2
920	50.7	23.3	9.2	4.3	2.9	3065	0.49	312.1	1283	65.0	29.9	9.3	4.6	3.2	4060	0.48	439.2
922	50.8	23.2	9.7	4.1	2.9	3070	0.48	319.8	1285	65.0	29.9	9.9	4.3	3.3	4061	0.46	457.7
933	51.0	23.6	9.6	4.1	3.1	3084	0.46	324.0	1290	65.2	30.1	9.1	4.7	3.3	4071	0.47	436.3
933	51.0	23.6	9.6	4.1	2.9	3084	0.48	324.0	1290	65.2	30.1	9.1	4.7	3.3	4071	0.48	436.3
936	51.4	24.3	9.3	4.1	2.9	3116	0.48	325.4	1299	65.3	31.6	9.1	4.5	3.2	4080	0.47	450.3
938	51.5	23.5	9.7	4.1	2.9	3119	0.48	326.2	1299	65.3	31.6	9.1	4.5	3.2	4080	0.47	450.3
938	51.5	23.5	9.7	4.1	2.9	3119	0.48	326.2	1299	65.3	31.6	9.1	4.5	3.3	4080	0.46	450.3
941	51.6	23.6	9.7	4.1	3.0	3130	0.47	327.4	1299	65.3	31.6	9.1	4.5	3.2	4080	0.48	450.3
943	51.8	23.6	9.7	4.1	3.1	3141	0.45	328.0	1304	65.4	30.7	9.2	4.6	3.4	4084	0.46	447.9
948	52.0	23.7	9.7	4.1	2.9	3153	0.48	329.8	1304	65.4	30.7	9.2	4.6	3.4	4084	0.46	447.9
948	52.0	23.7	9.7	4.1	3.1	3153	0.46	329.8	1304	65.4	30.7	9.2	4.6	3.4	4084	0.46	447.9
948	52.0	23.7	9.7	4.1	2.9	3153	0.47	329.8	1304	65.4	30.7	9.2	4.6	3.4	4084	0.46	447.9
950	52.2	23.2	9.6	4.3	3.1	3167	0.46	324.8	1304	65.4	30.7	9.2	4.6	3.4	4084	0.45	447.9
950	52.2	23.2	9.6	4.3	3.1	3167	0.45	324.8	1304	65.4	30.7	9.2	4.6	3.4	4084	0.46	447.9
953	52.3	23.2	9.7	4.3	3.1	3175	0.46	325.7	1304	65.4	30.7	9.2	4.6	3.4	4084	0.45	447.9
953	52.3	23.2	9.7	4.3	3.0	3175	0.47	325.7	1305	65.4	30.6	9.2	4.6	3.3	4087	0.46	449.0
977	53.4	23.7	9.8	4.2	3.1	3251	0.45	337.5	1305	65.4	30.6	9.2	4.6	3.3	4087	0.46	449.0
977	53.4	23.7	9.8	4.2	3.1	3251	0.46	337.5	1311	65.5	30.6	9.1	4.7	3.4	4090	0.46	445.4
977	53.4	23.7	9.8	4.2	3.1	3251	0.45	337.5	1311	65.5	30.6	9.1	4.7	3.4	4090	0.45	445.4
977	53.4	23.7	9.8	4.2	3.1	3255	0.45	337.5	1311	65.5	30.6	9.1	4.7	3.3	4091	0.47	445.6
979	53.5	23.7	9.7	4.3	3.1	3259	0.46	334.8	1311	65.5	30.6	9.1	4.7	3.2	4091	0.48	445.6
979	53.5	23.7	9.7	4.3	3.1	3259	0.46	334.8	1313	65.5	30.7	9.1	4.7	3.3	4095	0.47	446.3
979	53.5	23.7	9.7	4.3	3.1	3259	0.46	334.8	1313	65.5	30.7	9.1	4.7	3.3	4095	0.48	446.3
979	53.5	23.7	9.7	4.3	2.9	3260	0.50	334.8	1313	65.5	30.7	9.1	4.7	3.4	4095	0.46	446.3
979	53.5	23.7	9.7	4.3	2.9	3260	0.49	334.8	1316	65.5	30.6	9.1	4.7	3.3	4096	0.47	446.8
979	53.5	23.7	9.7	4.3	3.1	3260	0.47	334.8	1316	65.5	30.6	9.1	4.7	3.3	4096	0.47	446.8
981	53.6	23.7	9.7	4.3	3.1	3268	0.46	335.3	1316	65.5	30.6	9.1	4.7	3.3	4096	0.47	446.8
981	53.6	23.7	9.7	4.3	3.1	3268	0.46	335.3	1319	65.6	29.9	9.3	4.7	3.3	4101	0.47	446.2
981	53.6	23.7	9.7	4.3	3.2	3268	0.45	335.3	1319	65.6	29.9	9.3	4.7	3.3	4101	0.47	446.2
981	53.6	23.7	9.7	4.3	3.2	3269	0.45	335.3	1332	65.8	31.2	9.1	4.7	3.4	4113	0.46	456.2
981	53.6	23.7	9.7	4.3	3.0	3269	0.48	335.3	1332	65.8	31.2	9.1	4.7	3.4	4113	0.46	456.2
986	53.8	23.9	9.8	4.2	2.9	3280	0.49	339.1	1332	65.8	31.2	9.1	4.7	3.4	4113	0.46	456.2
992	53.9	23.1	9.7	4.4	3.1	3289	0.47	332.9	1332	65.8	31.2	9.1	4.7	3.4	4113	0.46	456.2
992	53.9	23.1	9.7	4.4	3.1	3289	0.47	332.9	1333	65.8	31.2	9.1	4.7	3.4	4117	0.46	456.4
997	54.2	24.9	8.8	4.6	3.2	3311	0.45	329.2	1333	65.8	31.2	9.1	4.7	3.4	4117	0.46	456.4
997	54.2	24.9	8.8	4.6	3.2	3311	0.46	329.2	1334	65.8	31.6	9.1	4.7	3.3	4117	0.47	456.8

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
999	54.4	23.9	8.9	4.7	3.1	3323	0.48	326.1
999	54.5	23.9	8.9	4.7	3.2	3330	0.46	324.1
999	54.5	23.9	8.9	4.7	3.3	3330	0.46	324.1
999	54.5	23.9	8.9	4.7	3.3	3330	0.46	324.1
1005	54.8	23.9	8.9	4.7	3.2	3349	0.46	326.1
1006	54.9	23.9	8.9	4.7	3.2	3353	0.46	326.6
1006	54.9	23.9	8.9	4.7	3.2	3353	0.47	326.6
1006	54.9	23.9	8.9	4.7	3.2	3353	0.46	326.6
1007	54.9	23.9	8.9	4.7	3.2	3354	0.47	326.5
1008	54.9	23.5	9.3	4.6	3.2	3356	0.46	331.2
1009	54.9	23.5	9.9	4.3	3.2	3357	0.45	343.3
1010	54.9	23.5	9.9	4.3	3.1	3360	0.46	343.4
1011	55.0	23.5	9.9	4.3	3.2	3364	0.45	344.0
1011	55.1	23.5	9.9	4.3	3.1	3369	0.46	343.8
1012	55.1	23.8	9.8	4.3	3.2	3372	0.45	344.8
1012	55.1	23.8	9.8	4.3	3.0	3372	0.47	344.8
1012	55.1	23.8	9.8	4.3	2.9	3372	0.49	344.8
1012	55.1	23.8	9.8	4.3	3.0	3372	0.48	344.8
1012	55.1	23.8	9.8	4.3	3.1	3372	0.46	344.8
1012	55.2	23.9	9.0	4.7	3.3	3374	0.46	329.0
1012	55.2	23.9	9.0	4.7	3.2	3374	0.46	329.0
1016	55.2	24.1	8.9	4.7	3.2	3378	0.46	330.2
1016	55.3	24.1	8.9	4.7	3.2	3387	0.46	330.3
1017	55.3	24.1	8.9	4.7	3.2	3388	0.46	330.4
1018	55.4	23.6	8.9	4.8	3.3	3390	0.46	327.0
1020	55.4	23.5	9.8	4.4	3.1	3394	0.46	343.7
1020	55.4	23.5	9.8	4.4	3.2	3394	0.46	343.7
1020	55.4	23.5	9.8	4.4	3.1	3394	0.46	343.7
1020	55.4	23.5	9.8	4.4	3.1	3394	0.47	343.7
1020	55.4	23.5	9.8	4.4	3.0	3394	0.48	343.7
1020	55.4	23.5	9.8	4.4	3.1	3394	0.47	343.7
1020	55.4	23.5	9.8	4.4	3.1	3394	0.46	343.7
1021	55.5	23.3	10.0	4.4	3.1	3401	0.47	345.7
1021	55.5	23.3	10.0	4.4	3.1	3401	0.46	345.7
1021	55.5	23.3	10.0	4.4	3.0	3401	0.48	345.7
1021	55.5	23.3	10.0	4.4	3.0	3401	0.49	345.7
1025	55.7	23.3	10.0	4.4	3.1	3412	0.47	346.9
1025	55.7	23.3	10.0	4.4	3.1	3412	0.47	346.9
1025	55.7	23.3	10.0	4.4	3.2	3412	0.46	346.9
1027	55.8	22.6	9.3	4.9	3.3	3419	0.46	327.5
1031	56.0	22.5	9.3	4.9	3.3	3436	0.46	328.9
1031	56.0	22.5	9.3	4.9	3.3	3436	0.46	328.9
1031	56.0	22.5	9.3	4.9	3.3	3436	0.46	328.9
1031	56.0	22.5	9.3	4.9	3.4	3436	0.45	329.2
1031	56.0	22.5	9.3	4.9	3.3	3436	0.46	329.2
1031	56.0	22.5	9.3	4.9	3.3	3436	0.46	329.2
1031	56.0	22.5	9.3	4.9	3.3	3436	0.46	329.2
1033	56.2	22.6	9.3	4.9	3.3	3444	0.46	329.8
1036	56.3	23.3	9.1	4.9	3.4	3451	0.45	331.2
1036	56.3	23.3	9.1	4.9	3.3	3451	0.46	331.2
1036	56.3	23.3	9.1	4.9	3.3	3451	0.46	331.2
1037	56.3	23.3	9.1	4.9	3.4	3455	0.45	331.0
1041	56.4	23.3	9.1	4.9	3.3	3463	0.46	332.7
1041	56.5	23.3	9.1	4.9	3.3	3467	0.46	332.8
1041	56.5	23.3	9.1	4.9	3.4	3467	0.45	332.8
1043	56.6	23.3	9.1	4.9	3.4	3474	0.45	333.4

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1337	65.9	31.2	9.2	4.7	3.4	4118	0.46	457.9
1340	65.9	30.6	9.4	4.6	3.4	4119	0.46	461.6
1340	65.9	30.6	9.4	4.6	3.4	4121	0.46	461.6
1343	65.9	29.9	9.3	4.9	3.4	4124	0.46	449.3
1344	66.0	29.8	9.3	4.9	3.4	4125	0.46	448.9
1351	66.1	29.8	9.3	4.9	3.4	4135	0.47	451.0
1355	66.2	29.8	9.3	4.9	3.5	4139	0.46	452.3
1359	66.2	29.9	9.3	4.9	3.3	4144	0.48	453.6
1359	66.2	29.9	9.3	4.9	3.3	4144	0.48	453.6
1359	66.2	29.9	9.3	4.9	3.5	4144	0.45	453.6
1359	66.2	29.9	9.3	4.9	3.3	4144	0.48	453.6
1359	66.2	29.9	9.3	4.9	3.5	4144	0.46	453.6
1359	66.2	29.9	9.3	4.9	3.3	4144	0.48	453.6
1359	66.2	29.9	9.3	4.9	3.4	4144	0.46	453.6
1359	66.2	29.9	9.3	4.9	3.5	4144	0.45	453.6
1369	66.4	29.9	9.6	4.8	3.4	4154	0.46	464.7
1369	66.4	29.9	9.6	4.8	3.3	4154	0.48	464.7
1371	66.4	29.3	10.0	4.7	3.3	4156	0.48	471.7
1375	66.5	29.9	9.7	4.8	3.4	4161	0.46	467.3
1377	66.5	29.3	10.1	4.7	3.1	4161	0.51	474.4
1377	66.5	29.3	10.1	4.7	3.2	4161	0.49	474.4
1377	66.5	29.3	10.1	4.7	3.2	4161	0.50	474.4
1378	66.5	29.3	10.1	4.7	3.2	4161	0.50	474.7
1378	66.5	29.9	9.5	4.9	3.3	4164	0.48	462.9
1378	66.5	29.9	9.5	4.9	3.3	4164	0.48	463.0
1378	66.5	29.9	9.5	4.9	3.3	4164	0.48	463.0
1378	66.5	29.9	9.5	4.9	3.5	4164	0.46	463.0
1384	66.6	30.6	9.1	4.9	3.4	4169	0.48	460.5
1385	66.6	30.7	9.2	4.9	3.4	4170	0.47	462.0
1391	66.7	28.5	9.8	5.0	3.4	4177	0.47	461.0
1393	66.8	30.7	9.2	5.0	3.5	4181	0.46	463.4
1397	66.8	28.7	10.2	4.8	3.5	4185	0.45	473.8
1397	66.8	28.7	10.2	4.8	3.4	4185	0.47	473.8
1408	67.0	30.9	9.3	4.9	3.5	4194	0.46	471.4
1408	67.0	30.9	9.3	4.9	3.5	4194	0.46	471.4
1411	67.0	29.8	9.7	4.9	3.4	4196	0.47	473.8
1417	67.1	29.9	9.7	4.9	3.4	4202	0.47	476.0
1417	67.1	29.9	9.7	4.9	3.4	4202	0.47	476.0
1417	67.1	29.9	9.7	4.9	3.5	4205	0.46	477.6
1424	67.2	29.1	10.0	4.9	3.4	4213	0.47	478.7
1424	67.2	29.1	10.0	4.9	3.3	4213	0.48	478.7
1429	67.3	32.9	9.8	4.4	3.3	4217	0.47	512.4
1440	67.4	32.4	10.0	4.4	3.4	4222	0.46	517.1
1446	67.6	29.9	9.9	4.9	3.6	4237	0.45	487.1
1456	67.7	32.4	10.2	4.4	3.3	4248	0.46	523.2
1456	67.7	32.4	10.2	4.4	3.4	4248	0.46	523.2
1456	67.7	32.4	10.2	4.4	3.3	4248	0.46	523.2
1456	67.7	32.4	10.2	4.4	3.4	4248	0.45	523.2
1456	67.7	32.4	10.2	4.4	3.2	4248	0.48	523.2
1458	67.8	32.4	10.2	4.4	3.3	4249	0.46	523.9
1458	67.8	32.4	10.2	4.4	3.3	4249	0.48	523.9
1458	67.8	32.4	10.2	4.4	3.3	4249	0.47	523.9
1458	67.8	32.4	10.2	4.4	3.3	4249	0.47	523.9
1463	67.8	31.0	9.6	4.9	3.4	4253	0.47	494.4
1463	67.8	31.0	9.6	4.9	3.3	4253	0.48	494.4
1463	67.8	31.0	9.6	4.9	3.3	4253	0.49	494.4
1463	67.8	32.4	10.2	4.4	3.4	4255	0.46	526.3

