NEWTON NARCISO PEREIRA

**UM ESTUDO SOBRE INSTALAÇÕES PROPULSORAS PARA
EMPURRADORES FLUVIAIS**

SÃO PAULO
2007

NEWTON NARCISO PEREIRA

**UM ESTUDO SOBRE INSTALAÇÕES PROPULSORAS PARA
EMPURRADORES FLUVIAIS**

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

Área de Concentração: Engenharia
Naval e Oceânica

Orientador: Prof. Dr. Hernani Luiz Brinati

SÃO PAULO
2007

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

São Paulo, 13 de Abril de 2007.

Assinatura do Autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Pereira, Newton Narciso
Um Estudo Sobre Instalações Propulsoras para
Empurradores Fluviais. - ed. rev. - São Paulo. 2007.

241 p.

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

1. Hidrovia Tietê-Paraná. 2. Instalações
Propulsoras. I. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e
Oceânica II.t.

“A vaidade de certos homens, que crêem saber tudo e tudo querem explicar a sua maneira, dará origem à opinião dissidente; mas todos os que tiverem em vista o grande princípio de Jesus se confundirão no mesmo sentimento de amor ao bem e se unirão por um laço fraterno que envolverá o mundo inteiro; deixarão de lado as mesquinhas disputas de palavras para somente se ocuparem das coisas essenciais.”

Allan Kardec

DEDICATÓRIA

A minha esposa Valéria pela paciência,
força e por ter suportado minhas ausências
sendo sempre uma fiel companheira.

Obrigado.

AGRADECIMENTOS

A Deus inteligência suprema, causa primeira de todas as coisas,, obrigado.

Ao Prof. Dr. Hernani Luiz Brinati que auxiliou e contribuiu efetivamente para a realização deste trabalho, dando-me força e instruções nos momentos de dúvidas. Trabalhou como um verdadeiro mestre com suas correções precisas de ortografia e conceitos, além de demonstrar seus conhecimentos com bastante humildade, muito obrigado.

Ao Prof. Dr. Cláudio Mueller Prado Sampaio, pelas valiosas sugestões e pelos materiais fornecidos para o levantamento bibliográfico sobre propulsão Diesel-elétrica. Ao amigo Prof. Dr. Jairson de Lima, obrigado pelas oportunidades.

A Agência Nacional do Petróleo - ANP por fornecer o subsídio financeiro necessário para realização deste trabalho, e pelas oportunidades de participação em valiosos congressos e seminários no Brasil. Ao Instituto Brasileiro de Petróleo por ter me proporcionado à participação no Rio Oil and Gás, 2006. A Transpetro, na pessoa do Sr. Ubiracyr Martins pelas informações cedidas no decorrer da pesquisa.

Aos professores da Escola Politécnica da USP, que contribuíram para minha formação intelectual, Prof. Dr. Cláudio Mueller Sampaio, Prof. Dr. Toshi-ichi Tachibana, Prof. Dr. Giorgio Brighetti (*in memoriam*), Prof. Dr. José Rodolfo Scarati Martins, Prof. Dr. Kokei Uehara, Prof. Dr. Rui Botter e o Prof. Dr. Fernando José Bardin Laurindo.

Ao professor Robert Latorre do Departamento de Engenharia Naval da Universidade de New Orleans na Louisiana, pelas valiosas contribuições, sugestões e discussões sobre aplicação da instalação Azipod em empurradores fluviais. Ao Prof. Dr. Michael Woodward pesquisador associado da Universidade Newcastle, pelas trocas de informações e materiais bibliográficos.

Ao Sr. André Souza gerente de vendas de equipamentos marítimos da Asea Brown Boveri na Noruega, por fornecer as informações imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos funcionários César, Lânia, Sandra, Damaris, Denilson e a todos os amigos da secretaria pelo apoio fornecido ao longo desta jornada. Ao pessoal da biblioteca que prestou valiosa ajuda nas consultas dos materiais bibliográficos.

Aos amigos da pós-graduação da Universidade de São Paulo, Leornado Chies, Marcelo Aragão, Marcos Garber, Luiz Alberto, Walter Santana, Dewar, Lazaro entre outros. A amiga Fabiana de Lucena Brás pelo ajuda na aquisição de materiais de consulta junto ao IPT.

Aos professores e amigos da FATEC-JAÚ, principalmente aos amigos Genaldo Silva, Junior Cândido de Oliveira e Kátia Lacerda, obrigado pela força.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, a Divisão de Tecnologia e Transportes - DITT em particular ao Engº. Carlos Daher Padovezi. Aos amigos do Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo, na pessoa do Engenheiro Antonio Gotti, pelas valiosas discussões e pelos materiais fornecidos para consulta.

As empresas Andreioni, Torque Navegação, Estaleiro Erin, Sociedade Classificadora Bureau Colombo, WEG motores elétricos e Stemac.

Aos estimados amigos Alexandre Batista e Justino da Coppe-UFRJ.

Em especial aos meus pais, Maria Aparecida Pereira e Ayrton José Pereira e a minha irmã Adriana Aparecida Pereira, muito obrigado por vocês terem acreditado em mim e aos sogros e cunhados pelos estímulos constantes.

RESUMO

Este trabalho está voltado para a avaliação de alternativas de instalação propulsora para o empurrador de comboios fluviais. Estes comboios devem atender o objetivo da Petrobras / Transpetro de transportar álcool e derivados de petróleo pela hidrovía Tietê-Paraná.

São apresentados como elementos de subsídio para o trabalho um estudo da demanda de álcool combustível em âmbito mundial e os argumentos para seu uso, bem como da oferta brasileira do produto. Além disso, apresentam-se, de forma sucinta, as principais restrições da hidrovía Tietê-Paraná, que devem servir de base para o projeto do comboio, e as características dos comboios em operação na hidrovía, que transportam outras cargas. São apresentados os critérios estabelecidos para construção de comboios fluviais adaptados ao transporte de álcool e derivados de petróleo, segundo as exigências da Norman e das sociedades classificadoras. O trabalho apresenta também uma investigação sobre novas concepções de instalação propulsora para emprego no empurrador.

Assim, para seleção da instalação propulsora do empurrador são consideradas três alternativas: a instalação Diesel, que é concepção empregada em todos os comboios da hidrovía, e duas instalações diesel-elétrica, uma convencional e outra com sistema Azipod. São empregados como critérios de avaliação o custo operacional do comboio, o impacto ambiental produzido pela emissão de gases e a segurança de navegação do comboio. Como método de avaliação multi-criterial foi utilizado o método de análise hierárquica. Os resultados da avaliação indicaram uma preferência pela instalação propulsora Diesel.

ABSTRACT

This work focuses on the evaluation of alternatives of main propulsion plants for towboats of fluvial convoys. These convoys must attend the objectives of Petrobras/Transpetro of transporting ethanol and oil derivatives through Tiete-Parana waterway.

A study of the demand for ethanol worldwide and the arguments for its use are presented as supporting elements for the work, as well as the Brazilian supply of the product. Moreover, the main restrictions of the Tiete-Parana waterway, which must be the basis for the project of the convoy, and the characteristics of the convoys in operation in the waterway, which transport other loads, are succinctly presented. Complying with Norman 02 requirements and classifying societies, the criteria established for the construction of fluvial convoys adapted to the transport of ethanol and oil derivatives are also presented here. The work also presents an investigation about new concepts of propulsive installation for the use in the towboat.

Therefore, for the selection of the propulsion system of the towboat, three alternatives are considered: the Diesel plant, which is the concept used in all convoys of the waterway, and two Diesel-electric propulsion systems, a conventional one and another with an Azipod system. The operational cost of the convoy, the environmental impact produced by the emission of gases and the safety of navigation of the convoy are used as criteria for evaluation. The method of hierarchical analysis was used as method of evaluation. The results of the evaluation indicated a preference for the Diesel propulsion plant.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 – Definição do problema	1
1.2. – Transporte hidroviário.....	3
1.3 – Objetivos do trabalho	7
1.4- Estrutura do trabalho.....	9
CAPÍTULO 2	12
A DEMANDA E OFERTA DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL NO MERCADO INTERNACIONAL	12
2.1 - A questão ambiental	12
2.2 - Álcool Combustível	15
2.2.1 - Produção do álcool	15
2.3 - Perspectivas de exportação do álcool combustível.....	18
2.3.1 - Japão	19
2.3.2 - Estados Unidos	20
2.3.3 - Europa.....	21
2.3.4 - China.....	21
CAPÍTULO 3	23
NAVEGAÇÃO NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ	23
3.1 - Considerações gerais.....	23
3.2 - Características físicas da hidrovia.....	25
3.2.1 – Canal de navegação	25
3.2.2 - Eclusas	26
3.2.3 - Outras restrições	27
A) Raios de curvatura.....	28
B) Pilares de pontes.....	29
3.2.4 - Condições ambientais	29
3.2.5 - Sinalização	30
3.2.6 - Formação do comboio nos pontos restritos da hidrovia	30
CAPÍTULO 4	32
COMBOIO TIPO TIETÊ-PARANÁ	32
4.1 - Considerações gerais.....	32
4.2 - Características do Comboio tipo.....	33
4.2.1 - Linhas e formas das barcaças.....	34
4.2.2 - Integração entre as barcaças	36
4.2.3 - Formação do comboio	37
4.2.4 - Empurrador fluvial.....	38
A) Dimensões principais	38
B) Formas e linhas do casco.....	39
C) Considerações sobre o sistema propulsor	41
C1) Instalação propulsora	41
C2) Hélice	42