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1043	56.6	23.3	9.1	4.9	3.4	3474	0.45	333.4
1043	56.6	23.3	9.1	4.9	3.4	3474	0.45	333.4
1043	56.6	23.3	9.1	4.9	3.3	3474	0.46	333.4
1049	56.9	22.9	9.3	4.9	3.4	3495	0.46	334.3
1049	56.9	22.9	9.3	4.9	3.3	3495	0.46	334.3
1049	56.9	22.9	9.3	4.9	3.4	3495	0.46	334.3
1054	57.1	24.8	9.0	4.7	3.2	3510	0.47	343.6
1054	57.1	24.8	9.0	4.7	3.2	3510	0.47	343.6
1054	57.1	24.8	9.0	4.7	3.3	3510	0.46	343.6
1058	57.3	23.2	9.3	4.9	3.4	3521	0.45	338.4
1060	57.4	23.0	9.3	4.9	3.4	3533	0.46	338.1
1060	57.4	23.0	9.3	4.9	3.4	3533	0.45	338.1
1060	57.4	23.0	9.3	4.9	3.4	3533	0.46	338.1
1062	57.5	22.5	9.6	4.9	3.3	3535	0.46	339.7
1062	57.5	22.5	9.6	4.9	3.3	3535	0.46	339.7
1062	57.5	22.5	9.6	4.9	3.3	3535	0.46	339.7
1064	57.6	22.9	9.5	4.9	3.4	3546	0.45	340.8
1065	57.6	23.0	9.5	4.9	3.4	3546	0.45	342.4
1065	57.6	23.0	9.5	4.9	3.4	3546	0.45	342.4
1066	57.7	23.0	9.5	4.9	3.4	3552	0.45	342.6
1066	57.7	23.0	9.5	4.9	3.4	3552	0.45	342.6
1072	57.8	25.5	9.2	4.6	3.2	3559	0.46	356.2
1072	57.8	25.5	9.2	4.6	3.2	3559	0.46	356.2
1072	57.8	25.5	9.2	4.6	3.2	3559	0.46	356.2
1072	57.8	25.5	9.2	4.6	3.3	3559	0.46	356.2
1074	58.1	23.2	9.4	4.9	3.4	3577	0.45	344.6
1078	58.3	23.2	9.5	4.9	3.3	3591	0.46	345.5
1081	58.4	23.4	9.4	4.9	3.4	3598	0.45	347.0
1081	58.4	23.4	9.4	4.9	3.3	3598	0.46	347.0
1081	58.4	23.4	9.4	4.9	3.4	3598	0.46	347.0
1081	58.4	23.4	9.4	4.9	3.4	3599	0.45	347.0
1081	58.5	23.8	9.3	4.9	3.3	3605	0.46	348.0
1081	58.5	23.8	9.3	4.9	3.3	3605	0.46	348.0
1081	58.5	23.8	9.3	4.9	3.4	3605	0.45	348.0
1086	58.6	24.1	9.2	4.9	3.3	3616	0.46	348.7
1087	58.7	24.0	9.2	4.9	3.3	3623	0.46	348.6
1094	59.1	23.8	9.3	4.9	3.4	3645	0.45	350.8
1094	59.1	23.8	9.3	4.9	3.4	3645	0.46	350.8
1094	59.1	23.7	9.4	4.9	3.4	3646	0.46	351.6
1094	59.1	23.7	9.4	4.9	3.3	3646	0.46	351.6
1094	59.1	23.7	9.4	4.9	3.4	3646	0.45	351.6
1095	59.1	23.7	9.4	4.9	3.4	3647	0.46	351.6
1095	59.1	23.7	9.4	4.9	3.4	3647	0.46	351.6
1095	59.1	23.7	9.4	4.9	3.3	3647	0.46	351.6
1096	59.2	24.1	9.4	4.8	3.4	3652	0.45	355.2
1096	59.2	24.1	9.4	4.8	3.4	3652	0.45	355.2
1099	59.3	25.8	9.5	4.5	3.3	3659	0.45	370.3
1100	59.4	23.8	9.3	4.9	3.4	3666	0.46	351.9
1100	59.4	23.8	9.3	4.9	3.4	3666	0.46	351.9
1100	59.4	23.8	9.3	4.9	3.4	3666	0.46	351.9
1101	59.4	23.8	9.3	4.9	3.4	3668	0.46	352.2
1101	59.4	23.8	9.3	4.9	3.4	3668	0.46	352.2
1101	59.4	23.8	9.3	4.9	3.4	3668	0.46	352.2
1101	59.4	23.8	9.3	4.9	3.4	3668	0.45	352.2
1101	59.4	23.8	9.3	4.9	3.4	3668	0.46	352.2
1101	59.4	23.8	9.3	4.9	3.4	3668	0.45	352.2
1104	59.5	24.3	9.3	4.9	3.4	3673	0.45	355.7

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1463	67.8	32.4	10.2	4.4	3.3	4255	0.47	526.3
1463	67.8	32.4	10.2	4.4	3.4	4255	0.45	526.3
1463	67.8	32.4	10.2	4.4	3.4	4255	0.46	526.3
1463	67.8	32.4	10.2	4.4	3.4	4255	0.46	526.3
1463	67.8	32.4	10.2	4.4	3.4	4255	0.45	526.3
1467	67.9	31.8	10.4	4.4	3.4	4256	0.46	528.3
1472	68.0	31.0	9.7	4.9	3.3	4263	0.49	496.4
1472	68.0	31.0	9.7	4.9	3.3	4263	0.49	496.4
1474	68.0	31.1	9.7	4.9	3.5	4266	0.46	496.7
1474	68.0	31.1	9.7	4.9	3.5	4266	0.46	496.7
1474	68.0	31.1	9.7	4.9	3.4	4266	0.47	496.7
1480	68.0	30.0	10.4	4.7	3.3	4269	0.49	511.4
1483	68.1	31.2	9.5	5.0	3.6	4276	0.45	495.2
1487	68.2	31.4	9.8	4.8	3.5	4280	0.46	507.5
1489	68.2	31.4	9.7	4.9	3.4	4281	0.47	502.9
1491	68.2	31.0	9.8	4.9	3.4	4283	0.47	504.3
1491	68.2	31.0	9.8	4.9	3.4	4283	0.47	504.3
1491	68.2	31.0	9.8	4.9	3.3	4283	0.48	504.3
1496	68.3	28.2	10.4	5.1	3.5	4288	0.47	494.8
1496	68.3	28.2	10.4	5.1	3.5	4288	0.46	494.8
1500	68.3	28.3	10.4	5.1	3.5	4288	0.47	496.5
1501	68.3	29.1	10.2	5.1	3.5	4289	0.47	497.1
1501	68.3	29.1	10.2	5.1	3.5	4289	0.47	497.1
1502	68.4	29.0	10.2	5.1	3.5	4296	0.47	496.2
1504	68.4	31.4	9.8	4.9	3.5	4296	0.46	510.1
1504	68.4	31.4	9.8	4.9	3.5	4296	0.46	510.1
1504	68.4	31.4	9.8	4.9	3.5	4296	0.46	510.1
1506	68.5	31.4	9.8	4.9	3.5	4298	0.46	510.6
1507	68.5	31.5	9.8	4.9	3.5	4300	0.46	511.2
1510	68.5	31.4	9.8	4.9	3.4	4304	0.47	511.4
1510	68.5	31.4	9.8	4.9	3.6	4304	0.45	511.4
1510	68.5	31.4	9.8	4.9	3.4	4304	0.48	511.4
1510	68.5	31.4	9.8	4.9	3.4	4304	0.48	511.4
1510	68.5	31.4	9.8	4.9	3.5	4304	0.47	511.4
1513	68.6	31.4	9.8	4.9	3.6	4308	0.45	511.6
1523	68.8	29.0	10.6	5.0	3.4	4318	0.48	512.6
1523	68.8	29.0	10.6	5.0	3.5	4318	0.47	512.6
1527	68.8	28.4	10.6	5.1	3.7	4322	0.45	507.8
1528	68.8	28.3	10.6	5.1	3.7	4324	0.45	507.9
1530	68.9	31.4	9.8	5.0	3.6	4326	0.46	514.7
1534	68.9	31.2	10.1	4.9	3.4	4327	0.48	521.9
1535	68.9	31.2	10.1	4.9	3.6	4327	0.45	522.1
1535	68.9	31.2	10.1	4.9	3.5	4327	0.46	522.1
1537	69.0	31.3	10.0	4.9	3.6	4333	0.45	522.9
1538	69.0	31.2	10.1	4.9	3.5	4335	0.46	523.4
1538	69.0	31.2	10.1	4.9	3.3	4335	0.49	523.4
1538	69.0	31.2	10.1	4.9	3.6	4335	0.45	523.4
1538	69.0	31.2	10.1	4.9	3.4	4335	0.48	523.4
1538	69.0	31.2	10.1	4.9	3.3	4335	0.49	523.4
1538	69.0	31.2	10.1	4.9	3.6	4335	0.45	523.4
1539	69.0	31.3	10.0	4.9	3.6	4335	0.45	523.6
1539	69.0	31.3	10.0	4.9	3.5	4335	0.47	523.6
1547	69.1	31.0	10.1	4.9	3.6	4341	0.46	523.4
1551	69.2	31.2	10.1	4.9	3.5	4348	0.46	527.5
1551	69.2	31.2	10.1	4.9	3.3	4348	0.49	527.5

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1104	59.5	24.3	9.3	4.9	3.4	3676	0.45	355.8
1105	59.6	24.4	9.3	4.9	3.4	3682	0.46	355.9
1107	59.6	24.4	9.3	4.9	3.4	3685	0.45	356.3
1107	59.6	24.4	9.3	4.9	3.4	3685	0.45	356.3
1111	59.9	24.3	9.3	4.9	3.4	3701	0.45	357.9
1112	59.9	23.0	9.9	4.9	3.3	3703	0.46	358.1
1113	60.0	23.1	9.9	4.9	3.4	3709	0.46	359.0
1113	60.0	23.1	9.9	4.9	3.4	3709	0.46	359.0
1122	60.4	24.8	9.3	4.9	3.3	3739	0.47	366.8
1122	60.4	24.8	9.3	4.9	3.3	3739	0.47	366.8
1124	60.5	24.8	9.3	4.9	3.3	3743	0.47	367.7
1124	60.5	25.6	9.0	4.9	3.3	3746	0.47	366.5
1125	60.5	23.8	9.5	4.9	3.4	3747	0.46	364.9
1125	60.5	23.8	9.5	4.9	3.4	3747	0.46	364.9
1125	60.5	23.8	9.5	4.9	3.4	3747	0.47	364.9
1129	60.7	24.9	9.3	4.9	3.4	3761	0.46	369.1
1129	60.7	24.9	9.3	4.9	3.3	3761	0.47	369.1
1129	60.8	24.9	9.3	4.9	3.3	3763	0.47	369.1
1130	60.8	25.6	9.2	4.8	3.3	3764	0.47	373.5
1132	60.8	25.7	9.2	4.8	3.3	3767	0.47	374.4
1134	60.9	23.7	9.8	4.9	3.4	3775	0.46	370.7
1134	60.9	23.7	9.8	4.9	3.3	3775	0.47	370.7
1134	60.9	23.7	9.8	4.9	3.4	3775	0.46	370.7
1134	60.9	23.7	9.8	4.9	3.4	3775	0.46	370.7
1134	61.0	26.0	8.9	4.9	3.3	3779	0.47	370.7
1134	61.0	26.0	8.9	4.9	3.4	3779	0.46	370.7
1134	61.0	26.0	8.9	4.9	3.4	3779	0.45	370.7
1134	61.0	26.0	8.9	4.9	3.4	3779	0.46	370.7
1134	61.0	26.0	8.9	4.9	3.4	3779	0.46	370.7
1134	61.0	26.0	8.9	4.9	3.4	3779	0.45	370.7
1134	61.0	26.0	8.9	4.9	3.4	3779	0.46	370.7
1134	61.0	26.0	8.9	4.9	3.4	3779	0.45	370.7
1139	61.1	23.7	9.8	4.9	3.4	3790	0.46	371.9
1139	61.1	23.7	9.8	4.9	3.4	3790	0.46	371.9
1139	61.1	23.7	9.8	4.9	3.4	3790	0.46	371.9
1141	61.3	24.3	9.9	4.8	3.2	3802	0.47	378.8
1144	61.4	24.3	9.9	4.8	3.4	3811	0.46	379.6
1144	61.4	24.3	9.9	4.8	3.3	3811	0.46	379.6
1144	61.4	24.3	9.9	4.8	3.3	3811	0.46	379.6
1144	61.5	25.6	9.3	4.8	3.3	3814	0.47	378.8
1146	61.5	25.7	9.3	4.8	3.3	3815	0.47	379.5
1150	61.5	25.7	9.5	4.7	3.3	3817	0.47	383.5
1150	61.5	25.7	9.5	4.7	3.3	3817	0.47	383.5
1150	61.7	25.9	9.4	4.7	3.3	3832	0.46	383.6
1150	61.7	25.9	9.4	4.7	3.3	3832	0.47	383.6
1150	61.7	25.9	9.4	4.7	3.3	3832	0.46	383.6
1150	61.7	25.9	9.4	4.7	3.3	3832	0.46	383.6
1150	61.7	25.9	9.4	4.7	3.3	3832	0.47	383.6
1150	61.7	25.9	9.4	4.7	3.3	3832	0.46	383.6
1154	61.9	25.7	9.2	4.9	3.4	3841	0.46	377.4
1158	61.9	25.7	9.2	4.9	3.4	3842	0.47	378.2
1164	62.4	24.8	9.5	4.9	3.4	3880	0.47	379.5
1164	62.4	24.8	9.5	4.9	3.4	3880	0.46	379.5
1166	62.5	26.0	9.1	4.9	3.4	3886	0.46	381.3
1167	62.6	24.9	9.5	4.9	3.4	3890	0.47	380.6
1167	62.6	24.9	9.5	4.9	3.4	3890	0.46	380.6
1167	62.6	24.9	9.5	4.9	3.3	3890	0.47	380.6

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1551	69.2	31.2	10.1	4.9	3.5	4348	0.47	527.5
1551	69.2	31.2	10.1	4.9	3.3	4348	0.49	527.5
1551	69.2	31.2	10.1	4.9	3.4	4348	0.48	527.5
1551	69.2	31.2	10.1	4.9	3.5	4348	0.47	527.5
1551	69.2	31.2	10.1	4.9	3.5	4348	0.47	527.5
1554	69.2	31.3	10.1	4.9	3.5	4351	0.46	528.5
1554	69.2	31.3	10.1	4.9	3.6	4351	0.46	528.5
1554	69.2	31.3	10.1	4.9	3.4	4351	0.47	528.5
1560	69.3	31.4	10.1	4.9	3.6	4356	0.46	530.9
1560	69.3	31.4	10.1	4.9	3.6	4356	0.46	531.2
1564	69.4	29.4	10.8	4.9	3.4	4362	0.49	530.6
1564	69.4	29.4	10.8	4.9	3.4	4362	0.48	530.6
1564	69.4	29.4	10.8	4.9	3.6	4362	0.45	530.6
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.5	4365	0.47	539.4
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.3	4365	0.49	539.4
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.4	4365	0.48	539.4
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.5	4365	0.46	539.6
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.5	4365	0.46	539.6
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.4	4365	0.48	539.6
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.5	4365	0.46	539.6
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.6	4365	0.46	539.6
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.5	4365	0.47	539.6
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.4	4365	0.47	539.6
1567	69.4	30.5	10.6	4.8	3.3	4365	0.49	539.6
1570	69.5	29.4	10.9	4.9	3.4	4369	0.47	534.5
1574	69.5	29.2	10.9	4.9	3.4	4372	0.48	534.6
1574	69.5	29.2	10.9	4.9	3.4	4372	0.48	534.6
1574	69.5	29.2	10.9	4.9	3.4	4372	0.48	534.6
1574	69.5	29.2	10.9	4.9	3.4	4372	0.48	534.6
1576	69.5	29.2	10.6	5.1	3.6	4374	0.45	526.2
1576	69.5	29.2	10.6	5.1	3.6	4374	0.46	526.2
1576	69.5	29.2	10.6	5.1	3.7	4374	0.45	526.2
1576	69.5	29.2	10.6	5.1	3.7	4374	0.45	526.2
1587	69.7	31.5	10.4	4.9	3.5	4381	0.46	545.1
1587	69.7	32.1	10.4	4.7	3.4	4386	0.48	554.2
1587	69.7	32.1	10.4	4.7	3.2	4386	0.50	554.2
1588	69.7	32.1	10.4	4.7	3.6	4386	0.45	554.4
1588	69.7	32.1	10.4	4.7	3.5	4386	0.46	554.4
1588	69.7	32.1	10.4	4.7	3.3	4386	0.48	554.4
1588	69.7	32.1	10.4	4.7	3.5	4386	0.47	554.4
1594	69.7	31.5	10.4	4.9	3.5	4387	0.46	548.0
1594	69.7	31.5	10.4	4.9	3.3	4387	0.49	548.0
1595	69.8	32.2	10.5	4.7	3.4	4392	0.48	557.4
1596	69.8	32.0	10.4	4.8	3.5	4393	0.46	553.6
1596	69.8	32.0	10.4	4.8	3.5	4393	0.46	553.6
1596	69.8	32.0	10.4	4.8	3.5	4393	0.46	553.6
1596	69.8	32.0	10.4	4.8	3.3	4393	0.49	553.6
1596	69.8	32.0	10.4	4.8	3.4	4393	0.48	553.6
1596	69.8	32.0	10.4	4.8	3.4	4393	0.48	553.8
1597	69.9	31.7	10.5	4.8	3.6	4396	0.45	552.5
1597	69.9	31.7	10.5	4.8	3.6	4397	0.45	552.8
1601	69.9	32.0	10.3	4.8	3.6	4401	0.45	552.1
1601	69.9	32.0	10.3	4.8	3.3	4401	0.50	552.1
1601	69.9	32.0	10.3	4.8	3.3	4401	0.50	552.1
1603	70.0	31.9	10.4	4.8	3.4	4403	0.48	555.0
1608	70.0	31.7	10.5	4.8	3.6	4404	0.45	556.2
1608	70.0	31.7	10.5	4.8	3.4	4404	0.48	556.2

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1174	62.9	26.0	9.3	4.8	3.3	3912	0.48	387.2
1174	62.9	26.0	9.3	4.8	3.3	3912	0.47	387.2
1174	62.9	26.0	9.3	4.8	3.3	3912	0.47	387.4
1174	62.9	26.0	9.3	4.8	3.4	3912	0.46	387.4
1176	63.0	26.1	9.3	4.8	3.4	3919	0.46	387.9
1176	63.0	26.1	9.3	4.8	3.3	3919	0.48	387.9
1176	63.0	26.1	9.3	4.8	3.3	3919	0.48	387.9
1177	63.0	25.7	9.3	4.9	3.4	3919	0.46	385.1
1177	63.0	25.7	9.3	4.9	3.4	3919	0.46	385.1
1179	63.1	27.7	9.2	4.6	3.3	3927	0.46	398.7
1179	63.1	27.7	9.2	4.6	3.4	3927	0.45	398.7
1179	63.1	27.7	9.2	4.6	3.4	3927	0.46	398.7
1183	63.2	27.8	9.2	4.6	3.4	3931	0.45	400.4
1183	63.3	25.6	9.4	4.9	3.4	3940	0.47	387.2
1186	63.5	25.7	9.4	4.9	3.4	3951	0.46	389.3
1186	63.5	25.7	9.4	4.9	3.3	3951	0.48	389.3
1189	63.6	26.2	9.3	4.9	3.4	3963	0.46	391.1
1189	63.6	26.2	9.3	4.9	3.3	3963	0.47	391.1
1189	63.6	26.2	9.3	4.9	3.4	3963	0.46	391.1
1192	63.7	26.0	9.4	4.9	3.4	3966	0.46	392.5
1195	63.7	25.9	9.4	4.9	3.4	3967	0.46	392.2
1205	63.8	26.0	9.5	4.9	3.3	3972	0.47	395.7
1206	63.8	26.0	9.5	4.9	3.3	3972	0.47	395.9
1207	63.9	26.0	9.5	4.9	3.4	3983	0.47	396.3
1217	64.1	29.2	9.1	4.6	3.3	3993	0.46	416.0
1217	64.1	29.2	9.1	4.6	3.4	3993	0.45	416.0
1219	64.1	29.3	9.1	4.6	3.3	3995	0.46	416.6
1220	64.1	26.2	9.5	4.9	3.4	3996	0.47	400.8
1223	64.2	27.2	9.8	4.6	3.3	4000	0.46	417.7
1223	64.2	27.2	9.8	4.6	3.1	4000	0.49	417.7
1223	64.2	27.2	9.8	4.6	3.2	4000	0.47	417.7
1223	64.2	27.2	9.8	4.6	3.1	4000	0.50	417.7
1227	64.2	27.3	9.8	4.6	3.2	4000	0.47	419.1
1227	64.2	27.3	9.8	4.6	3.2	4000	0.47	419.1
1231	64.3	27.4	9.8	4.6	3.1	4008	0.50	420.9
1231	64.3	27.4	9.8	4.6	3.2	4008	0.47	420.9
1233	64.3	29.5	9.0	4.7	3.4	4010	0.46	417.9
1233	64.3	29.5	9.0	4.7	3.1	4010	0.50	417.9
1233	64.3	29.5	9.0	4.7	3.4	4010	0.46	417.7
1233	64.3	29.5	9.0	4.7	3.3	4010	0.46	417.7
1233	64.3	29.5	9.0	4.7	3.4	4010	0.46	417.7
1234	64.3	29.5	9.0	4.7	3.4	4012	0.46	418.0
1234	64.3	29.5	9.0	4.7	3.3	4012	0.47	418.0
1234	64.3	29.5	9.0	4.7	3.4	4012	0.45	418.0
1237	64.4	29.5	8.9	4.7	3.3	4014	0.47	416.1
1238	64.4	29.5	8.9	4.7	3.3	4015	0.47	416.2
1238	64.4	29.5	8.9	4.7	3.2	4015	0.49	416.2
1238	64.4	29.5	8.9	4.7	3.3	4015	0.47	416.2
1238	64.4	29.5	8.9	4.7	3.2	4015	0.48	416.2
1245	64.5	30.3	8.8	4.7	3.3	4022	0.47	422.1
1246	64.5	29.8	9.0	4.7	3.1	4023	0.49	422.8
1248	64.5	29.6	8.9	4.7	3.3	4024	0.47	419.8
1248	64.5	29.6	8.9	4.7	3.3	4024	0.47	419.8
1249	64.6	30.3	8.8	4.7	3.2	4028	0.49	423.7
1249	64.6	30.3	8.8	4.7	3.1	4028	0.50	423.7
1249	64.6	30.3	8.8	4.7	3.2	4028	0.48	423.7
1249	64.6	30.3	8.8	4.7	3.4	4028	0.45	423.7