C3) Segurança operacional	42
D) Sistema de Governo	43
E) Arranjo do empurrador	44
4.3 - Principais deficiências encontradas nos comboios fluviais	44
CAPÍTULO 5	47
REQUISITOS PARA O PROJETO DE COMBOIOS TRANSPORTADORES DE COMBUSTÍVEIS	47
5.1 - Considerações gerais	48
5.2 - Aspectos de projeto das barcaças	50
5.2.1 - Tanques das barcaças	50
5.2.2 - Praça de bombas de carga das barcaças	52
5.3 - Requisitos para construção das barcaças	53
5.4 - Critérios para projeto de empurrador fluvial	53
CAPÍTULO 6	55
ANÁLISE DE NOVAS ALTERNATIVAS PARA PROPULSÃO DO COMBOIO	55
6.1 - Emprego da propulsão elétrica	55
6.2 - Características da propulsão elétrica	58
6.3 - Comparações entre as instalações	59
6.3.1 – Vantagens	59
6.3.2 - Restrições e desvantagens	63
6.4 - Sistemas propulsores especiais	65
6.4.1 - Característica do sistema Azipod	68
6.4.2 - Vantagens operacionais	69
6.4.3 – Considerações sobre o uso de Azipod	73
6.4.4 - Desvantagens do Azipod	75
CAPÍTULO 7	81
SELEÇÃO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA DO EMPURRADOR	81
7.1 - Características básicas do comboio	82
7.2 – Alternativas de instalações propulsoras	83
7.2.1 - Instalação Diesel convencional	84
7.2.2 – Instalação Diesel-elétrica	85
7.2.3 – Instalação Azipod Compacto	87
7.3 – Procedimento para avaliação das alternativas	88
7.3.1 – Método AHP	89
7.4 - Avaliação econômica	93
7.4.1 - Custos operacionais do comboio	93
7.5 – Avaliação de impactos ambientais	96
7.5.1 – Emissão de poluentes	96
7.6 - Avaliação de segurança	99
7.6.1 - Aspectos considerados	99
7.7 – Aplicação do Método AHP	100
7.7.1 – Ordenação dos critérios	101
7.7.2 – Avaliação das alternativas	103
A) Custo operacional do comboio	104
B) Impacto Ambiental	106

C) Segurança	107
7.7.3 – Seleção da alternativa.....	109
7.8 - Comparações entre os modais fluvial e rodoviário.....	111
7.8.1 - Análise econômica.....	111
7.8.2 - Análise ambiental	113
CAPÍTULO 8.....	116
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
8.1 - Síntese do trabalho.....	116
8.2 – Conclusões	118
8.3 - Recomendações	118
ANEXO A.....	120
PROFUNDIDADES ENCONTRADAS AO LONGO DA HIDROVIA TIETÊ- PARANÁ	120
ANEXO B	131
EMPURRADOR FLUVIAL.....	131
ANEXO C	137
MANOBRA DO COMBOIO EM TRECHOS CURVOS	137
ANEXO D.....	142
CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO DE COMBOIOS ADAPTADOS AO TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEIS	142
ANEXO E	151
DADOS ADICIONAIS SOBRE O AZIPOD COMPACTO.....	151
ANEXO F	158
ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS.....	158
ANEXO G.....	169
AVALIAÇÃO ECONÔMICA DAS INSTALAÇÕES PROPULSORAS	169
ANEXO H.....	194
AVALIAÇÃO QUALITATIVA.....	194
ANEXO I	198
AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS INSTALAÇÕES	198
ANEXO K.....	210
REPRESENTAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	210
ANEXO L	218
AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DAS INSTALAÇÕES PROPULSORAS PELO MÉTODO AHP.....	218
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	222
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES.....	237

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABB – Asea Brown Boveri
AES – All Electric System
AHRANA – Administração da Hidrovia Tietê-Paraná
AHP - Analytic Hierarchy Process
ANP – Agência Nacional do Petróleo
CESP – Companhia Energética do Estado de São Paulo
CIBPU Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica
D.E. – Diesel-elétrico
ECO 92 - Convenção de Mudança Climática
EPA - Energy Policy Act
FEP – Full Electric Propulsion
IMO – International Maritime Organization (Organização Marítima Internacional)
IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NCGA - National Corns Growers Association
NORMAN – Normas da Autoridade Marítima Brasileira
NTHTPC - Normas de Tráfego na Hidrovia Tietê-Paraná e seus Canais
PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses
PNA – Principles of Naval Architecture
RFA - Renewable Fuels Association
REPLAN – Refinaria de Paulínia
SNAME – Society of Naval Architects and Marine Engineers
SOBENA – Sociedade Brasileira de Engenharia Naval
ÚNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Área de concentração do plantio da cana-de-açúcar em de São Paulo	16
Figura 2. 2 - Produção de álcool no período entre 1975 à 2004	17
Figura 2. 3 - Potenciais exportadores do álcool brasileiro	19
Figura 3. 1 - Área de influência da hidrovía	25
Figura 3. 2- Bóias e placas sinalizadoras	30
Figura 4. 1 – Corpo de entrada e chanfro lateral na proa da barçaça.....	36
Figura 4. 2 - Tipos de formação dos comboios.....	37
Figura 4. 3 – Linhas de um empurrador.....	40
Figura 6. 1 - Planta propulsiva FEP	59
Figura 6. 2 – Comparações de emissões de um navio pesqueiro	62
Figura 6.3 - Alocação das máquinas com uso de propulsão Diesel-elétrica.....	63
Figura 6. 4 - Primeiro projeto de propulsor em pod.....	65
Figura 6.5 - Dimensões principais do Azipod.....	66
Figura 6.6 - Detalhamento do Sistema Azipod	67
Figura 6.7 - Compacto Azipod.....	68
Figura 6. 8 – Instalação propulsora Azipod	68
Figura 6. 9 – Sistema ACS 600 MarineDrive W	69
Figura 6.10 - Testes realizados com o Azipod.....	70
Figura 6.11 – Comparações entre instalações propulsoras	71
Figura 6.12 – Análise do uso das máquinas principais do navio fluvial Ecoship.....	73
Figura 6.13 – Skeg	74
Figura 6. 14 - Forma do corpo de saída com a presença de skeg.....	75
Figura 6.15 - Eficiência do Azipod em função do “pod” / diâmetro do propulsor.....	76
Figura 6.16 - Razão comprimento do pod pelo diâmetro do pod.....	77
Figura 7. 1 – Arranjo geral do comboio.....	83
Figura 7. 2 - Instalação propulsora Diesel convencional analisada	85
Figura 7. 3 – Instalação propulsora Diesel-elétrica.....	86
Figura 7. 4 – Instalação propulsora Azipod Compacto.....	88
Figura 7. 5 – Matriz de comparação.....	91
Figura 7. 6 – Problema estruturado conforme método AHP.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Produção de álcool na área de influência da hidrovía Tietê-Paraná	17
Tabela 2.2 - Projeções da demanda de consumo de álcool no Japão	20
Tabela 4. 1 - Faixa de dimensões do comboio tipo.....	34
Tabela 4.3 – Parâmetros adimensionais dos empurradores em algumas hidrovias brasileiras	40
Tabela 6.1 - Falhas possíveis de ocorrer nos equipamentos em condições expostas.....	64
Tabela 7. 1 - Características básicas do comboio	82
Tabela 7. 2 - Valores de preferência	90
Tabela 7. 3 - Valores de CA em função da ordem da matriz	92
Tabela 7. 4 - Custos operacionais do comboio para as rotas de interesse.....	94
Tabela 7. 5 – Valores totais de frete dos comboios para as rotas de interesse.....	94
Tabela 7. 6 – Dados utilizados nas estimativas de emissões das instalações.....	97
Tabela 7. 7 – Emissões de gases oriundas das instalações em g/km para uma viagem ..	97
Tabela 7. 8 - Emissões de gases considerando a operação em cargas parciais.....	99
Tabela 7. 9 - Distâncias obtidas em função do comprimento, dos tipos de instalação e de manobra.....	100
Tabela 7. 10 – Matriz de comparações.....	102
Tabela 7. 11 – Matriz com valores normalizados	102
Tabela 7. 12 – Consistência das comparações	103
Tabela 7. 13 - Matriz de comparação do custo operacional do comboio.....	104
Tabela 7. 14 – Matriz de comparações normalizada do custo operacional do comboio	105
Tabela 7. 15 – Análise da consistência das comparações	105
Tabela 7. 16 - Matriz de comparação do impacto ambiental	106
Tabela 7. 17 – Matriz de comparações do impacto ambiental normalizada	107
Tabela 7. 18 – Análise da consistência das comparações	107
Tabela 7. 19 - Matriz de comparação da segurança	107
Tabela 7. 20 – Matriz de segurança normalizada.....	108
Tabela 7. 21 – Análise da consistência das comparações	108
Tabela 7. 22 – Comparação entre as Alternativas.....	109
Tabela 7. 23 – Classificação das alternativas pelo critério subjetivo.....	110

Tabela 7. 24 - Número de viagens realizadas pelo caminhão em função do tempo de viagem redonda do comboio	112
Tabela 7. 25 – Valor total de frete da frota de caminhões comparado com o comboio	113
Tabela 7. 26 - Índice de destruição ambiental caminhão / comboio.....	114

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – Definição do problema

Em meados de 2005, a Petrobrás anunciou que até 2010 entrará em vigor o programa brasileiro de exportação de álcool. O objetivo deste programa é criar uma infra-estrutura de distribuição de álcool para atender o mercado internacional. Esta demanda de álcool é resultado de políticas energéticas que diversos países que assinaram o protocolo de Kyoto, estão adotando, de adicionar álcool à gasolina, como medida para reduzir os problemas de aquecimento global e poluição ambiental.