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1608	70.0	31.7	10.5	4.8	3.5	4404	0.47	556.2
1608	70.0	31.7	10.5	4.8	3.4	4404	0.48	556.2
1610	70.1	31.7	10.5	4.8	3.6	4410	0.45	558.0
1610	70.1	31.7	10.5	4.8	3.3	4410	0.50	558.0
1612	70.1	31.9	10.4	4.9	3.6	4413	0.46	555.9
1613	70.1	32.0	10.4	4.8	3.3	4413	0.50	557.1
1615	70.1	32.1	10.4	4.8	3.3	4414	0.49	558.0
1615	70.2	31.5	10.5	4.9	3.6	4417	0.45	555.7
1621	70.2	31.7	10.5	4.9	3.5	4418	0.46	557.2
1621	70.2	31.7	10.5	4.9	3.4	4418	0.48	557.2
1621	70.3	31.7	10.5	4.9	3.6	4423	0.46	557.7
1622	70.3	32.1	10.5	4.8	3.5	4424	0.46	562.9
1623	70.3	31.7	10.5	4.9	3.6	4424	0.46	557.9
1623	70.3	31.7	10.5	4.9	3.4	4424	0.49	557.9
1623	70.3	31.7	10.5	4.9	3.6	4424	0.46	557.9
1623	70.3	31.7	10.5	4.9	3.5	4424	0.46	557.9
1625	70.3	31.7	10.5	4.9	3.6	4425	0.46	558.2
1626	70.3	31.8	10.4	4.9	3.6	4428	0.46	557.8
1633	70.4	32.7	10.4	4.8	3.5	4435	0.47	567.5
1633	70.4	32.7	10.4	4.8	3.4	4435	0.48	567.5
1633	70.4	32.7	10.4	4.8	3.6	4436	0.46	567.6
1634	70.5	31.8	10.4	4.9	3.5	4436	0.47	558.8
1634	70.5	31.8	10.4	4.9	3.6	4436	0.46	558.8
1634	70.5	31.8	10.4	4.9	3.5	4436	0.47	558.8
1637	70.5	32.1	10.5	4.9	3.5	4437	0.46	565.8
1638	70.5	31.7	10.4	4.9	3.4	4441	0.49	560.4
1642	70.5	32.6	10.4	4.8	3.5	4443	0.46	570.9
1642	70.5	32.6	10.4	4.8	3.5	4443	0.46	570.9
1642	70.5	32.6	10.4	4.8	3.5	4443	0.47	570.9
1642	70.5	32.6	10.4	4.8	3.4	4443	0.48	570.9
1642	70.5	32.6	10.4	4.8	3.4	4443	0.48	570.9
1652	70.7	32.4	10.5	4.9	3.5	4456	0.47	571.2
1652	70.7	32.4	10.5	4.9	3.3	4456	0.49	571.2
1652	70.7	32.4	10.5	4.9	3.6	4456	0.46	571.3
1656	70.7	32.6	10.5	4.9	3.6	4456	0.46	574.6
1656	70.7	32.6	10.5	4.9	3.4	4456	0.48	574.6
1659	70.8	32.6	10.5	4.9	3.6	4457	0.46	574.3
1661	70.8	30.0	10.4	5.3	3.7	4459	0.45	544.7
1662	70.9	30.0	10.4	5.3	3.8	4466	0.45	544.8
1662	70.9	30.0	10.4	5.3	3.7	4466	0.46	544.8
1666	70.9	30.0	10.5	5.3	3.8	4471	0.45	546.4
1675	71.0	30.1	10.5	5.3	3.8	4476	0.45	550.3
1675	71.0	30.1	10.5	5.3	3.8	4476	0.45	550.3
1675	71.0	30.1	10.5	5.3	3.7	4476	0.45	550.3
1676	71.1	30.2	10.4	5.3	3.8	4481	0.45	550.2
1676	71.1	30.1	10.5	5.3	3.7	4481	0.46	549.9
1676	71.1	30.1	10.5	5.3	3.8	4481	0.45	549.9
1684	71.2	30.1	10.5	5.3	3.8	4490	0.45	552.1
1684	71.2	30.1	10.5	5.3	3.8	4490	0.45	552.1
1684	71.2	30.1	10.5	5.3	3.8	4490	0.45	552.1
1684	71.2	30.1	10.5	5.3	3.8	4490	0.45	552.1
1688	71.3	30.1	10.5	5.3	3.8	4494	0.45	553.7
1692	71.3	30.1	10.5	5.3	3.8	4496	0.45	554.3
1692	71.3	30.1	10.5	5.3	3.8	4496	0.45	554.4
1692	71.3	32.3	10.1	5.2	3.6	4498	0.46	565.7
1692	71.3	32.3	10.1	5.2	3.7	4498	0.45	565.7

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1252	64.6	30.3	8.8	4.7	3.4	4028	0.46	424.7
1257	64.7	30.5	8.8	4.7	3.2	4034	0.49	426.5
1257	64.7	30.5	8.8	4.7	3.2	4034	0.49	426.5
1257	64.7	30.5	8.8	4.7	3.3	4034	0.47	426.5
1257	64.7	30.5	8.8	4.7	3.2	4034	0.48	426.5
1257	64.7	30.5	8.8	4.7	3.2	4034	0.49	426.5
1257	64.7	30.5	8.8	4.7	3.1	4034	0.50	426.5
1257	64.7	30.5	8.8	4.7	3.1	4034	0.50	426.5

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1694	71.4	32.3	10.1	5.2	3.6	4500	0.46	566.2
1694	71.4	32.3	10.1	5.2	3.7	4500	0.46	566.2
1694	71.4	32.3	10.1	5.2	3.7	4500	0.46	566.2
1694	71.4	32.3	10.1	5.2	3.6	4500	0.47	566.2
1695	71.4	32.3	10.1	5.2	3.6	4500	0.47	566.8
1700	71.4	29.1	11.2	5.2	3.7	4500	0.46	565.3
1700	71.4	29.1	11.2	5.2	3.7	4500	0.46	565.3

Tabela A. 4.3 Soluções do processo de otimização para rebocadores com propulsão azimuthal e função combate incêndio

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)	N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
873	42.5	27.1	8.4	3.8	2.5	2493	0.53	314.0	1312	60.5	29.5	9.7	4.6	3.0	3744	0.52	453.8
873	42.5	27.1	8.4	3.8	2.5	2493	0.53	314.0	1312	60.5	29.5	9.7	4.6	3.1	3744	0.49	453.8
873	42.5	27.1	8.4	3.8	2.5	2493	0.53	314.0	1312	60.5	29.5	9.7	4.6	3.1	3744	0.49	453.8
873	42.5	27.1	8.4	3.8	2.5	2493	0.53	314.0	1312	60.5	29.5	9.7	4.6	3.4	3744	0.46	453.8
873	42.5	27.1	8.4	3.8	2.5	2493	0.54	314.0	1314	60.5	28.8	9.6	4.8	3.2	3747	0.49	443.8
876	42.6	27.1	8.4	3.8	2.5	2502	0.53	315.4	1314	60.5	28.8	9.6	4.8	3.2	3747	0.49	443.8
876	42.6	27.1	8.4	3.8	2.5	2502	0.53	315.4	1316	60.7	30.2	9.6	4.5	3.2	3758	0.49	458.6
876	42.6	27.1	8.4	3.8	2.5	2502	0.53	315.4	1316	60.7	30.2	9.6	4.5	3.4	3758	0.46	458.6
880	42.7	26.7	8.5	3.9	2.5	2509	0.54	314.3	1316	60.7	30.2	9.6	4.5	3.2	3758	0.48	458.6
880	42.7	26.7	8.5	3.9	2.5	2509	0.54	314.3	1317	60.8	28.5	9.8	4.7	3.4	3764	0.46	446.5
883	42.9	27.1	8.5	3.8	2.5	2521	0.54	317.5	1321	60.9	30.2	9.6	4.5	3.0	3772	0.51	460.4
883	42.9	27.1	8.5	3.8	2.5	2521	0.54	317.5	1321	60.9	30.2	9.6	4.5	3.2	3772	0.49	460.4
883	42.9	27.1	8.5	3.8	2.5	2521	0.54	317.5	1327	61.1	30.0	9.7	4.6	3.2	3789	0.48	459.2
883	42.9	27.1	8.5	3.8	2.5	2521	0.54	317.5	1330	61.2	29.9	9.7	4.6	3.2	3797	0.49	459.9
884	42.9	27.1	8.5	3.9	2.5	2523	0.54	317.4	1330	61.2	29.9	9.7	4.6	3.2	3797	0.48	459.9
884	42.9	27.1	8.5	3.9	2.5	2523	0.54	317.4	1330	61.2	29.9	9.7	4.6	3.1	3797	0.50	459.9
887	43.0	26.9	8.6	3.9	2.5	2532	0.54	318.5	1330	61.3	29.9	9.7	4.6	3.1	3798	0.50	459.9
887	43.0	26.9	8.6	3.9	2.5	2532	0.54	318.5	1331	61.3	29.0	9.5	4.8	3.2	3800	0.49	447.2
887	43.0	26.9	8.6	3.9	2.5	2532	0.53	318.5	1331	61.3	30.0	9.6	4.6	3.2	3803	0.49	459.4
887	43.0	26.9	8.6	3.9	2.5	2532	0.53	318.5	1331	61.3	30.0	9.6	4.6	3.2	3803	0.48	459.4
889	43.1	27.4	8.4	3.9	2.5	2536	0.53	318.6	1331	61.3	30.0	9.6	4.6	3.4	3803	0.46	459.4
889	43.1	27.4	8.4	3.9	2.5	2536	0.53	318.6	1333	61.4	30.1	9.6	4.6	3.2	3807	0.49	460.6
889	43.1	27.4	8.4	3.9	2.6	2536	0.53	318.6	1334	61.4	30.1	9.7	4.6	3.1	3811	0.49	461.3
889	43.1	27.4	8.4	3.9	2.5	2536	0.54	318.6	1334	61.4	30.1	9.7	4.6	3.2	3811	0.49	461.3
889	43.1	27.4	8.4	3.9	2.5	2536	0.53	318.6	1334	61.4	30.1	9.7	4.6	3.3	3811	0.47	461.3
889	43.1	27.4	8.4	3.9	2.5	2536	0.54	318.6	1335	61.4	30.0	9.7	4.6	3.2	3811	0.49	460.8
892	43.1	27.1	8.5	3.9	2.5	2537	0.54	318.6	1335	61.4	30.0	9.7	4.6	3.1	3811	0.50	460.8
893	43.3	27.1	8.5	3.9	2.5	2549	0.54	318.9	1335	61.4	30.0	9.7	4.6	3.1	3811	0.50	460.8
893	43.3	27.1	8.5	3.9	2.5	2549	0.54	318.9	1338	61.5	29.9	9.7	4.6	3.1	3815	0.49	461.4
893	43.3	27.1	8.5	3.9	2.5	2549	0.54	318.9	1338	61.5	29.9	9.7	4.6	3.2	3815	0.49	461.4
894	43.3	27.1	8.5	3.9	2.5	2552	0.54	319.1	1339	61.5	29.9	9.8	4.6	3.1	3816	0.50	464.2
896	43.3	27.0	8.6	3.9	2.5	2552	0.54	320.9	1339	61.5	29.9	9.8	4.6	3.2	3816	0.48	464.2
897	43.4	27.1	8.5	3.9	2.5	2558	0.54	319.7	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.3	3826	0.48	462.1
899	43.6	27.8	8.3	3.9	2.5	2569	0.54	320.8	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.3	3829	0.46	462.1
899	43.6	27.8	8.3	3.9	2.5	2569	0.54	320.8	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.1	3829	0.50	462.1
901	43.6	27.2	8.5	3.9	2.5	2572	0.54	321.5	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.3	3829	0.48	462.1
902	43.7	27.0	8.6	3.9	2.5	2577	0.54	323.3	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.3	3829	0.48	462.1
902	43.7	27.0	8.6	3.9	2.5	2577	0.54	323.3	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.3	3829	0.47	462.1
902	43.7	27.0	8.6	3.9	2.5	2577	0.54	323.3	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.2	3829	0.48	462.1
902	43.7	27.0	8.6	3.9	2.5	2577	0.54	323.3	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.3	3829	0.46	462.1
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.6	2590	0.53	319.7	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.3	3829	0.48	462.1
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.5	2590	0.55	319.7	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.2	3829	0.48	462.1
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.6	2590	0.53	319.9	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.4	3829	0.45	462.1
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.6	2590	0.53	319.9	1340	61.7	30.0	9.7	4.6	3.4	3829	0.46	462.1
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.5	2590	0.54	319.9	1346	61.9	29.9	9.8	4.6	3.3	3844	0.48	466.0
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.6	2590	0.53	319.9	1348	62.0	30.0	9.8	4.6	3.1	3849	0.50	466.6
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.6	2590	0.53	319.9	1348	62.0	30.0	9.8	4.6	3.3	3849	0.47	466.6
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.6	2590	0.53	319.9	1348	62.0	30.0	9.8	4.6	3.3	3849	0.47	466.6
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.6	2590	0.53	319.9	1348	62.0	30.0	9.8	4.6	3.0	3849	0.52	466.6
907	43.9	27.2	8.4	4.0	2.6	2590	0.53	319.9	1348	62.0	30.0	9.8	4.6	3.2	3849	0.49	466.6
910	44.0	28.8	8.6	3.7	2.6	2601	0.51	338.3	1355	62.0	32.0	9.8	4.3	3.1	3852	0.49	487.2
910	44.0	28.8	8.6	3.7	2.6	2601	0.51	338.3	1356	62.3	32.0	9.7	4.3	3.1	3871	0.49	487.1
912	44.0	28.8	8.6	3.7	2.6	2601	0.51	338.7	1356	62.3	32.0	9.7	4.3	2.9	3872	0.52	487.4
912	44.1	28.3	8.6	3.7	2.5	2604	0.54	335.0	1356	62.3	32.0	9.7	4.3	3.1	3872	0.49	487.4