Para atender este mercado consumidor em expansão a Petrobras / Transpetro pretende exportar o álcool produzido na região sudeste do país, um volume de 8 bilhões de litros até 2010. O objetivo principal da empresa nesta região é transportar álcool rumo à exportação, do interior até a refinaria de Paulínia e derivados de petróleo no sentido contrário. Para isso, a empresa está elaborando um planejamento de transporte que contempla inicialmente os estados de São Paulo e Goiás, aplicando o conceito de intermodalidade, através do uso de diversos modais como a ferroviário, rodoviário, dutoviário e hidroviário.

No que tange ao modal fluvial, o projeto utilizará a hidrovía Tietê-Paraná, disposta na área de influência de produção de álcool como forma de escoar o produto num sentido e transportar derivados de petróleo na viagem de retorno das embarcações. Definiram-se 4 rotas de interesse para o transporte ao longo da hidrovía, em que serão instalados terminais nas margens da hidrovía nas cidades de São Simão (GO), Presidente Epitácio (SP), Araçatuba (SP), Jaú (SP) e Conchas (SP). Estas rotas estão localizadas nas regiões de maior produtividade de álcool do estado e com fácil acesso a hidrovía, onde estes terminais serão armazenadores, distribuidores de álcool no sentido

Conchas (SP) e, receptores de derivados de petróleo no sentido contrário. De Conchas o álcool é transportado para a refinaria de Paulínia, REPLAN, através de um poliduto (duto bi-direcional) e de lá para os portos de São Sebastião (SP) e Ilha Grande (RJ).

Para que toda esta estrutura descrita acima seja implantada, serão necessários investimentos que somam cerca de US\$ 315 milhões em infra-estruturas, incluindo a construção de dutos, aquisição de bombas, construção de terminais e cerca de 15 comboios fluviais para o transporte do álcool.

As embarcações destinadas ao transporte de álcool deverão seguir a concepção utilizada na maioria das hidrovias para o transporte de cargas, o comboio de empurra, que apresenta diversas vantagens em relação à quantidade de carga transportada. Diante das expectativas de crescimento da produção de álcool na área de influência da hidrovia, a Marinha do Brasil em 2003, disponibilizou a nova versão da *Norma da Autoridade Marítima Brasileira – Normam 02*, que destinou um capítulo para tratar exclusivamente das embarcações que transportarão álcool e derivados de petróleo por hidrovia.

As embarcações empregadas neste transporte deverão atender os critérios ali estabelecidos considerando principalmente os aspectos ambientais. Além da adoção de casco duplo e outras medidas para evitar vazamentos de produtos poluentes em caso de acidentes, esta norma limita o uso de combustíveis para acionamento das máquinas principais destas embarcações. Portanto, as novas tecnologias de instalações propulsoras existentes que podem ser implementadas para estas embarcações devem atender este critério.

Diversos desenvolvimentos tecnológicos que estão revolucionando os sistemas propulsores existentes nas embarcações marítimas que devem ser examinados para aplicação em embarcações fluviais com algumas adaptações. Hoje, existem sistemas de propulsão alimentados através de turbina a gás, energia nuclear, Diesel, energia elétrica além da combinação Diesel-elétrica. Neste sentido, devido à complexidade destes sistemas, avalia-se preliminarmente que o sistema Diesel-elétrico tem maior probabilidade de ser aplicado nas embarcações fluviais devido às suas características e às vantagens proporcionadas pelo sistema.

A propulsão Diesel-elétrica é empregada principalmente nas embarcações quebra-gelos com pequena potência instalada e em grandes embarcações marítimas, como navios tanques, porta containeres, transatlânticos com alta potência instalada.

Basicamente, esta instalação consiste de um sistema formado por um conjunto de Diesel-geradores que acionam motores elétricos, que por sua vez, acionam os hélices. As vantagens desta alternativa são: a redução do espaço ocupado pela maquinaria, maior eficiência nas manobras em águas restritas, além da redução da emissão de gases.

Existem também sistemas elétricos com propulsores azimutais localizados na parte externa do casco, que permitem maior flexibilidade para as embarcações realizarem suas manobras. O sistema mais conhecido é denominado Azipod, fabricado pela Asea Brown Boveri - ABB com potências que variam de 400 kW até 30.000 kW. Existem outros modelos de instalações propulsoras similares a esta, entretanto, sua aplicação destina-se apenas a grandes embarcações.

Atualmente na hidrovia Tietê-Paraná não existe comboios fluviais adaptados para o transporte de álcool e derivados conforme estabelece a Normam 02. Assim, julga-se importante analisar os requisitos técnicos para a construção destes comboios, como também analisar as evoluções tecnológicas relacionadas com os sistemas de propulsão, neste caso, a propulsão Diesel-elétrica. É importante verificar se estas instalações propulsoras podem contribuir simultaneamente para aumentar a segurança no transporte dos comboios transportando cargas perigosas e reduzir os impactos ambientais com custos competitivos em relação às instalações convencionais.

Há diversos países que utilizam comboios de empurra para o transporte de cargas, dentre elas derivados de petróleo, sendo que alguns deles utilizam sistemas de propulsão modernos. A seguir é apresentado sucintamente como o transporte hidroviário é empregado em outros países e no Brasil.

1.2. – Transporte hidroviário

Sabe-se que muitos países como Estados Unidos, Europa, Rússia e China utilizam-se do transporte fluvial para transportar diversas cargas. Nos Estados Unidos a rede hidroviária é constituída por mais de 40.000 km de vias navegáveis formadas principalmente pelos rios da bacia do Mississippi, composto pelos rios Missouri, Ohio, Tennessee, Illinois, Arkansas e pelos grandes lagos. Toda bacia do rio Mississippi, com seus formadores canalizados, está interligada aos grandes lagos e ao rio São Lourenço

por obras artificiais. A embarcação mais utilizada para o transporte de carga é o comboio de empurra, alguns deles dotados de sistema de propulsão azimuthal e hélices em dutos (MAYNORD, 2000) *apoud* (PADOVEZI, 2003).

Na Europa, Petry (2003) descreve que, a rede hidroviária desenvolve-se nas regiões mais planas de países como a França, Bélgica, Holanda e Alemanha através dos rios da bacia do Rodano, Sena, Garona, Elba, Danúbio e Reno. A principal interligação hidroviária da Europa são as bacias dos rios Reno e Danúbio, por meio de um canal artificial com 3500 km de extensão, que liga o porto de Rotterdam no Mar do Norte ao Mar Negro, contando 10 países. Além do grande número de canais artificiais (extensão aproximada de 10.000 km), o sistema perfaz um total de 26.500 km de hidrovias, com a existência de 700 eclusas e algumas obras de transposição de nível com o uso de elevadores mecânicos e planos inclinados onde circulam milhares de embarcações. Na Europa predomina o uso de embarcações auto-propelidas com instalações propulsoras avançadas, na maior parte com sistema Diesel mecânico, com hélices em dutos e bow thrusters de proa para auxiliar nas manobras em portos e em parada brusca (GUESNET, 2005). Já existem em operação algumas embarcações fluviais com propulsão Diesel-elétrica operando nestas hidrovias (PEREIRA & BRINATI, 2006).

Na Rússia, os rios e lagos estão interligados por canais artificiais, tendo Moscou como ponto principal da rede hidroviária, garantido a ligação interna para barcos de 5000 toneladas, ao longo dos cinco mares que banham este país: Ártico, Báltico, Negro, Azov e Cáspio. Os principais rios utilizados são o Volga, Don, Kama, Neva, Svil, e Dnieper além dos rios asiáticos Jenissei, Irtish, Ob e Inguri. O sistema possui um total de 45.000 km de hidrovias em rios naturais e mais 10.000 km de canais artificiais, onde estão instaladas mais de 100 eclusas. Atualmente, existem registradas na Rússia aproximadamente 29 mil embarcações de vários tipos e capacidade. Deste montante aproximadamente 15 mil embarcações são destinadas ao transporte de cargas, dividindo-se entre auto-propelidas e comboios de empurra (PETRY, 2003). Observou-se que grande parte destas embarcações são dotadas de instalação Diesel mecânica, sendo que existem também embarcações Diesel-elétricas. Maiores informações sobre os tipos de embarcações empregadas nas hidrovias russas podem ser encontradas no site (<http://www.riverships.ru>).

O maior rio chinês é o Yangtzi com 6.300 km de extensão, sendo a artéria para o desenvolvimento de inúmeras regiões chinesas. Existem vários portos próximos e ao longo do rio, como os portos de Shanghai, Zhenjiang, Nanjing, Wuhan, Yichang, e Chongqing, sendo considerada uma das maiores hidrovias do mundo. A malha hidroviária chinesa conta com 30.000 km de extensão, em que alguns trechos ainda existem a necessidade de serem retificados para promover a navegação completa. Para que as embarcações possam navegar por toda sua extensão após a construção da barragem de Três Gargantas estão sendo construídas eclusas em escadas com cinco câmeras de duplo sentido para receber embarcações com capacidade de 10.000 t de cargas. Verificou-se que nesta hidrovia o sistema propulsivo mais empregado nas embarcações é o Diesel mecânico convencional. Detalhes sobre estes navios podem ser obtidos pelo site (<http://www.world-register.org/ships.htm>).

No Brasil, na falta de outras vias de penetração ao interior, no período colonial os rios assumiram naturalmente o papel de facilitador do transporte de cargas e pessoas, traduzindo um transporte puramente colonizador. Através dos Rios Tietê, Paraná e Paraguai, na região sudeste e Amazonas, na região norte, e todos os seus afluentes, novos povoados foram sendo gerados, expandindo assim as fronteiras do país (CESP, 1978). Muitas cidades brasileiras tiveram origem nas “bandeiras”: Itu, Salto, Porto Feliz, Santana do Parnaíba, Pirapora, Tietê, todas no estado de São Paulo, além de Cuiabá (MS) entre outras da região amazônica. A seguir são descritas as principais hidrovias brasileiras utilizadas no transporte de álcool e derivados de petróleo.

A região amazônica apresenta maior concentração de embarcações fluviais transportando passageiros, cargas gerais e combustíveis no Brasil. Os principais rios utilizados para o transporte dos combustíveis são: Amazonas, Solimões, Urucu, Madeira, Branco, Juruá, Tapajós, Teles Pires e Negro. Basicamente, os combustíveis transportados são oriundos da refinaria de Manaus (REMAN) e do terminal de Coari localizado na região de Urucu. Nestes rios transportam-se álcool, gasolina, querosene, gás e óleo Diesel. O álcool chega de navio no terminal de petroleiros em Manaus proveniente de outros estados da região nordeste e, é transferido para barcas que transportam também os derivados de petróleo produzidos na REMAN, para consumo interno do estado e o acionamento de termoeletricas. No terminal de Coari são escoados derivados de petróleo e Gás Liquefeito de Petróleo – GLP para Manaus. Do terminal de

Coari até o terminal de Petroleiros o transporte fluvial estende-se num percurso de 472 km (SANTANA & TACHIBANA, 2005). Grande parte destas embarcações utilizam propulsão convencional.

Recentemente, com a implantação do uso experimental do GNV na frota de veículos de Manaus, a Petrobras Distribuidora (BR Distribuidora) iniciou transporte de Gás Natural Veicular – GNV produzido em Urucu para cidade de Manaus através de embarcações fluviais. Como o gasoduto na região encontra-se em construção, o gás é comprimido e acondicionado em cilindros de alta-pressão instalados em carretas que são acomodadas no convés barça. Cada barça carrega 6 carretas no convés com capacidade de 5000 m³ cada totalizando um volume de 30.000m³ por viagem.

Outra hidrovia com grande representatividade no transporte de combustíveis é o Rio Madeira. No ano de 2003 foram transportados 53.637 t de álcool e aproximadamente 755.440 t de derivados de petróleo (ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZONIA – AHIMOC, 2006). Diversas empresas de navegação realizam o transporte destes produtos de Manaus (AM) a Porto Velho (RO), onde há 3 terminais destinados ao recebimento de combustíveis e GLP (SANTANA & TACHIBANA, 2005). Nesta hidrovia muitas embarcações utilizam sistemas propulsores azimutais para obter melhor condição de manobra (PADOVEZI, 2003).

Pela hidrovia Paraguai-Paraná transporta-se anualmente cerca de 3,5 milhões de t de combustíveis entre álcool e derivados de petróleo. Os produtos são armazenados no Porto Granel Química na cidade de Ladário em Corumbá (MS). O álcool e os derivados chegam por meio de rodovia e ferrovia neste terminal e são transferidos para os comboios fluviais. Alguns comboios que operam nesta região são dotados de sistemas de propulsão azimutal instalados no convés principal do empurrador, juntamente com um sistema de propulsão na proa denominado boat thrusters, ou seja, um empurrador não tripulado que auxilia o comboio nas manobras. Este sistema propulsor foi desenvolvido no Brasil e, está sendo utilizado nos comboios da empresa Cinco Bacias que operam nesta hidrovia.

No sul do país o transporte hidroviário de álcool e derivados de petróleo concentra-se no estado de Rio Grande do Sul. Os combustíveis são oriundos dos portos principalmente do porto de Rio Grande, e estes produtos são distribuídos entre os portos de Pelotas, Porto Alegre e Cachoeira do Sul. Estes produtos são transportados por

comboios de empurra e embarcações auto-propelidas. Principalmente na Lagoa dos patos, as embarcações auto-propelidas utilizam propulsores azimutais desde a década de 70 (PADOVEZI, 2003).

Finalmente, cabe ressaltar que, no princípio de operação da hidrovía Tietê-Paraná, transportava-se álcool de Araçatuba até a montante de Barra Bonita próxima à cidade de Santa Maria da Serra, por isso, esta hidrovía ficou conhecida como “Hidrovía do Álcool”. Entretanto, atualmente, a hidrovía é utilizada para o transporte de outras cargas exceto álcool e derivados de petróleo. Estes produtos são transportados em sua maioria por caminhões dentro do estado de São Paulo, contribuindo para o aumento do risco de acidentes, poluição e congestionamentos.

1.3 – Objetivos do trabalho

O transporte de cargas perigosas independente do modal utilizado é uma atividade arriscada. No caso do transporte fluvial, deve-se dar uma atenção especial para as embarcações, e se atentar para algumas questões importantes relacionadas com a segurança e impacto ambiental.

Em primeiro lugar, deve-se garantir que as embarcações utilizadas atendam os critérios estabelecidos pela Normam 02 em relação ao uso de casco duplo e outros critérios de segurança operacional, pois eles devem minimizar as possíveis causas de acidentes com estas cargas.

Segundo, deve-se garantir que a embarcação seja dotada de uma instalação propulsora que ofereça segurança durante as manobras nas seguintes condições: i) navegação plena, ou seja, navegação na maior parte do percurso, pois o sistema propulsor deve proporcionar ao timoneiro recursos suficiente para manter a embarcação no rumo; ii) parada brusca, pois toda embarcação está sujeita avistar um obstáculo à frente e ter que realizar uma parada brusca inesperada para evitar colisão; e iii) manobra em trechos curvos e sinuosos da hidrovía, que podem acarretar colisões com as margens do canal.

Além disso, normalmente quando se projeta um sistema de transporte hidroviário ou de outro tipo, o critério econômico é o que baliza a escolha da solução. Neste estudo estes critérios serão examinados.

Assim, o objetivo deste é selecionar uma instalação propulsora para o empurrador fluvial que atenda os critérios apresentados acima. Busca-se avaliar novas alternativas de instalações propulsoras para o empurrador fluvial empregado neste tipo de transporte. Foi mencionado anteriormente, dentre as novas alternativas existentes, que os sistemas elétricos têm uma grande propensão de serem aplicados na navegação fluvial. Assim, serão avaliadas as seguintes alternativas de instalações propulsoras: Diesel, Diesel-elétrica, convencional e com Azipod. Estas instalações propulsoras serão analisadas sob três pontos distintos: econômico, ambiental e segurança.

Do ponto de vista de econômico pretende-se levantar os custos de aquisição de cada instalação para equipar o empurrador em função das características já existentes. Será estimado também o custo total do comboio já adaptado para este transporte considerando cada instalação propulsora. Posteriormente, busca-se determinar os custos operacionais destes comboios para cada rota de interesse.

Na questão ambiental é importante analisar o impacto gerado durante a operação do comboio em função de cada rota de transporte. Deste modo, pode-se estimar as emissões dos seguintes poluentes: gás carbônico – CO, hidrocarbonetos – HC, óxido de nitrogênio – No_x e partículas.

No que se refere à segurança fornecida pelas instalações propulsoras, procura-se identificar qual oferece o melhor nível de segurança durante a navegação nas seguintes condições: navegação plena, parada brusca e manobra de giro para o comboio.

A escolha da melhor instalação propulsora para equipar o empurrador considerando os aspectos econômico, ambiental e de segurança será obtida através da aplicação do Método de Análises Hierárquicas – AHP, pelo fato desta metodologia considerar tanto aspectos quantitativos e qualitativos. Como a análise das instalações recai sobre estes dois aspectos, com esta metodologia pretende-se determinar a melhor instalação propulsora.

Por fim, faz-se uma comparação entre os modais rodoviário e hidroviário para o transporte de combustíveis utilizando como critérios de avaliação o valor de frete e o impacto ambiental.

1.4- Estrutura do trabalho

Este trabalho apresenta uma análise dos critérios necessários para projetar comboios adaptados às regras da Normam 02 e uma avaliação de novas alternativas propulsivas para equipar empurradores empregados no transporte de álcool e derivados de petróleo. Para facilitar o entendimento do problema e identificar a necessidade do mercado internacional em empregar o álcool como aditivo à gasolina, o Capítulo 2 apresenta uma visão geral da oferta no mercado nacional do produto e demanda no mercado internacional. Procura-se neste capítulo fazer uma breve introdução sobre o problema ambiental gerado pelas emissões de gases poluentes na atmosfera provenientes do uso de combustíveis fósseis. Apresenta-se também um breve panorama das fontes de energia limpas ou renováveis. Posteriormente é mostrado o processo de produção do álcool no Brasil e sua oferta, assim como, a demanda dos principais países interessados neste produto.

Como o objetivo da Petrobras / Transpetro é transportar parte do álcool pela hidrovia Tietê-Paraná, o Capítulo 3 apresenta detalhadamente as particularidades desta hidrovia, e os fatores que podem interferir na navegação. Desta forma são apresentadas as obras de transposição, proteção de pilares de pontes e os principais pontos críticos para navegação. Estes pontos são importantes para avaliação do sistema propulsivo, pois ele está intimamente ligado com as características da via. Para garantir que a embarcação disponha de um sistema eficiente de manobra é necessário conhecer as características da via, assim como, suas restrições físicas. Para realização da avaliação econômica do transporte, é imprescindível conhecer as restrições físicas, pois elas são utilizadas para determinação dos tempos navegando e, conseqüentemente, os custos de viagem redonda e frete do comboio.

Antes de se pensar em construir ou projetar uma nova embarcação sempre recorresse ao estudo de embarcações semelhantes já em operação. Pelo fato de não

existir, atualmente, na hidrovia Tietê-Paraná, embarcações preparadas para o transporte destes produtos, o Capítulo 4 apresenta as características gerais dos comboios utilizados para o transporte de outras cargas na hidrovia. Mostram-se as particularidades do comboio tipo. Devido às características físicas da via definiu-se um comboio denominado tipo, ou seja, adaptado às estas restrições. Estes dados servem de base para considerações sobre o projeto de outros comboios com características similares para o transporte de combustíveis.