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
912	44.1	28.3	8.6	3.7	2.5	2604	0.54	335.0
914	44.1	28.3	8.6	3.7	2.5	2607	0.54	335.9
914	44.1	28.3	8.6	3.7	2.5	2607	0.54	335.9
915	44.2	27.3	8.4	4.0	2.5	2613	0.55	322.2
919	44.3	27.0	8.8	3.9	2.6	2620	0.53	330.0
919	44.3	27.0	8.8	3.9	2.6	2620	0.52	330.0
919	44.3	27.0	8.8	3.9	2.6	2620	0.52	330.0
919	44.3	27.0	8.8	3.9	2.5	2620	0.54	330.0
919	44.3	27.0	8.8	3.9	2.6	2620	0.52	330.0
919	44.3	27.0	8.8	3.9	2.6	2623	0.53	330.2
919	44.3	27.0	8.8	3.9	2.6	2623	0.53	330.2
921	44.3	26.9	8.6	4.0	2.6	2623	0.54	325.3
922	44.5	26.9	8.6	4.0	2.6	2631	0.52	325.3
922	44.5	26.9	8.6	4.0	2.5	2631	0.54	325.3
922	44.5	26.9	8.6	4.0	2.5	2631	0.55	325.3
922	44.5	26.9	8.6	4.0	2.6	2631	0.54	325.3
922	44.5	26.9	8.6	4.0	2.6	2631	0.54	325.3
922	44.5	26.9	8.6	4.0	2.6	2631	0.54	325.3
922	44.5	26.9	8.6	4.0	2.6	2631	0.54	325.3
922	44.5	26.9	8.6	4.0	2.6	2632	0.54	325.3
922	44.5	27.0	8.6	4.0	2.5	2633	0.55	327.1
924	44.5	27.1	8.5	4.0	2.7	2636	0.51	326.8
924	44.5	27.1	8.5	4.0	2.6	2636	0.53	326.8
925	44.6	27.2	8.5	4.0	2.7	2640	0.51	327.4
925	44.6	27.2	8.5	4.0	2.7	2640	0.52	327.4
928	44.7	27.1	8.6	4.0	2.6	2647	0.54	327.7
928	44.7	27.1	8.6	4.0	2.6	2647	0.53	327.7
929	44.7	27.1	8.6	4.0	2.6	2650	0.53	327.7
929	44.7	27.1	8.6	4.0	2.6	2650	0.53	327.7
933	45.0	27.1	8.6	4.0	2.6	2666	0.53	329.8
933	45.0	27.1	8.6	4.0	2.6	2666	0.53	329.8
933	45.0	27.1	8.6	4.0	2.6	2666	0.53	329.8
935	45.0	27.2	8.5	4.1	2.7	2667	0.52	328.2
935	45.0	27.2	8.5	4.1	2.6	2667	0.53	328.2
937	45.0	27.2	8.5	4.1	2.6	2669	0.52	329.0
937	45.1	27.2	8.6	4.0	2.6	2674	0.53	331.5
937	45.1	27.2	8.6	4.0	2.6	2674	0.53	331.5
937	45.1	27.2	8.6	4.0	2.6	2674	0.53	331.5
937	45.1	27.2	8.6	4.0	2.6	2674	0.53	331.5
937	45.1	27.2	8.6	4.0	2.6	2674	0.53	331.5
937	45.1	27.2	8.6	4.0	2.6	2674	0.54	331.5
937	45.1	27.2	8.6	4.0	2.6	2674	0.54	331.5
937	45.1	27.2	8.6	4.0	2.6	2674	0.54	331.5
937	45.1	27.1	8.5	4.1	2.7	2678	0.52	329.1
937	45.1	27.1	8.5	4.1	2.5	2678	0.55	329.1
940	45.2	27.1	8.9	3.9	2.6	2680	0.52	338.9
943	45.2	27.4	8.6	4.0	2.6	2682	0.54	333.5
943	45.2	27.4	8.6	4.0	2.6	2682	0.54	333.5
943	45.2	27.4	8.6	4.0	2.5	2682	0.54	333.5
943	45.2	27.4	8.6	4.0	2.6	2682	0.54	333.5
948	45.3	27.6	8.6	4.0	2.5	2689	0.55	335.6
948	45.3	27.6	8.6	4.0	2.5	2689	0.55	335.6
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.6	2725	0.53	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.55	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.6	2725	0.53	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.54	345.0

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1356	62.3	32.0	9.7	4.3	3.0	3872	0.51	487.4
1357	62.3	32.0	9.7	4.3	3.1	3874	0.49	487.4
1363	62.6	32.0	9.7	4.4	2.8	3892	0.54	488.7
1363	62.6	32.0	9.7	4.4	2.9	3892	0.53	488.7
1363	62.6	32.0	9.7	4.4	2.9	3892	0.53	488.7
1363	62.6	32.0	9.7	4.4	2.9	3892	0.52	488.7
1364	62.7	31.7	9.8	4.4	2.8	3897	0.54	486.8
1364	62.7	31.7	9.8	4.4	3.0	3897	0.51	486.8
1368	62.7	32.0	9.7	4.4	2.9	3898	0.52	488.5
1374	62.7	32.9	9.6	4.4	3.4	3900	0.45	494.4
1375	63.1	32.0	9.7	4.4	2.8	3928	0.54	490.5
1375	63.1	32.0	9.7	4.4	2.9	3928	0.53	490.5
1375	63.1	32.0	9.7	4.4	2.8	3928	0.54	490.5
1378	63.2	32.0	9.7	4.4	2.8	3934	0.54	491.5
1378	63.2	32.0	9.7	4.4	3.0	3934	0.51	491.5
1380	63.3	32.0	9.8	4.4	3.2	3942	0.48	493.5
1380	63.3	32.0	9.8	4.4	3.2	3942	0.48	493.5
1381	63.3	32.0	9.8	4.4	3.2	3942	0.48	493.8
1381	63.3	32.0	9.8	4.4	3.1	3942	0.49	493.8
1381	63.3	32.0	9.8	4.4	3.1	3942	0.50	493.8
1382	63.4	32.0	9.8	4.4	3.1	3943	0.49	494.4
1382	63.4	32.0	9.8	4.4	2.9	3943	0.53	494.4
1382	63.4	32.0	9.8	4.4	3.4	3943	0.45	494.4
1387	63.6	31.1	9.7	4.6	3.1	3962	0.50	481.3
1387	63.6	31.1	9.7	4.6	3.1	3962	0.51	481.3
1387	63.6	31.1	9.7	4.6	3.1	3962	0.50	481.3
1387	63.6	31.1	9.7	4.6	3.5	3962	0.45	481.3
1387	63.6	31.1	9.7	4.6	3.1	3962	0.50	481.3
1387	63.6	31.1	9.7	4.6	3.1	3962	0.50	481.3
1388	63.7	31.1	9.7	4.6	3.1	3964	0.50	481.4
1389	63.7	31.1	9.7	4.6	3.1	3966	0.50	481.5
1389	63.7	31.1	9.7	4.6	3.3	3966	0.47	481.5
1403	64.3	32.0	9.7	4.5	3.0	4006	0.52	495.8
1403	64.3	32.0	9.7	4.5	3.2	4006	0.49	495.8
1403	64.3	32.0	9.7	4.5	3.1	4006	0.49	495.8
1403	64.3	32.0	9.7	4.5	3.2	4006	0.48	495.8
1403	64.3	32.0	9.7	4.5	3.2	4006	0.48	495.8
1403	64.3	32.0	9.7	4.5	3.2	4006	0.48	495.8
1403	64.3	32.0	9.7	4.5	3.2	4006	0.48	495.8
1403	64.3	32.0	9.7	4.5	3.4	4006	0.45	495.8
1403	64.3	32.0	9.7	4.5	3.1	4006	0.50	495.8
1404	64.3	32.0	9.7	4.5	3.4	4008	0.45	496.2
1404	64.3	32.0	9.7	4.5	3.3	4009	0.46	496.2
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	3.3	4009	0.47	496.3
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	3.1	4009	0.50	496.3
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	3.1	4009	0.51	496.3
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	3.4	4009	0.46	496.3
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	3.3	4012	0.47	496.6
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	3.3	4012	0.47	496.6
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	3.3	4012	0.47	496.6
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	3.2	4012	0.49	496.6
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	2.9	4012	0.53	496.6
1405	64.3	32.0	9.7	4.5	3.1	4012	0.51	496.6
1406	64.3	32.0	9.7	4.5	3.3	4013	0.46	497.0
1407	64.4	32.0	9.7	4.5	3.3	4019	0.47	496.9
1407	64.4	32.0	9.7	4.5	3.0	4019	0.51	496.9

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.7	2725	0.51	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.55	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.55	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.55	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.54	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.55	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.55	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.55	345.0
954	45.8	29.2	8.4	3.9	2.5	2725	0.55	345.0
955	45.8	28.5	8.4	4.0	2.6	2726	0.53	339.0
955	45.8	28.5	8.4	4.0	2.6	2726	0.54	339.0
956	45.9	28.5	8.4	4.0	2.6	2732	0.53	339.7
956	45.9	28.5	8.4	4.0	2.6	2732	0.53	339.7
956	45.9	28.5	8.4	4.0	2.6	2732	0.53	339.7
962	45.9	29.2	8.5	3.9	2.5	2734	0.55	348.3
964	46.2	28.8	8.4	4.0	2.5	2752	0.55	342.0
964	46.2	28.8	8.4	4.0	2.5	2752	0.55	342.0
964	46.2	28.8	8.4	4.0	2.5	2752	0.55	342.0
964	46.2	28.8	8.4	4.0	2.5	2752	0.55	342.0
964	46.2	28.8	8.4	4.0	2.5	2752	0.55	342.0
966	46.3	28.8	8.4	4.0	2.5	2756	0.55	342.3
969	46.4	28.4	8.6	4.0	2.5	2764	0.55	346.7
969	46.4	28.4	8.6	4.0	2.5	2764	0.55	346.7
970	46.4	28.8	8.4	4.0	2.6	2769	0.54	344.2
970	46.4	28.8	8.4	4.0	2.5	2769	0.55	344.2
970	46.4	28.8	8.4	4.0	2.5	2769	0.55	344.2
970	46.4	28.8	8.4	4.0	2.5	2769	0.55	344.2
971	46.5	28.8	8.5	4.0	2.6	2772	0.54	345.4
971	46.5	28.8	8.5	4.0	2.5	2772	0.55	345.4
971	46.5	28.8	8.5	4.0	2.6	2772	0.54	345.4
971	46.5	28.8	8.5	4.0	2.6	2772	0.53	345.4
971	46.5	28.8	8.5	4.0	2.6	2772	0.54	345.4
971	46.5	28.8	8.5	4.0	2.6	2772	0.54	345.4
971	46.5	28.8	8.5	4.0	2.6	2772	0.53	345.4
971	46.5	28.8	8.5	4.0	2.7	2772	0.51	345.4
971	46.5	28.8	8.5	4.0	2.7	2772	0.51	345.4
972	46.5	28.8	8.5	4.0	2.5	2773	0.55	345.8
972	46.5	28.8	8.5	4.0	2.6	2773	0.54	345.8
972	46.5	28.8	8.5	4.0	2.5	2773	0.54	345.8
972	46.5	28.8	8.5	4.0	2.5	2773	0.54	345.8
972	46.5	28.8	8.5	4.0	2.6	2773	0.54	345.8
972	46.5	28.8	8.5	4.0	2.6	2773	0.54	345.8
972	46.5	28.8	8.5	4.0	2.5	2773	0.55	345.8
976	46.7	28.8	8.5	4.0	2.5	2787	0.55	346.9
976	46.7	28.8	8.5	4.0	2.6	2787	0.54	346.9
976	46.7	28.8	8.5	4.0	2.5	2787	0.54	346.9
976	46.7	28.8	8.5	4.0	2.5	2787	0.55	346.9
978	46.8	28.5	8.6	4.0	2.5	2795	0.55	348.9
980	46.8	28.4	8.6	4.0	2.5	2796	0.54	348.9
982	46.9	28.5	8.6	4.0	2.6	2804	0.54	349.6
982	46.9	28.5	8.6	4.0	2.6	2804	0.54	349.6
982	46.9	28.5	8.6	4.0	2.6	2804	0.54	349.6
982	46.9	28.5	8.6	4.0	2.5	2804	0.55	349.6
982	46.9	28.5	8.6	4.0	2.6	2804	0.54	349.6
982	46.9	28.5	8.6	4.0	2.6	2804	0.54	349.6
982	46.9	28.5	8.6	4.0	2.6	2804	0.53	349.6
986	47.1	28.2	8.8	4.0	2.6	2815	0.53	351.9