Conhecidas às características da via e dos comboios em operação, no Capítulo 5 apresentam-se os requisitos estabelecidos pela Normam 02 e pelas sociedades classificadoras para o projeto e classificação de comboios destinados ao transporte de combustíveis. Cabe ressaltar que neste capítulo é apresentada uma síntese dos principais critérios para o projeto do comboio, entretanto, é necessário que se realize um exame minucioso da norma para compreensão de todos os requisitos.

O Capítulo 6 apresenta uma análise das alternativas propulsoras Diesel-elétrica e Azipod. Inicialmente, mostram-se os resultados de uma investigação realizada para conhecer a evolução do sistema Diesel-elétrico de propulsão e suas aplicações ao longo do tempo. Posteriormente, apresentam-se as características deste sistema, assim como, suas vantagens e desvantagens. Finalmente, apresenta-se a instalação propulsora Azipod. São apresentados os equipamentos que compõem esta instalação, além das suas vantagens e desvantagens.

O Capítulo 7 apresenta os resultados das avaliações econômicas, ambientais e de segurança das três alternativas de instalações propostas para equipar o empurrador. Inicialmente, descrevem-se os métodos utilizados nas avaliações das instalações e em seguida realiza-se a análise no âmbito econômico. Neste contexto, são apresentados os procedimentos utilizados na determinação dos custos de aquisição para cada uma das instalações e estimam-se os custos de aquisição dos veículos. A seguir apresentam-se os custos operacionais destes comboios com as devidas instalações e, por fim, determinam-se os custos de viagem redonda e de frete para considerando cada instalação propulsora. Ainda no Capítulo 7, apresentam-se os resultados das análises de emissões das instalações propulsoras. Em seguida, apresentam-se os critérios considerados na análise de segurança nas condições de parada brusca e manobra de giro. Para escolher a melhor instalação para o comboio, aplica-se o Método de Análises Hierárquicas – AHP. Por

fim, apresenta-se a análise econômica e ambiental entre os modais rodoviário e hidroviário para realizar o transporte nas rotas de interesse.

O Capítulo 8 contém as considerações finais do trabalho. Neste capítulo, inicialmente, é apresentado um resumo do trabalho e depois as conclusões e recomendações para estudos futuros.

CAPÍTULO 2

A DEMANDA E OFERTA DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL NO MERCADO INTERNACIONAL

Este capítulo trata de duas questões importantes relacionadas com o uso do álcool combustível. Primeiramente, aborda-se a questão relacionada com a poluição atmosférica e os danos ambientais gerados pela utilização de combustíveis fósseis. São mostrados os principais agentes geradores do efeito estufa e as conseqüentes mudanças climáticas. Partindo deste ponto, são apresentadas as justificativas para uso de energias renováveis principalmente o álcool combustível. Em segundo lugar, é apresentada uma síntese do processo de produção de álcool e sua distribuição geográfica dentro do estado de São Paulo na área de influência da hidrovia Tietê-Paraná. São descritas as propostas existentes para exportação do produto, bem como as demandas internacionais.

2.1 - A questão ambiental

Atualmente, a atenção para as questões ambientais está voltada principalmente para os veículos automotores que são os principais responsáveis pela poluição atmosférica, com um efeito acumulado maior do que qualquer outro tipo de atividade humana. Mundialmente, os combustíveis fósseis mais utilizados pelos veículos automotores são a gasolina e o óleo Diesel, que emitem grande quantidade de gases tóxicos. Gases como o dióxido de carbono CO₂, hidrocarbonetos HC, entre outros, são prejudiciais à saúde sendo alguns até cancerígenos. As projeções indicam um crescimento progressivo das emissões de gases para os próximos anos, conforme apresentado no relatório elaborado pelo (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC, 2000).

Existe uma grande preocupação dos cientistas com relação aos efeitos prejudiciais da queima dos combustíveis fósseis e eles propuseram medidas de controle de emissão, como às estabelecidas no “Protocolo de Kyoto” e no “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL”.

2.1.1 - Mudanças climáticas globais

Sem dúvida os meios de transporte, em geral, são necessários para o desenvolvimento da economia mundial e o setor de transportes é obrigado a expandir-se para atender a demanda, muitas vezes de forma desordenada, causando diversos impactos ambientais locais, regionais e até mesmo globais. O modal rodoviário neste cenário apresenta-se como maior gerador dos gases causadores do efeito estufa. Estima-se que de 1750 a 2000, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 35% e a de metano CH₄ 151%, ambos oriundos principalmente da queima de combustíveis fósseis, seguidos das contribuições geradas pelas fazendas de produção de arroz e aterros sanitários (TASHETTO, 2001)

Os dados obtidos através de monitoramento climático em âmbito mundial apontam a gravidade deste problema. O planeta está aquecendo, isto não resta dúvida, estima-se que a superfície do planeta aqueceu em média 0,6 ° nos últimos 100 anos. Isto tem influência direta nos níveis de precipitações globais que também tiveram um aumento de 10 % no mesmo período. Além disso, registra-se que os verões estão mais longos e as noites mais quentes em função da absorção de raios infravermelhos do sol.

Os recentes desastres ambientais demonstraram as conseqüências destas mudanças, como, por exemplo, o furacão Katrina (2005), El-niño (1997). Enchentes na Ásia, Europa e América do Sul e o aumento de ciclones extra tropicais no litoral Sul do Brasil tenderão a ocorrer com mais intensidades nos próximos anos, segundo as projeções realizadas por computador.

2.1.2 - Fontes de energia renováveis

Dentre as formas de energia utilizadas atualmente, a maioria delas tem um fator complicador que é a poluição. Entretanto, existem formas de energia consideradas como renováveis, com uma característica menos poluidora, causando menor agressão ao meio ambiente. São cada vez maiores as necessidades energéticas para a produção de alimentos, bens de consumo, bens de serviço e produção, lazer e, para promover o desenvolvimento econômico, social, cultural e transporte. É, assim, evidente a importância da energia não só no contexto das grandes nações industrializadas, mas essencialmente para aquelas em via de desenvolvimento, cujas necessidades energéticas são ainda mais dramáticas e urgentes.

Hoje, para suprir a demanda de consumo de energia mundial fala-se muito na utilização de fontes alternativas de energia. O desenvolvimento e aplicação destas fontes está ganhando, cada vez mais, novos adeptos. As crises de petróleo, os impedimentos ambientais para construção de novas centrais hidroelétricas e termelétricas, que utilizam carvão mineral como fonte primária de energia, entre outras, usinas nucleares e outras formas de energia suja, como são denominadas, geram grandes problemas de deterioração ambiental.

Desta forma, a denominação fonte alternativa de energia não deriva apenas de uma solução eficiente, ela é sinônimo de uma energia limpa, pura, não poluente, a princípio inesgotável. Neste contexto, algumas formas de energia limpas são a solar, eólica e a biomassa. Do ponto de vista de transporte, pode-se citar como fontes alternativas o bioDiesel, extraído de vegetais e gorduras animais, a energia elétrica disponibilizada através de baterias ou células de combustível, o hidrogênio que está sendo desenvolvido principalmente nos Estados Unidos, o gás natural, composto por uma mistura de hidrocarbonetos, acondicionado em cilindros nos veículos, e o álcool extraído no Brasil da cana-de-açúcar. Neste contexto, o presente trabalho aborda dentre as várias fontes de energias alternativas o álcool de forma mais detalhada.

2.2 - Álcool Combustível

No Brasil são produzidos dois tipos álcoois combustíveis, o etanol hidratado e o anidro, ambos extraídos da cana-de-açúcar, mas podendo ser extraídos de qualquer biomassa que contenha açúcar. O álcool hidratado é utilizado em motores específicos de automóveis, sua composição varia de 92,6% a 93,8% de álcool a 20°C e o restante de água. O álcool anidro, é praticamente puro obtido através do processo de desidratação do álcool hidratado para formação do etanol, que é utilizado para ser misturado na gasolina como aditivo (SCANDIFFIO, 2004).

Diante da crise de 70, o governo brasileiro criou o Programa Nacional do Álcool – *Proálcool*, em 14 de novembro de 1975 pelo decreto nº 76.593, com o objetivo de estimular a produção do álcool, visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos. Neste decreto estava determinado que, a produção do álcool oriunda da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo deveria ser incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas ou autônomas, e de unidades armazenadoras. Além disso, o programa visava também gerar conseqüências benéficas para o país, tais como o crescimento da renda interna e geração de empregos (CARUSO, 2002).

Atualmente, o Brasil é o maior exportador mundial de álcool hidratado e anidro e muitos países, após a assinatura do protocolo de Kyoto, estão dispostos a utilizá-lo como aditivo, pois confere boas propriedades anti-detonantes ao combustível, ao invés de utilizar materiais pesados, poluidores e cancerígenos como o chumbo tetraetila e o Metil-Tércio-Butil-Éter - MTBE, originários do petróleo.

2.2.1 - Produção do álcool

O processo de produção do álcool brasileiro difere-se dos processos empregados em outros países, que usam o milho, sobras do processo de fabricação da celulose e

beterraba. No Brasil, o álcool é produzido a partir da cana-de-açúcar em duas regiões, a Nordeste e a Sudeste. Na região Nordeste o álcool é produzido nos estados de Pernambuco, Alagoas, Ceará, Bahia, Paraíba, Sergipe, Rio Grande do Norte e Maranhão sendo utilizado para atender o mercado interno e, no Sudeste, os estados de Goiás, Paraná, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e, principalmente, São Paulo produzem tanto para o mercado interno quanto para o externo. Em São Paulo, a plantação de cana-de-açúcar concentra-se nas regiões de Ribeirão Preto, Piracicaba, Jaú, Bauru, Araçatuba e Presidente Epitácio, sendo que o maior pólo produtor situa-se na região de Ribeirão Preto com 16% de todo o volume de álcool produzido, conforme mostrado na Figura 2.1. Em 2004, foram produzidos mais de 8,5 milhões de m³ de álcool, em 206 usinas e destilarias distribuídas na região centro-oeste do estado, classificadas como destilarias autônomas e anexas. As destilarias autônomas são as que produzem álcool exclusivamente e, as anexas, são aquelas instaladas no mesmo local das usinas de açúcar.