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1407	64.4	32.0	9.7	4.5	3.4	4019	0.45	496.9
1407	64.4	32.0	9.7	4.5	3.4	4019	0.45	496.9
1409	64.4	32.0	9.4	4.7	3.3	4020	0.48	485.7
1410	64.5	32.0	9.4	4.7	3.2	4022	0.50	485.9
1410	64.5	32.0	9.4	4.7	3.2	4022	0.49	485.9
1410	64.5	32.0	9.4	4.7	3.1	4022	0.50	485.9
1410	64.5	32.0	9.4	4.7	3.2	4022	0.49	485.9
1410	64.5	32.0	9.4	4.7	3.2	4022	0.49	485.9
1410	64.5	32.0	9.4	4.7	3.3	4022	0.48	485.9
1410	64.5	32.0	9.4	4.7	3.3	4022	0.48	485.9
1410	64.5	32.0	9.4	4.7	3.4	4022	0.47	485.9
1411	64.5	32.0	9.4	4.7	3.2	4023	0.50	486.1
1411	64.5	32.0	9.4	4.7	3.2	4023	0.50	486.1
1413	64.6	32.1	9.8	4.5	3.4	4032	0.46	499.6
1413	64.6	32.1	9.8	4.5	3.0	4032	0.51	499.6
1415	64.7	33.0	9.7	4.4	3.2	4038	0.48	507.8
1415	64.7	32.0	9.9	4.5	3.2	4040	0.48	502.6
1419	64.9	32.0	9.9	4.5	3.4	4051	0.46	503.9
1420	65.0	32.0	9.5	4.7	3.2	4058	0.50	490.2
1420	65.0	32.0	9.5	4.7	3.1	4058	0.50	490.2
1420	65.0	32.0	9.5	4.7	3.2	4058	0.49	490.2
1423	65.1	32.1	9.5	4.7	3.3	4062	0.48	490.8
1424	65.1	32.0	9.5	4.7	3.3	4062	0.48	491.2
1425	65.1	32.1	9.5	4.7	3.3	4066	0.48	491.9
1425	65.1	32.1	9.5	4.7	3.3	4066	0.48	491.9
1425	65.1	32.1	9.5	4.7	3.4	4066	0.47	491.9
1425	65.1	32.1	9.5	4.7	3.3	4066	0.48	491.9
1426	65.2	31.8	9.5	4.7	3.2	4069	0.49	490.1
1429	65.3	32.0	9.9	4.5	3.2	4078	0.48	506.7
1429	65.3	32.0	9.9	4.5	3.3	4078	0.48	506.7
1429	65.3	32.0	9.9	4.5	3.4	4078	0.46	506.7
1429	65.3	33.4	9.7	4.4	3.4	4081	0.45	512.9
1433	65.5	32.4	9.9	4.5	3.3	4091	0.47	510.3
1434	65.5	31.9	9.9	4.5	3.1	4093	0.51	506.1
1436	65.6	33.5	9.7	4.4	3.3	4103	0.46	514.6
1436	65.6	33.5	9.7	4.4	3.3	4103	0.47	514.6
1445	65.7	32.4	10.0	4.5	3.3	4107	0.47	514.9
1445	65.7	32.4	10.0	4.5	3.1	4107	0.50	514.9
1447	66.1	33.3	10.0	4.4	3.3	4135	0.47	525.8
1449	66.2	33.4	10.0	4.4	3.2	4139	0.48	526.5
1450	66.2	33.4	10.0	4.4	3.2	4143	0.48	526.3
1451	66.2	33.3	10.0	4.4	3.2	4145	0.48	526.4
1451	66.2	33.3	10.0	4.4	3.4	4145	0.46	526.4
1454	66.3	33.4	9.7	4.5	3.4	4150	0.46	516.6
1454	66.3	33.4	9.7	4.5	3.4	4150	0.46	516.6
1455	66.4	33.4	9.7	4.5	3.4	4153	0.47	517.1
1455	66.4	33.4	9.7	4.5	3.3	4153	0.48	517.1
1455	66.4	33.4	9.7	4.5	3.3	4153	0.47	517.1
1456	66.4	32.4	9.9	4.5	3.3	4157	0.48	515.4
1458	66.5	32.4	9.9	4.5	3.3	4161	0.48	516.1
1458	66.5	32.4	9.9	4.5	3.1	4161	0.51	516.1
1460	66.6	33.2	9.5	4.6	3.4	4170	0.46	511.5
1460	66.6	33.2	9.5	4.6	3.4	4170	0.46	511.5
1460	66.6	33.2	9.5	4.6	3.4	4170	0.47	511.5
1463	66.7	33.1	9.6	4.6	3.2	4179	0.50	514.7
1463	66.7	33.1	9.6	4.6	3.0	4179	0.52	514.7
1463	66.7	33.1	9.6	4.6	3.3	4179	0.48	514.7

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
986	47.1	28.2	8.8	4.0	2.6	2815	0.54	351.9
986	47.1	28.2	8.8	4.0	2.6	2815	0.54	351.9
986	47.1	28.2	8.8	4.0	2.6	2815	0.54	351.9
986	47.1	28.2	8.8	4.0	2.6	2815	0.54	351.9
988	47.2	28.2	8.8	4.0	2.6	2822	0.53	352.3
991	47.2	28.2	8.8	4.0	2.6	2823	0.53	352.7
991	47.2	28.2	8.8	4.0	2.7	2823	0.51	352.7
991	47.3	28.2	8.8	4.0	2.7	2832	0.52	353.6
996	47.4	28.3	8.8	4.0	2.7	2835	0.52	355.1
996	47.5	28.3	8.8	4.0	2.7	2839	0.51	355.0
996	47.5	28.3	8.8	4.0	2.7	2839	0.52	355.0
997	47.6	28.4	8.8	4.0	2.6	2848	0.53	355.5
997	47.6	28.4	8.8	4.0	2.5	2848	0.55	355.5
997	47.6	28.4	8.8	4.0	2.6	2848	0.55	355.5
999	47.6	28.4	8.8	4.0	2.6	2848	0.53	356.0
999	47.6	28.4	8.8	4.0	2.6	2848	0.53	356.0
1002	47.8	28.5	8.8	4.0	2.6	2862	0.53	358.8
1002	47.8	28.5	8.8	4.0	2.5	2862	0.55	358.8
1002	47.8	28.5	8.8	4.0	2.8	2862	0.50	358.8
1002	47.8	28.5	8.8	4.0	2.6	2862	0.54	358.8
1002	47.8	28.5	8.8	4.0	2.5	2862	0.55	358.8
1002	47.8	28.5	8.8	4.0	2.5	2862	0.55	358.8
1002	47.8	28.5	8.8	4.0	2.6	2862	0.54	358.8
1002	47.8	28.5	8.8	4.0	2.6	2862	0.53	358.8
1002	47.8	28.5	8.8	4.0	2.6	2862	0.54	358.8
1008	48.0	28.3	8.9	4.0	2.6	2877	0.54	360.5
1008	48.0	28.3	8.9	4.0	2.6	2877	0.54	360.5
1009	48.0	28.3	8.9	4.0	2.6	2879	0.54	361.0
1010	48.1	30.1	8.6	3.9	2.7	2881	0.52	366.7
1011	48.1	28.3	8.9	4.0	2.6	2887	0.53	361.6
1011	48.1	28.3	8.9	4.0	2.6	2887	0.53	361.6
1011	48.1	28.3	8.9	4.0	2.6	2888	0.53	361.6
1011	48.1	28.3	8.9	4.0	2.6	2888	0.53	361.6
1011	48.1	28.3	8.9	4.0	2.8	2888	0.51	361.6
1011	48.1	28.3	8.9	4.0	2.6	2888	0.53	361.6
1013	48.2	28.4	8.9	4.0	2.7	2888	0.52	362.0
1013	48.2	28.5	8.9	4.0	2.6	2893	0.55	362.0
1013	48.2	28.5	8.9	4.0	2.6	2893	0.54	362.0
1013	48.2	28.5	8.9	4.0	2.6	2893	0.54	362.0
1013	48.2	28.5	8.9	4.0	2.6	2893	0.53	362.0
1013	48.2	28.5	8.9	4.0	2.6	2894	0.54	362.0
1013	48.2	28.5	8.9	4.0	2.6	2894	0.54	362.0
1017	48.3	28.5	8.9	4.0	2.7	2897	0.52	363.8
1018	48.3	28.5	8.9	4.0	2.7	2897	0.52	364.2
1019	48.4	28.5	9.0	4.0	2.6	2908	0.53	365.7
1019	48.4	28.5	9.0	4.0	2.7	2908	0.51	365.7
1019	48.4	28.5	9.0	4.0	2.7	2908	0.52	365.7
1019	48.4	28.5	9.0	4.0	2.7	2908	0.52	365.7
1019	48.4	28.5	9.0	4.0	2.7	2908	0.51	365.7
1019	48.4	28.5	9.0	4.0	2.6	2908	0.53	365.7
1021	48.6	28.6	8.9	4.0	2.6	2916	0.53	366.0
1021	48.6	28.6	8.9	4.0	2.7	2916	0.52	366.0
1021	48.6	28.6	8.9	4.0	2.7	2916	0.51	366.0
1030	48.6	28.9	8.9	4.0	2.6	2921	0.54	369.7
1030	48.6	28.9	8.9	4.0	2.6	2921	0.54	369.7
1030	48.6	28.9	8.9	4.0	2.6	2921	0.53	369.7

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1463	66.7	33.1	9.6	4.6	3.2	4179	0.49	514.7
1463	66.7	33.1	9.6	4.6	3.2	4179	0.49	514.7
1463	66.7	33.1	9.6	4.6	3.1	4179	0.51	514.7
1466	66.9	33.0	9.6	4.6	3.3	4188	0.48	514.0
1466	66.9	33.0	9.6	4.6	3.1	4188	0.50	514.0
1466	66.9	33.0	9.6	4.6	3.3	4188	0.47	514.0
1467	66.9	33.0	9.6	4.6	3.3	4191	0.48	514.3
1467	66.9	33.0	9.6	4.6	3.3	4191	0.48	514.3
1467	66.9	33.0	9.6	4.6	3.0	4191	0.52	514.3
1470	66.9	32.8	9.6	4.7	3.2	4193	0.49	511.9
1470	66.9	32.8	9.6	4.7	3.2	4193	0.49	511.9
1472	67.1	33.1	9.6	4.6	3.4	4202	0.46	516.6
1472	67.1	33.1	9.6	4.6	3.5	4202	0.46	516.6
1472	67.1	33.1	9.6	4.6	3.5	4202	0.45	516.6
1473	67.1	33.1	9.6	4.6	3.4	4206	0.47	516.6
1473	67.1	33.1	9.6	4.6	3.2	4206	0.49	516.6
1475	67.2	33.0	9.6	4.7	3.3	4212	0.47	514.5
1476	67.3	33.0	9.6	4.7	3.3	4217	0.47	515.1
1476	67.3	33.0	9.6	4.7	3.4	4217	0.47	515.1
1477	67.3	32.5	10.3	4.4	3.4	4220	0.46	532.7
1479	67.4	33.4	9.7	4.6	3.4	4225	0.47	521.2
1479	67.4	33.4	9.7	4.6	3.5	4225	0.46	521.2
1479	67.4	33.4	9.7	4.6	3.4	4225	0.46	521.2
1479	67.4	33.4	9.7	4.6	3.5	4225	0.45	521.2
1479	67.4	33.4	9.7	4.6	3.3	4225	0.48	521.2
1481	67.5	33.9	9.9	4.4	3.2	4229	0.49	534.4
1483	67.6	32.1	9.9	4.7	3.4	4236	0.47	515.8
1483	67.6	32.1	9.9	4.7	3.4	4236	0.47	515.8
1487	67.7	32.9	9.6	4.7	3.4	4247	0.47	515.4
1487	67.7	32.9	9.6	4.7	3.4	4247	0.47	515.4
1490	67.8	31.3	10.7	4.4	3.3	4252	0.48	537.3
1490	67.8	32.0	9.9	4.7	3.3	4253	0.48	516.2
1490	67.9	31.3	10.7	4.4	3.3	4257	0.47	537.6
1490	67.9	31.3	10.7	4.4	3.3	4257	0.47	537.6
1490	67.9	31.3	10.7	4.4	3.4	4257	0.46	537.6
1490	67.9	31.3	10.7	4.4	3.3	4257	0.48	537.6
1490	67.9	31.3	10.7	4.4	3.3	4257	0.48	537.6
1490	67.9	31.3	10.7	4.4	3.2	4257	0.49	537.6
1490	67.9	31.3	10.7	4.4	3.3	4257	0.48	537.6
1508	68.0	27.7	10.6	5.1	3.6	4269	0.46	496.8
1508	68.0	27.7	10.6	5.1	3.6	4269	0.46	496.8
1508	68.0	27.7	10.6	5.1	3.6	4269	0.46	496.8
1508	68.0	27.7	10.6	5.1	3.6	4269	0.46	496.8
1508	68.0	27.7	10.6	5.1	3.6	4269	0.46	496.8
1524	68.2	27.7	10.6	5.2	3.6	4278	0.46	499.6
1524	68.2	27.7	10.6	5.2	3.6	4278	0.46	499.6
1524	68.2	27.7	10.6	5.2	3.6	4278	0.46	499.6
1524	68.2	27.7	10.6	5.2	3.6	4278	0.46	499.6
1524	68.2	27.7	10.6	5.2	3.7	4278	0.45	499.6
1527	68.2	32.1	10.2	4.6	3.4	4281	0.47	537.1
1527	68.2	32.1	10.2	4.6	3.4	4281	0.47	537.1
1527	68.2	32.1	10.2	4.6	3.4	4281	0.46	537.1
1527	68.2	32.1	10.2	4.6	3.4	4281	0.47	537.1
1527	68.2	32.1	10.2	4.6	3.4	4281	0.47	537.1
1527	68.2	32.1	10.2	4.6	3.1	4281	0.51	537.1
1535	68.3	31.6	10.6	4.6	3.2	4288	0.49	544.0