Figura 2. 1 - Área de concentração do plantio da cana-de-açúcar em de São Paulo

Entre o início do programa do Pro-álcool em 1975 e 2004, a produção total de álcool apresentou um crescimento fabuloso. Nota-se que a partir de 1986 a produção anual esteve na faixa de 12 milhões m³/ano, apresentando um declínio no ano 2000. Isto ocorreu porque a indústria automobilística reduziu a produção de carros movidos á

álcool no Brasil e houve valorização do preço do açúcar no mercado internacional. A partir de 2001, a produção nacional de álcool passou a apresentar novamente um crescimento chegando a uma produção de mais 14 milhões de m³/ano em 2004, segundo Única (2006), fato este impulsionado pela entrada dos veículos “*flex – power*” no mercado nacional e pelas exportações do produto conforme mostrado na Figura 2.2.

Do montante produzido no ano de 2004, observa-se um aspecto interessante. Segundo os dados fornecidos pela ANP (2006), aproximadamente 30% da produção de álcool concentram-se nas usinas próximas às margens da Hidrovia Tietê-Paraná, que corta todo interior paulista na área de influência da produção de álcool no estado. Isto pode ser observado na Figura 2.1 e na Tabela 2.1 que apresenta o volume produzido nas cidades as margens da hidrovia.

Figura 2. 2 - Produção de álcool no período entre 1975 à 2004

Fonte: ÚNICA (2005)

Tabela 2.1 - Produção de álcool na área de influência da hidrovia Tietê-Paraná

Produção total m ³ ano de 2004		
8.861.073,00 m ³		
Cidades	Quantidade	Volume m ³
Presidente Epitácio	11,70%	1.036,744,00
Araçatuba	5,80%	513.942,23
Jaú	13,40%	1.187.383,78
São Simão (GO)	1,98%	170.001,54

Total / ano	30,90%	2.908.071,56
--------------------	---------------	---------------------

As condições acima mencionadas propiciam a implantação de políticas de transporte da produção de álcool utilizando a hidrovia Tietê-Paraná na sua área de influência. É importante ressaltar que os Estados Unidos estão intensificando os investimentos no baixo Mississipi para escoar a produção de álcool e milho por hidrovia, segundo (NATIONAL CORNS GROWERS ASSOCIATION NCGA, 2005).

2.3 - Perspectivas de exportação do álcool combustível

As regras internacionais de controle da emissão gases responsáveis pelo efeito estufa, estão abrindo um mercado potencial para o setor sucroalcooleiro brasileiro. Dentre os países citados acima, os que mais apresentam condições para receber o álcool produzido no Brasil são: Japão, Estados Unidos, Europa e China.

Rocha (2003) explica que, atualmente, a exportação de álcool anidro é expressiva quando comparada ao total consumido de álcool no Brasil; aproximadamente de 15% a 20% do total produzido destina-se à exportação, e este índice deve ser mantido até 2014, quando as exportações de álcool anidro devem chegar a 5 milhões de m³. É de se esperar que os países desenvolvidos intensifiquem suas importações para atingir as metas de redução. Caso o Brasil aumente sua capacidade produtora terá condições de exportar mais álcool em menor tempo. A Figura 2.3 apresenta os potenciais países importadores do álcool brasileiro.

Figura 2. 3 - Potenciais exportadores do álcool brasileiro

Fonte: Figueira (2005)

A seguir é apresentado um breve comentário sobre as expectativas de exportação do álcool produzido no Brasil para os principais países mostrados na figura acima.

2.3.1 - Japão

Atualmente, o Japão constitui o maior mercado em expansão para receber o álcool produzido no Brasil. O Japão deverá misturar na gasolina o álcool brasileiro, numa fração inicial de 3%, pois esta foi a quantidade autorizada pelo governo japonês após a aprovação da lei que permitiu a mistura a partir de março de 2004. Esta decisão se deve ao alto consumo de gasolina do país que tem uma frota de 78 milhões de veículos com um consumo de 60 bilhões de litros de gasolina por ano, sendo o segundo maior consumidor mundial do produto, perdendo apenas para os Estados Unidos, segundo (FIGUEIRA, 2005).

Em curto prazo o Japão deve a importar aproximadamente 500 milhões de litros de álcool por ano do Brasil; a Petrobras estima que nos próximos anos exportará um volume entre 1,8 e 6 bilhões de litros de álcool, dependendo exatamente do crescimento gradativo da taxa de mistura aprovada pelo governo japonês. Figueira (2005) apresenta dois cenários para mostrar a demanda existente, considerando no primeiro uma mistura constante na ordem de 3% e no segundo 10% a partir de 2008, conforme apresentada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Projeções da demanda de consumo de álcool no Japão

Anos	Cenário 1 – Bilhões de litros Mistura 3%	Cenário 2 - Bilhões de litros Mistura 10% a partir de 2008
2004	1,82	1,82
2005	1,84	1,84
2006	1,85	1,85
2007	1,87	1,87
2008	1,89	6,35
2009	1,91	6,38
2010	1,93	6,44
2011	1,95	6,50
2012	1,96	6,56

Fonte: Figueira (2005)

2.3.2 - Estados Unidos

Existe nos Estados Unidos uma exigência da Energy Policy Act desde 2003, para o uso de 18 bilhões de litros de etanol por ano até 2007, para abastecimento dos veículos americanos. Entretanto, a produção de álcool neste país em 2004, foi cerca de 12,8 bilhões de litros, utilizando como matéria-prima o milho e a biomassa da celulose. A estimativa é que a produção alcance os 14 bilhões de litros nos próximos quatro anos, segundo (SCANDIFFIO, 2005).

Neste contexto, observa-se que o álcool produzido no território americano não atende a demanda futura, pois além de ser utilizado na mistura com a gasolina, é usado

nas indústrias químicas, laboratórios e etc. Somente o Brasil exportou aproximadamente 605 milhões de litros de álcool em 2004, e a expectativa de aumento da exportação depende ainda do Brasil negociar novos mercados dentro dos Estados Unidos. Graças às reduções de subsídios ao álcool anunciado pelo governo americano, surgiram neste país novos mercados (RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2006).

2.3.3 - Europa

Na Europa em 2003, o Conselho e o Parlamento Europeu aprovaram duas diretrizes que abordavam os aspectos de suprimento de energia. A primeira diretriz 2003/30/EC, promove o uso progressivo de biocombustível para o setor de industrial e de transporte. Para o ano de 2005, os biocombustíveis deveriam representar 2% de toda produção de gasolina e Diesel consumidos nos países da Europa, com objetivo de atingir os 5,75% propostos pelo Protocolo de Kyoto até 2010. Já a diretriz 2003/96/EC, dispõe sobre as questões tributárias para os biocombustíveis, segundo o (RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2006).

Neste contexto, Carvalho (2003) afirma que se todos os países europeus aderissem à utilização do álcool na mistura com a gasolina, numa fração de 2%, existirá uma demanda até 2006 de 8,5 bilhões de litros de álcool, caso fosse uma fração de 5,75% o volume necessário seria 14,1 bilhões de litros. Com a adesão de novos países no processo de utilização de biocombustíveis, a Europa vem apresentando grandes perspectivas para as exportações brasileiras de álcool.

2.3.4 - China

Embora a China não seja obrigada a reduzir as taxas de emissões de poluentes estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto, o governo chinês prevê a necessidade de importar álcool de outros países para misturar à gasolina, como uma forma de melhorar a qualidade do ar nas principais cidades chinesas. A frota veicular totaliza 35 milhões de

unidades, com uma taxa crescente de 10% ao ano e consumo de gasolina de 45 bilhões de litros por ano, além de usar 3 vezes mais óleo Diesel.

A expectativa para o ano de 2006 é que sejam firmados acordos entre o governo chinês e produtores brasileiros para exportação de inicial de 300 a 500 milhões de litros¹ de álcool e para os próximos dois anos sejam exportados mais de 2 bilhões de litros, pois em função dos jogos olímpicos o país pretende apresentar uma boa imagem ambiental.

¹ Publicado pelo Jornal do Comércio do Amazonas em 07 de maio de 2006.

CAPÍTULO 3

NAVEGAÇÃO NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ

Neste capítulo estão apresentadas de forma sucinta as principais restrições da hidrovia que influenciam a navegação, e portanto, no projeto dos comboios. Inicialmente, é apresentada uma descrição geral da hidrovia e posteriormente, aprofunda-se o tratamento dos itens de maior relevância:

Embora alguns autores já tenham analisado em trabalhos anteriores alguns destes itens, busca-se focalizar pontos importantes que não foram abordados e que têm influência direta no projeto de novas embarcações para esta hidrovia, principalmente quando estas adotarem sistemas de propulsão mais modernos.

3.1 - Considerações gerais

A hidrovia Tietê-Paraná foi concebida pela ótica de aproveitamento múltiplo das águas. Hoje ela é formada pelo conjunto de onze reservatórios, sendo quatro no Rio Paraná e sete no Rio Tietê (FERREIRA, 2000). Atualmente, mais que um corredor de transporte de mercadorias com fluxo bidirecional de cargas plenamente estruturado, a hidrovia representa um eixo indutor de desenvolvimento empresarial e regional no Estado de São Paulo. Estima-se que atualmente a hidrovia tenha capacidade de transportar até 13.800.000 toneladas de cargas por ano, segundo (ANDRADE, 2003). Entretanto, a AHRANA (2005) publicou que no ano de 2005 foram transportadas apenas cerca de 2.500.000 toneladas de produtos diversos pela hidrovia.

Sua área de influência atinge os estados de Mato Grosso, Goiás, Paraná, Minas Gerais e São Paulo e pode ser dividida em duas áreas geográficas, o Médio e Baixo Tietê. O Médio Tietê, após a execução de algumas obras hidráulicas significativas para

estabilidade do trecho, teve condições de receber uma navegação pioneira, estendendo-se desde o remanso de Barra Bonita até a barragem de Promissão em uma extensão navegável de 458 km. O Baixo Tietê estende-se de Promissão até o Rio Paraná, compreende as barragens de Nova Avanhandava e Três Irmãos, além do Canal de Pereira Barreto que liga os Rios Tietê, São José dos Dourados, Paraná e Paranaíba permitindo que as embarcações naveguem por quatro estados à montante da Barragem de Ilha Solteira e três estados à jusante da Barragem de Jupia. O Baixo Tietê apresenta fraca sinuosidade e larguras consideráveis.

Toda esta rede hidroviária pode ser vislumbrada na Figura 3.1, em que se identifica sua área de influência. Embora existam 11 barragens na hidrovia, há apenas 10 eclusas, pois a Barragem de Ilha Solteira não oferece sistema de transposição de nível. Isto causa certo inconveniente para o transporte fluvial na região uma vez que, para vencer o desnível imposto pela barragem, é necessário que as embarcações utilizem o Canal de Pereira Barreto.

O Canal Pereira Barreto tem papel importante para conexão da hidrovia, pois liga os tramos Sul e o Norte do Rio Paraná. Com profundidade média de 7 m e à montante da barragem de Três Irmãos, no Rio Tietê, este canal artificial, de 17 km, conecta o Tietê ao Rio São José dos Dourados e daí, numa extensão de 37 km, se atinge o Rio Paraná.

Figura 3. 1 - rea de influência da hidrovia

3.2 - Características físicas da hidrovia

3.2.1 – Canal de navegação

Um canal navegável de uma hidrovia é a seção da via sinalizada que oferece profundidade suficiente para que uma embarcação possa navegar com segurança. Uma das características do canal de navegação da hidrovia Tietê-Paraná é a variação de profundidade entre os rios que formam o corredor navegável. Com o decorrer dos anos o escoamento da água gera um atrito no entre as partículas do leito com o fluido formando erosões e sedimentações que mudam a conformação física e geológica do leito do rio. Além disso, a interferência do homem com a construção de barragens muda a conformação natural dos rios. Portanto, em todo trecho navegável ocorrem grandes variações de profundidade no canal de navegação que estão mostradas no ANEXO A.

Conforme descrito no ANEXO A, o Rio Tietê apresenta profundidades menores que o Rio Paraná e, em alguns trechos, profundidades bem reduzidas. Em muitos trechos foram realizadas obras de retificação do canal com intuito de aumentar a

profundidade, principalmente nos trechos mais rasos. Atualmente, em função destas obras o calado permitido para navegação é de 2,80 m, segundo a (MARINHA DO BRASIL, 2006).

No caso do Rio Paraná, à montante da barragem de Ilha Solteira, desde o encontro dos Rios Paraná e Paranaíba, as profundidades variam em torno de 20 m. À jusante da eclusa de Jupiá as profundidades também são elevadas em comparação com as do Rio Tietê, com uma média de 17 m. Sobre o aspecto de navegação o Rio Paraná dentro do território brasileiro apresenta condição tranqüila de curso d'água de planície, curvas suaves, leito bem estável, grandes e numerosas ilhotas, bancos de areia e declividade reduzida.

3.2.2 - Eclusas

Uma eclusa é um dique ou reservatório confinado, equipado com sistema de enchimento e esvaziamento de água, disposto em locais com grandes desníveis de leito, permitindo a descida ou subida de embarcações por esse trecho. Existem 8 eclusas no Rio Tietê e 2 eclusas no Rio Paraná, assim as características das eclusas estão apresentadas na Tabela 3.1.

A eclusa de Barra Bonita impõe maior restrição às embarcações, pois foi construída parcialmente embutida em rocha, com muros de ala constituídos na parte inferior por placas de concreto armado atiradas na rocha e na parte superior por blocos de gravidade. Por motivos construtivos possui uma mísula² estrutural disposta nas laterais do fundo da câmara, que limita a forma da carena das embarcações conforme mostrado na Figura 3.2. Nenhuma outra eclusa apresenta esta mísula.

² Dicionário Aurélio – “Mísula, (*arquit.*) ornato que ressaí de uma superfície geralmente vertical, e que sustenta um vaso, um arco etc.”.

Tabela 3 1 - Dimensões das eclusas

Características Gerais	RIO TIETÊ - PARANÁ						
	C	L	C. M.	A M.	D. M.	T. E.	C. E.
Barra Bonita	147.25	11.76	3.00	7.00	25.00	11.00	59.00
Bariri	142.00	12.02	3.00	7.00	24.00	10.00	53.00
Ibitinga	142.45	12.04	3.00	7.00	23.00	10.00	57.00
Promissão	142.00	12.00	3.00	7.00	27.00	15.00	67.00
Nova Avanhandava Inferior	142.00	12.10	3.00	7.00	18.00	10.00	57.00
Nova Avanhandava Superior	142.00	12.10	3.00	7.00	16.60	10.00	53.00
Três Irmãos Superior	142.00	12.10	4.50	10.00	24.30	11.00	59.00
Três Irmãos inferior	142.00	12.10	4.50	10.00	25.50	11.00	57.00
Rio Paraná							
Jupia	210.00	17.00	4.50	10.00	23.00	15.00	67.00
P. Primavera	210.00	17.00	4.50	10.00	22.60	15.00	67.00

Fonte: Pereira & Sampaio (2005)

Legenda Tabela 3.1: C=Comprimento - L= Largura – C. M.= Calado Máximo – A M.= Altura Máxima – D. M.= Desnível Máximo – T. E.= Tempo de Enchimento C. E.= Ciclo de Enchimento

3.2.3 - Outras restrições

Além das eclusas, há outras condicionantes para o processo de navegação na hidrovia Tietê-Paraná. Apesar de apresentar grandes larguras em boa parte de sua extensão, existem trechos com menor raio de curvatura que limitam a ultrapassagem entre as embarcações, intervindo na capacidade de manobras do comboio, requerendo maior atenção do piloto e eficiência das máquinas. Além disso, a existência de pilares de pontes no canal de navegação restringe a formação dos comboios forçando-os, em alguns casos, a desmembrarem-se para a passagem sob os tabuleiros. Por outro lado, os agentes ambientais interferem na operabilidade da embarcação, sendo em muitos casos causa complementar para acidentes na via.

A) Raios de curvatura

Ferreira (2000) apresentou um panorama dos raios de curvaturas da hidrovía identificando os principais pontos críticos. Existem 35 pontos críticos ao longo do Rio Tietê, com raios de curvatura que variam entre 530 a 1700 m, 5 pontos no Rio Paraná entre 1070 a 2547 m e 6 pontos no Rio Paranaíba de 1049 à 2728 m.

São definidos como críticos os trechos cuja largura ou raio de curvatura não permitem o cruzamento de comboios na hidrovía Tietê-Paraná. São utilizados nesta avaliação as dimensões do comboio tipo da hidrovía que são: comprimento 137,00 m, largura 22,00 m e calado 2,80 m. Neste trechos, os comboios são obrigados a realizar as manobras um de cada vez, para evitar que ocorram acidentes.

Em relação aos raios de curvatura, cabe ressaltar que em trechos curvos a embarcação assume posições oblíquas para efetuar a curva, porque o leme situa-se na popa, fazendo com que ela “rabeie”, ou seja, o equilíbrio das forças e momentos é restaurado quando a embarcação assume esta posição. Isto requer maior habilidade do piloto (Riva, 1983). Além disso, devem ser considerados fatores externos que interagem no processo de manobra nestes trechos, tais como, ventos, correntes, ondas e visibilidade que, em curvas mais longas, dificulta o trabalho do piloto. Neste caso, o timoneiro executa a manobra de forma intuitiva a cada instante, pois somente a conjugação da experiência de navegar na via com o balizamento e uma boa capacidade de manobra da embarcação podem auxiliá-lo neste processo. Por isso, o Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC estabelece que, para uma navegação segura, a relação entre o raio de curvatura da via e o ângulo de giro deve obedecer aos valores apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3 2 - Raios de curvatura do canal

Ângulo de giro	Raio de curvatura
Menor que 25°	3 x L
25° - 35°	5 x L
35°-55°	8 x L

Maior que 55°	10 x L
---------------	--------

Fonte: PIANC

O ângulo de giro é a posição que o comboio assume no momento que realiza a manobra. Verifica-se que quanto maior for ângulo de giro do comboio maior é o raio de curvatura necessário.

B) Pilares de pontes

Existem em toda extensão da hidrovia pilares de pontes dispostos ao longo do canal navegável, construídos segundo as normas estabelecidas pela Portobras. São 13 pontes no Rio Tietê, 3 pontes no Rio Paraná, 2 pontes nos Rios São José dos Dourados e Paranaíba. Algumas destas pontes permitem travessias duplas de comboios, ou seja, os vãos têm espaço suficiente para que passe um comboio no sentido de jusante e outro de montante ao mesmo tempo sob seus tabuleiros em vãos separados e outras permitem travessia única, isto é, utiliza-se o mesmo vão para passagem de montante e jusante. Ferreira (2000) menciona que nos Rios Tietê, Paraná, São José dos Dourados e Paranaíba os vãos mínimos entre os pilares das pontes são de 24,7 m, 40 m, 57 m, e 50 m respectivamente.