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1030	48.9	29.9	8.7	3.9	2.6	2942	0.53	372.2
1030	48.9	29.9	8.7	3.9	2.7	2942	0.51	372.2
1030	48.9	29.9	8.7	3.9	2.5	2942	0.55	372.2
1037	49.1	30.1	8.7	3.9	2.6	2954	0.53	375.2
1037	49.1	30.1	8.7	3.9	2.5	2954	0.55	375.2
1037	49.1	30.1	8.7	3.9	2.7	2954	0.52	375.2
1040	49.2	30.1	8.9	3.9	2.6	2962	0.53	379.3
1040	49.2	30.1	8.9	3.9	2.7	2962	0.51	379.3
1041	49.4	29.3	8.9	4.0	2.6	2972	0.53	374.7
1041	49.4	29.3	8.9	4.0	2.6	2972	0.53	374.7
1041	49.4	29.3	8.9	4.0	2.6	2972	0.54	374.7
1041	49.4	29.3	8.9	4.0	2.6	2972	0.53	374.7
1041	49.4	29.3	8.9	4.0	2.6	2972	0.54	374.7
1041	49.4	29.3	8.9	4.0	2.6	2972	0.54	374.7
1041	49.4	29.3	8.9	4.0	2.6	2972	0.53	374.7
1044	49.4	29.7	8.9	4.0	2.8	2975	0.49	377.7
1052	49.8	28.5	8.9	4.1	2.7	3001	0.53	370.0
1053	49.8	28.4	9.0	4.1	2.7	3002	0.53	370.4
1059	50.0	29.7	8.9	4.0	2.7	3017	0.51	381.2
1060	50.1	29.9	8.9	4.0	2.7	3022	0.51	381.5
1060	50.1	29.9	8.9	4.0	2.7	3022	0.52	381.5
1060	50.1	29.9	8.9	4.0	2.8	3022	0.51	381.5
1062	50.2	29.8	8.9	4.0	2.7	3031	0.51	382.4
1068	50.2	29.8	9.0	4.0	2.7	3031	0.51	384.8
1070	50.6	30.2	8.9	4.0	2.6	3057	0.55	386.4
1080	51.0	30.3	8.9	4.0	2.6	3086	0.55	391.2
1080	51.0	30.3	8.9	4.0	2.6	3086	0.55	391.2
1083	51.0	30.3	8.9	4.0	2.6	3088	0.55	390.9
1084	51.1	30.3	8.9	4.0	2.6	3091	0.55	391.3
1085	51.2	30.3	8.9	4.0	2.6	3100	0.55	391.9
1087	51.3	30.4	8.9	4.0	2.6	3105	0.55	393.1
1087	51.3	30.4	8.9	4.0	2.6	3105	0.54	393.1
1087	51.3	30.4	8.9	4.0	2.6	3105	0.54	393.1
1087	51.3	30.4	8.9	4.0	2.6	3105	0.54	393.1
1087	51.3	30.4	8.9	4.0	2.6	3105	0.54	393.1
1087	51.3	30.4	8.9	4.0	2.6	3105	0.54	393.1
1087	51.3	30.4	8.9	4.0	2.6	3105	0.54	393.1
1087	51.3	30.4	8.9	4.0	2.6	3105	0.54	393.1
1087	51.3	30.4	8.9	4.0	3.1	3105	0.46	393.1
1093	51.5	30.2	9.1	4.0	2.7	3122	0.53	397.2
1093	51.5	30.2	9.1	4.0	2.7	3122	0.53	397.2
1099	51.7	30.1	9.1	4.0	2.7	3136	0.53	398.0
1119	52.3	29.3	8.4	4.5	3.1	3179	0.48	376.0
1125	52.9	29.9	9.0	4.2	2.9	3214	0.50	398.2
1125	52.9	29.9	9.0	4.2	3.1	3214	0.47	398.2
1125	52.9	29.9	9.0	4.2	3.2	3214	0.45	398.2
1133	53.0	30.2	9.8	3.8	2.9	3223	0.49	425.9
1139	53.2	30.3	9.8	3.8	2.9	3235	0.48	427.4
1141	53.5	30.2	9.8	3.8	2.9	3259	0.48	427.2
1148	53.6	30.2	9.3	4.1	2.9	3268	0.49	413.1
1160	53.8	30.2	9.8	3.9	2.9	3281	0.49	430.0
1162	54.4	27.8	9.3	4.5	3.0	3318	0.50	395.1
1162	54.4	27.8	9.3	4.5	2.9	3318	0.51	395.1
1173	54.8	27.9	9.3	4.5	2.9	3350	0.51	397.5
1175	54.9	31.8	9.7	3.8	3.1	3357	0.46	445.1
1181	55.1	31.4	9.8	3.8	3.1	3371	0.45	446.4
1183	55.2	27.0	9.7	4.5	2.9	3379	0.51	401.3

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1535	68.3	31.6	10.6	4.6	3.2	4288	0.49	544.0
1535	68.3	31.6	10.6	4.6	3.3	4288	0.48	544.0
1535	68.3	31.6	10.6	4.6	3.1	4288	0.51	544.0
1535	68.3	31.6	10.6	4.6	3.3	4288	0.48	544.0
1535	68.3	31.6	10.6	4.6	3.3	4288	0.49	544.0
1535	68.3	31.6	10.6	4.6	3.2	4288	0.50	544.0
1535	68.3	31.6	10.6	4.6	3.2	4288	0.50	544.0
1535	68.3	31.6	10.6	4.6	3.1	4288	0.51	544.0
1537	68.3	31.8	10.6	4.6	3.4	4289	0.47	546.1
1537	68.3	31.8	10.6	4.6	3.3	4289	0.49	546.1
1537	68.3	31.8	10.6	4.6	3.1	4289	0.50	546.1
1537	68.3	31.8	10.6	4.6	3.2	4289	0.50	546.1
1537	68.3	31.8	10.6	4.6	3.4	4289	0.46	546.1
1537	68.3	31.8	10.6	4.6	3.1	4289	0.51	546.1
1544	68.4	32.0	10.6	4.6	3.4	4294	0.46	550.3
1544	68.4	32.0	10.6	4.6	3.4	4294	0.46	550.3
1544	68.4	32.0	10.6	4.6	3.4	4294	0.47	550.3
1544	68.4	32.0	10.6	4.6	3.5	4294	0.46	550.3
1548	68.4	30.1	10.3	5.0	3.6	4297	0.46	519.9
1553	68.4	32.0	10.6	4.6	3.2	4297	0.50	551.8
1561	68.6	30.2	10.3	5.0	3.6	4306	0.46	524.9
1561	68.6	30.2	10.3	5.0	3.6	4306	0.46	524.9
1561	68.6	30.2	10.3	5.0	3.6	4306	0.45	524.9
1568	68.6	32.0	10.3	4.8	3.6	4311	0.45	544.2
1568	68.6	32.0	10.3	4.8	3.5	4311	0.47	544.2
1570	68.7	33.1	10.2	4.6	3.1	4313	0.51	555.9
1573	68.7	33.4	10.1	4.7	3.2	4314	0.50	555.0
1579	68.7	31.5	10.2	4.9	3.4	4316	0.48	540.5
1579	68.7	31.5	10.2	4.9	3.4	4316	0.48	540.5
1579	68.7	31.5	10.2	4.9	3.3	4316	0.49	540.5
1580	68.8	32.5	10.6	4.6	3.2	4319	0.50	563.4
1581	68.8	32.8	10.6	4.6	3.4	4319	0.46	565.9
1581	68.8	32.8	10.8	4.4	3.3	4320	0.48	576.9
1582	68.8	32.8	10.8	4.4	3.2	4320	0.49	577.0
1593	68.9	31.8	10.7	4.7	3.1	4328	0.52	562.2
1598	68.9	31.8	10.7	4.7	3.4	4329	0.47	563.5
1598	68.9	31.8	10.7	4.7	3.5	4329	0.46	563.5
1598	68.9	31.8	10.7	4.7	3.2	4329	0.50	563.5
1598	68.9	31.8	10.7	4.7	3.5	4329	0.46	563.5
1610	69.1	31.6	10.4	4.9	3.4	4342	0.48	551.6
1617	69.1	31.5	10.4	4.9	3.5	4345	0.48	551.9
1617	69.1	31.5	10.4	4.9	3.5	4345	0.48	551.9
1617	69.1	31.5	10.4	4.9	3.5	4345	0.47	551.9
1617	69.1	31.5	10.4	4.9	3.4	4345	0.49	551.9
1621	69.2	32.4	10.4	4.8	3.5	4348	0.46	563.0
1623	69.2	32.4	10.4	4.8	3.5	4351	0.46	563.5
1623	69.2	32.4	10.4	4.8	3.6	4351	0.45	563.5
1628	69.3	32.0	10.4	4.9	3.4	4353	0.49	558.8
1628	69.3	32.0	10.4	4.9	3.4	4353	0.48	558.8
1640	69.3	33.6	9.8	5.0	3.6	4355	0.46	559.9
1640	69.3	33.6	9.8	5.0	3.6	4355	0.45	559.9
1640	69.3	33.6	9.8	5.0	3.6	4356	0.46	559.9
1640	69.4	33.7	9.8	5.0	3.7	4362	0.45	560.1
1640	69.4	33.7	9.8	5.0	3.6	4362	0.46	560.1
1640	69.4	33.7	9.8	5.0	3.4	4362	0.48	560.1
1640	69.4	33.7	9.8	5.0	3.5	4362	0.47	560.1

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1194	55.6	27.9	9.5	4.5	3.0	3408	0.51	405.3
1195	55.6	27.9	9.5	4.5	2.9	3408	0.51	406.0
1195	55.6	27.9	9.5	4.5	3.3	3408	0.46	406.0
1195	55.6	27.9	9.5	4.5	3.0	3408	0.51	406.0
1195	55.6	27.9	9.5	4.5	3.3	3409	0.45	406.0
1196	55.8	28.0	9.5	4.5	3.0	3416	0.50	406.9
1196	55.8	28.0	9.5	4.5	3.0	3416	0.50	406.9
1199	55.9	28.0	9.5	4.5	3.1	3424	0.48	407.5
1199	55.9	28.0	9.5	4.5	3.3	3424	0.46	407.5
1199	55.9	28.0	9.5	4.5	3.3	3424	0.46	407.5
1203	56.1	29.2	9.5	4.4	3.0	3438	0.49	418.6
1203	56.1	29.2	9.5	4.4	2.9	3438	0.51	418.6
1206	56.2	29.2	9.5	4.4	3.1	3444	0.48	419.1
1206	56.2	29.2	9.5	4.4	3.1	3444	0.48	419.1
1206	56.2	29.2	9.5	4.4	3.0	3444	0.49	419.1
1207	56.2	29.2	9.5	4.4	3.2	3447	0.47	419.4
1209	56.3	32.1	9.7	3.9	3.0	3451	0.47	455.1
1209	56.3	32.1	9.7	3.9	2.9	3451	0.49	455.1
1210	56.3	32.1	9.7	3.9	3.0	3454	0.47	455.5
1210	56.3	32.1	9.7	3.9	2.9	3454	0.49	455.5
1210	56.3	32.1	9.7	3.9	2.9	3454	0.49	455.5
1211	56.3	32.1	9.7	3.9	2.9	3454	0.49	455.6
1212	56.3	32.1	9.7	3.9	2.9	3455	0.49	455.8
1213	56.4	32.0	9.7	3.9	3.0	3463	0.48	454.5
1213	56.4	32.0	9.7	3.9	3.1	3463	0.45	454.5
1215	56.5	31.9	9.7	3.9	3.2	3471	0.45	455.3
1215	56.5	31.9	9.7	3.9	2.9	3471	0.49	455.3
1219	56.7	32.4	9.7	3.9	3.0	3480	0.47	460.2
1220	56.7	32.4	9.7	3.9	3.0	3484	0.47	460.5
1220	56.7	32.4	9.7	3.9	2.9	3484	0.49	460.5
1220	56.7	32.4	9.7	3.9	3.0	3484	0.47	460.5
1220	56.7	32.4	9.7	3.9	3.1	3484	0.46	460.5
1220	56.7	32.4	9.7	3.9	2.9	3484	0.49	460.5
1220	56.7	32.4	9.7	3.9	3.1	3484	0.46	460.5
1220	56.7	32.4	9.7	3.9	2.9	3484	0.50	460.5
1228	57.1	31.9	9.7	4.0	3.2	3507	0.46	457.6
1228	57.1	31.9	9.7	4.0	3.2	3507	0.45	457.6
1229	57.1	27.9	9.5	4.7	3.1	3512	0.50	412.6
1231	57.2	27.6	9.7	4.6	3.1	3515	0.48	415.2
1231	57.2	27.6	9.7	4.6	3.2	3515	0.47	415.2
1233	57.3	28.0	9.5	4.7	3.3	3522	0.46	414.1
1235	57.4	28.0	9.5	4.7	3.2	3527	0.48	414.3
1235	57.4	28.0	9.5	4.7	3.1	3527	0.49	414.3
1235	57.4	28.0	9.5	4.7	3.3	3527	0.47	414.3
1235	57.4	28.0	9.5	4.7	3.3	3527	0.47	414.3
1235	57.4	28.0	9.5	4.7	3.3	3527	0.46	414.3
1235	57.4	28.0	9.5	4.7	3.1	3527	0.49	414.3
1235	57.4	28.0	9.5	4.7	3.2	3527	0.47	414.3
1239	57.5	27.4	9.8	4.6	3.2	3540	0.48	417.9
1243	57.6	28.8	9.3	4.6	3.2	3546	0.48	419.2
1243	57.6	28.8	9.3	4.6	3.2	3546	0.47	419.2
1250	58.0	32.9	9.7	3.9	3.2	3570	0.45	472.2
1253	58.1	33.0	9.7	3.9	3.2	3579	0.45	473.2
1261	58.4	33.0	9.7	3.9	3.2	3601	0.46	474.7
1265	58.6	33.0	9.7	3.9	2.9	3613	0.50	475.4
1268	58.7	33.2	9.7	3.9	3.1	3620	0.46	478.7
1268	58.7	33.2	9.7	3.9	3.2	3620	0.45	478.7

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1649	69.5	33.7	9.9	5.0	3.7	4369	0.45	563.5
1649	69.5	33.7	9.9	5.0	3.7	4369	0.45	563.5
1649	69.5	33.7	9.9	5.0	3.5	4369	0.48	563.5
1649	69.5	33.7	9.9	5.0	3.4	4369	0.49	563.5
1649	69.5	33.7	9.9	5.0	3.7	4369	0.45	563.5
1649	69.5	33.7	9.9	5.0	3.6	4369	0.45	563.5
1659	69.6	33.7	9.9	5.0	3.6	4376	0.46	567.4
1659	69.6	33.7	9.9	5.0	3.5	4376	0.48	567.4
1659	69.6	33.7	9.9	5.0	3.5	4376	0.47	567.4
1659	69.6	33.7	9.9	5.0	3.6	4376	0.46	567.4
1671	69.7	33.7	9.8	5.0	3.6	4385	0.46	567.1
1671	69.7	33.7	9.8	5.0	3.6	4385	0.46	567.1
1684	69.8	31.8	10.2	5.2	3.6	4393	0.47	562.4
1684	69.8	31.8	10.2	5.2	3.6	4393	0.47	562.4
1684	69.8	31.8	10.2	5.2	3.7	4393	0.45	562.4
1694	69.9	33.3	9.6	5.3	3.8	4397	0.45	558.5
1694	69.9	33.3	9.6	5.3	3.7	4397	0.46	558.5
1694	69.9	33.2	9.7	5.3	3.7	4401	0.45	560.1
1697	70.0	33.2	9.7	5.3	3.7	4403	0.45	561.2
1698	70.0	32.4	9.9	5.3	3.8	4403	0.45	561.3
1699	70.0	32.8	9.8	5.3	3.8	4403	0.45	561.7
1706	70.1	34.2	10.4	4.8	3.6	4410	0.46	598.8
1706	70.1	34.2	10.4	4.8	3.6	4410	0.46	598.8
1706	70.1	34.2	10.4	4.8	3.4	4410	0.48	598.8
1706	70.1	34.2	10.4	4.8	3.4	4410	0.49	598.8
1709	70.1	34.5	10.4	4.7	3.3	4411	0.49	605.9
1709	70.1	34.5	10.4	4.7	3.4	4411	0.49	605.9
1709	70.1	34.5	10.4	4.7	3.5	4411	0.47	605.9
1709	70.1	34.5	10.4	4.7	3.3	4411	0.50	605.9
1716	70.1	33.2	9.8	5.3	3.8	4413	0.45	568.7
1719	70.2	34.8	10.4	4.7	3.3	4419	0.49	610.2
1719	70.2	34.8	10.4	4.7	3.3	4419	0.50	610.2
1719	70.2	34.8	10.4	4.7	3.4	4419	0.48	610.2
1719	70.2	34.8	10.4	4.7	3.4	4419	0.48	610.2
1719	70.2	34.8	10.4	4.7	3.5	4419	0.47	610.2
1719	70.2	34.8	10.4	4.7	3.3	4419	0.50	610.2
1719	70.2	34.8	10.4	4.7	3.4	4419	0.48	610.2
1719	70.2	34.8	10.4	4.7	3.5	4419	0.47	610.2
1727	70.3	34.2	10.2	5.0	3.7	4425	0.46	595.4
1727	70.3	34.2	10.2	5.0	3.7	4425	0.46	595.4
1737	70.3	34.4	10.2	5.0	3.6	4427	0.47	599.3
1737	70.3	34.4	10.2	5.0	3.5	4427	0.48	599.3
1737	70.3	34.4	10.2	5.0	3.4	4427	0.49	599.3
1740	70.4	34.2	10.4	4.9	3.4	4434	0.49	606.0
1740	70.4	34.2	10.4	4.9	3.5	4434	0.48	606.0
1740	70.4	34.2	10.4	4.9	3.4	4434	0.48	606.0
1740	70.4	34.2	10.4	4.9	3.4	4434	0.50	606.0
1740	70.4	34.2	10.4	4.9	3.4	4434	0.48	606.0
1744	70.4	33.2	9.9	5.3	3.8	4434	0.46	577.9
1744	70.4	33.2	9.9	5.3	3.7	4434	0.46	577.9
1750	70.5	32.9	10.1	5.3	3.8	4438	0.45	581.9
1751	70.5	32.9	10.1	5.3	3.8	4439	0.45	582.4
1751	70.5	32.9	10.1	5.3	3.7	4439	0.46	582.4
1751	70.5	33.7	10.3	5.1	3.6	4440	0.46	597.1

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1268	58.7	33.2	9.7	3.9	3.0	3620	0.47	478.7
1268	58.7	33.2	9.7	3.9	3.1	3620	0.47	478.7
1268	58.7	33.2	9.7	3.9	3.1	3620	0.47	478.7
1272	58.9	28.8	9.5	4.7	3.1	3632	0.50	429.0
1272	58.9	28.8	9.5	4.7	3.1	3632	0.49	429.0
1272	58.9	28.8	9.5	4.7	3.3	3632	0.47	429.0
1274	59.0	28.8	9.5	4.7	3.1	3640	0.50	429.4
1274	59.0	28.8	9.5	4.7	3.2	3640	0.47	429.4
1274	59.0	28.8	9.5	4.7	3.1	3640	0.50	429.4
1274	59.0	28.8	9.5	4.7	3.3	3640	0.46	429.4
1276	59.0	28.8	9.3	4.7	3.2	3644	0.49	425.4
1278	59.1	33.2	9.7	3.9	2.9	3649	0.50	480.7
1281	59.2	28.8	9.3	4.8	3.2	3656	0.48	426.7
1281	59.2	28.8	9.3	4.8	3.2	3657	0.48	426.7
1281	59.2	28.8	9.3	4.8	3.2	3657	0.48	426.7
1281	59.2	28.8	9.3	4.8	3.2	3657	0.48	426.7
1281	59.2	28.8	9.3	4.8	3.4	3657	0.45	426.7
1281	59.2	28.8	9.3	4.8	3.4	3657	0.46	426.7
1284	59.3	27.8	9.8	4.7	3.3	3664	0.47	430.2
1286	59.5	29.0	9.5	4.7	3.3	3674	0.46	434.5
1286	59.5	29.0	9.5	4.7	3.2	3674	0.48	434.5
1291	59.6	28.8	9.4	4.8	3.2	3686	0.49	430.5
1291	59.6	28.8	9.4	4.8	3.2	3686	0.48	430.5
1291	59.7	28.8	9.4	4.8	3.2	3687	0.49	430.6
1291	59.7	28.8	9.4	4.8	3.2	3687	0.49	430.6
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.2	3707	0.48	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.1	3707	0.50	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.2	3707	0.49	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.2	3707	0.49	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.1	3707	0.49	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.2	3707	0.48	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.1	3707	0.50	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.2	3707	0.48	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.2	3707	0.48	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.2	3707	0.49	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.1	3707	0.50	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.3	3707	0.46	437.7
1298	59.9	28.5	9.7	4.7	3.3	3707	0.46	437.7
1299	60.0	28.3	9.7	4.7	3.2	3708	0.48	435.7
1299	60.0	28.3	9.7	4.7	3.1	3708	0.49	435.7
1301	60.0	28.4	9.7	4.7	3.2	3711	0.48	436.6
1301	60.0	28.4	9.7	4.7	3.2	3711	0.49	436.6
1301	60.0	28.4	9.7	4.7	3.1	3711	0.49	436.6
1301	60.0	28.4	9.7	4.7	3.3	3711	0.47	436.6
1308	60.3	27.6	10.7	4.4	3.4	3730	0.45	460.9
1308	60.4	29.4	9.7	4.6	3.1	3735	0.49	452.4
1312	60.5	29.5	9.7	4.6	3.2	3744	0.48	453.8

N3(m3)	BP (t)	L(m)	B(m)	D(m)	T(m)	P (kw)	CB	Δ (t)
1751	70.5	33.7	10.3	5.1	3.7	4440	0.45	597.1
1751	70.5	33.7	10.3	5.1	3.7	4440	0.46	597.1
1751	70.5	33.7	10.3	5.1	3.7	4440	0.46	597.1
1751	70.5	33.7	10.3	5.1	3.7	4440	0.45	597.1
1751	70.5	33.7	10.3	5.1	3.7	4440	0.46	597.1
1751	70.5	33.7	10.3	5.1	3.7	4440	0.46	597.1
1757	70.6	33.7	10.4	5.0	3.5	4446	0.47	602.9
1757	70.6	33.7	10.4	5.0	3.7	4446	0.46	602.9
1757	70.6	33.7	10.4	5.0	3.6	4446	0.46	602.9
1757	70.6	33.7	10.4	5.0	3.6	4446	0.47	602.9
1760	70.6	33.4	10.3	5.1	3.6	4447	0.47	596.7
1760	70.6	33.4	10.3	5.1	3.6	4447	0.47	596.9
1760	70.6	33.4	10.3	5.1	3.7	4447	0.46	596.9
1767	70.7	34.2	10.4	5.0	3.5	4452	0.48	611.7
1767	70.7	34.2	10.4	5.0	3.6	4452	0.47	611.7
1775	70.7	33.5	10.1	5.2	3.8	4455	0.45	593.3
1776	70.8	33.5	10.1	5.2	3.8	4458	0.45	593.8
1777	70.8	33.8	10.3	5.1	3.6	4459	0.47	603.7
1777	70.8	33.8	10.3	5.1	3.6	4459	0.47	603.7
1777	70.8	33.8	10.3	5.1	3.7	4459	0.46	603.7
1781	70.8	33.1	10.2	5.2	3.8	4462	0.45	595.9
1789	70.9	33.1	10.2	5.3	3.8	4467	0.46	597.4
1789	70.9	33.1	10.2	5.3	3.7	4467	0.46	597.4
1791	70.9	33.0	10.2	5.3	3.8	4470	0.46	596.4
1792	70.9	33.3	10.2	5.3	3.8	4471	0.45	598.4
1793	70.9	33.3	10.2	5.3	3.8	4471	0.45	598.7
1793	70.9	33.3	10.2	5.3	3.7	4471	0.47	598.7
1805	71.1	33.3	10.2	5.3	3.8	4480	0.45	602.5
1805	71.1	33.3	10.2	5.3	3.8	4480	0.46	602.5
1806	71.1	33.3	10.2	5.3	3.8	4481	0.46	602.9
1806	71.1	33.3	10.2	5.3	3.7	4481	0.46	602.9
1806	71.1	33.3	10.2	5.3	3.8	4481	0.46	602.9
1808	71.1	33.3	10.3	5.3	3.8	4482	0.46	603.7
1808	71.1	33.3	10.3	5.3	3.8	4482	0.46	603.7
1815	71.2	35.0	10.3	5.1	3.7	4487	0.46	624.2
1815	71.2	35.0	10.3	5.1	3.7	4487	0.45	624.2
1819	71.2	35.0	10.5	5.0	3.4	4487	0.50	634.6
1819	71.2	35.0	10.5	5.0	3.4	4489	0.50	634.3
1819	71.2	35.0	10.5	5.0	3.4	4489	0.50	634.3
1820	71.2	35.0	10.5	5.0	3.4	4490	0.50	634.7
1821	71.2	35.0	10.5	5.0	3.4	4491	0.50	635.2
1827	71.3	35.2	10.5	5.0	3.6	4495	0.47	637.6
1833	71.3	35.2	10.4	5.0	3.7	4498	0.46	637.1
1833	71.3	35.2	10.4	5.0	3.6	4498	0.46	637.1
1833	71.4	35.2	10.4	5.0	3.7	4499	0.45	637.3
1834	71.4	31.3	11.4	5.2	3.7	4500	0.47	623.6
1835	71.4	31.9	11.2	5.1	3.7	4500	0.47	626.8
1835	71.4	31.9	11.2	5.1	3.7	4500	0.46	626.8