3.2.4 - Condições ambientais

Quando se trata de navegação interior, existem algumas variáveis ambientais que devem ser consideradas, pois têm grande influência na condução de uma embarcação. Em grandes lagos da hidrovia como, por exemplo, o de Promissão, a ação do vento gera ondas com comprimento e altura expressivas. Padovezi (2003) explica que foram registrados ventos com velocidade entre 40 a 45 km/h, formando ondas com comprimento de 22,60 m e altura de 1,49 m. Nota-se no estudo sobre os acidentes ocorridos na hidrovia Tietê-Paraná realizado por Ferreira (2000) que algumas das colisões de comboios ocorreram em dias com ventos fortes e com formação de ondas no canal.

Padovezi & Victoria Junior (2001) apresentaram em seu estudo as principais causas dos 19 acidentes ocorridos entre 1994 a 1999 apontando que 47,3% dos acidentes tiveram influência da ação de ventos na operação com chatas vazias.

3.2.5 - Sinalização

Atualmente, a hidrovía Tietê-Paraná encontra-se totalmente balizada com bóias flutuantes e placas que indicam para o timoneiro a rota de navegação. No rio Tietê incluindo o Canal de Pereira Barreto, a responsabilidade pela sinalização é da CESP e no Rio Paraná é de responsabilidade da AHRANA.

Os sinais luminosos dispostos ao longo da via são do tipo bóias cegas envolvidas com uma película reflexiva que permite a navegação noturna e em dias com pouca visibilidade. Existem também as placas que ficam nas margens da via e entre os vãos dos pilares das pontes. O balizamento total da via contém mais de 1000 pontos sinalizados e este segue as normas e orientação técnica da Marinha do Brasil. A Figura 3.7, apresenta os tipos de balizamento utilizados nesta hidrovía.

Figura 3. 2- Bóias e placas sinalizadoras

Fonte: Pereira & Sampaio (2005)

3.2.6 - Formação do comboio nos pontos restritos da hidrovía

Em vários trechos da hidrovia há limitações ao comprimento e largura do comboio. Assim, a NTHTPC (2005) identificou estes pontos classificando-os como área de segurança, pontos de parada obrigatória, pontos de espera e trecho de ponte além dos outros já citados anteriormente. A área de segurança refere-se à área fluvial navegável entre os pontos de parada obrigatória (PPO) de montante e jusante demarcados por bóias ou por placas de margem, incluindo a entrada das eclusas ou canal de Pereira Barreto. A função do PPO é indicar o local em que as embarcações devem parar até poderem prosseguir viagem com autorização do operador da eclusa ou coordenador de tráfego através do equipamento de comunicação.

Os pontos de espera (PE) estão sinalizados em terra ou em bóias flutuantes de amarração, situados à montante e jusante das obras de engenharia na Hidrovia Tietê-Paraná. Nestes pontos as embarcações podem ser amarradas “atracadas” em caso de necessidade (mau tempo, falha mecânica, desmembramento) ou para o cumprimento de instruções da Administradora da Hidrovia. Os pontos críticos estão indicados na Tabela 3.3.

CAPÍTULO 4

COMBOIO TIPO TIETÊ-PARANÁ

Este capítulo apresenta as características dos comboios tipo da hidrovia Tietê-Paraná, que são usados para o transporte de carga geral, graneis sólidos e líquidos não inflamáveis. Embora este trabalho seja focado no transporte de álcool e derivados de petróleo julga-se importante mostrar as características destes comboios por 2 motivos:

- 1- muitas das características destes comboios são estabelecidas para atender as restrições da hidrovia, portanto, estas darão subsidio para uma análise dos requisitos para o projeto do comboio destinado ao transporte de combustíveis;
- 2- é importante ter uma avaliação do desempenho operacional destes comboios e dos fatores envolvidos, com especial interesse nos sistemas propulsivos e de governo.

Para apresentar as características, o comboio foi desmembrado em duas partes, chata e empurrador. Inicialmente é feita uma abordagem das chatas, no que se refere às linhas de forma, integração, formação, porte do comboio. Posteriormente, é focalizado o empurrador, analisando-se os aspectos relacionados às formas e linhas do casco. Na seqüência, apresentam-se considerações sobre o sistema propulsivo do empurrador. Por fim, é descrito o sistema de governo do empurrador englobando suas características principais e os lemes mais utilizados em embarcações fluviais.

4.1 - Considerações gerais

Na hidrovia Tietê-Paraná operam vários tipos de embarcações destinadas ao transporte de passageiros, areia e carga. As embarcações de carga são classificadas como comboios fluviais, isto porque, sua configuração permite que sejam acopladas várias barcaças (“chatas”) arrumadas em flotilhas através de cabos de aço, conectadas a um empurrador, que as movimentam rio acima ou rio abaixo. O número de barcaças que formam o comboio depende da quantidade de carga disponível, das restrições imposta pela via e das normas das autoridades que controlam o tráfego de embarcações na hidrovia (TACHIBANA et al., 1995; PADOVEZI, 2003; CESP, 1995; RIVA, 1983, RIVA 1990, DARIO, 1999, DARIO, 2004, SANTANA, 2002; PEREIRA & SAMPAIO, 2005).

Os primeiros projetos de comboios fluviais para operarem na hidrovia Tietê-Paraná foram desenvolvidos com base em estudos de embarcações operantes na Europa e Estados Unidos. Posteriormente, decidiu-se adotar um comboio denominado “tipo” ou “padrão”, que deveria atender as restrições impostas pelas câmaras das eclusas (142,00 m x 12,00 m x 2,50 m), comprimento, largura e calado respectivamente.

4.2 - Características do Comboio tipo

O conceito de comboio tipo foi definido considerando os aspectos físicos e econômicos para o transporte de carga nesta hidrovia. Teoricamente, a embarcação tipo de uma via navegável é fruto de um estudo abrangente de transporte, que avalia a integração de modais, obras de melhoramento da via, entre outras variáveis que constituem restrições efetivas à navegação, que podem afetar o custo total de transporte (CESP, 1995). Na prática, quando as obras de transposição são executadas sem a ótica de aproveitamento múltiplo das águas, elas impõem sérias limitações à capacidade de carga das embarcações. Neste caso, o comboio tipo é consequência direta destas obras, sendo que o custo agregado ao transporte fluvial fica em segundo plano. Logo, são necessárias medidas para ampliar a rentabilidade econômica do comboio tipo como, por exemplo, a utilização de maior número de chatas. O comboio tipo do Tietê é formado por um empurrador e duas chatas, obedecendo à faixa de dimensões, mostrada na Tabela 4.1, segundo a CESP (1995):

Tabela 4. 1 - Faixa de dimensões do comboio tipo

Dimensões	Empurrador	Chatas
Comprimento	17,00 m a 21,00 m	57,00 a 60,00 m
Boca	6,00 m a 10,00 m	10,00 m a 11,00 m
Pontal	3,00 m a 3,50 m	3,00 m a 3,50 m
Calado	2,20 m	2,50 m a 2,80 m

Observa-se que as dimensões apresentadas na tabela acima, consideram às restrições impostas pelas obras de transposição do Rio Tietê, forçando os projetistas a encontrarem melhores soluções para os seguintes aspectos:

- Linhas e formas das barcaças;
- Integração entre as barcaças;
- Formação do comboio;
- Linhas e formas do empurrador;
- Eficiência propulsiva e capacidade de governo e segurança operacional do empurrador fluvial.

4.2.1 - Linhas e formas das barcaças

As barcaças apresentam formas simples, bem cheias, corpo paralelo médio em torno de 70% do comprimento total. Entretanto, as linhas de forma não podem ser simples demais e adotar a forma pontão “caixa”, porque a resistência hidrodinâmica aumentaria significativamente. Então, a proa dispõe de linhas em formas retas com ângulos de entrada ou em forma de cunha com dupla quina. Em alguns casos, a popa é do tipo transom que produz uma diminuição na resistência. Assim, consegue-se obter bom desempenho hidrodinâmico considerando que, quando formam o comboio, navegam em velocidades relativamente baixas, com pequeno número de Froude

$\left(\frac{V}{\sqrt{gL}} \right)$, na ordem de 0,27, admitindo velocidade de 10 km/h, condição em que a formação de ondas é menos pronunciada.

Em geral, cada barçaça tem um corpo de entrada, com ângulo variando de 20 a 30 graus, popa reta e na lateral da proa apresenta um chanfro que se situa num patamar de 10 a 15 graus de inclinação e comprimento com cerca de 4,00 m, para facilitar o acesso às eclusas (PEREIRA & SAMPAIO, 2005). A Figura 4.1 apresenta as características destas barçaças.

A opção por formas retas e planas para as barçaças principalmente no corpo paralelo, é pela facilidade de construção, já que diminui o uso de calandras e, conseqüentemente, reduz os custos com homem hora na construção do casco. Além disso, para comboios fluviais não se utiliza conceito de formas finas, com baixos coeficientes primástico e volumétrico, pois estes se aplicam às embarcações que navegam isoladas. Como as chatas navegam em muitos casos agrupadas e em baixas velocidades, elas podem ter um bom desempenho hidrodinâmico com formas cheias bem projetadas (DARIO, 1999, HIRATA et al., 1992).

Figura 4. 1 – Corpo de entrada e chanfro lateral na proa da barça

Fonte: Pereira & Sampaio (2005)

4.2.2 - Integração entre as barças

Na hidrovia Tietê-Paraná utiliza-se o comboio tipo semi-integrado, ou seja, as chatas têm popa do tipo transom colocadas ré contra ré; assim o escoamento que passa

no fundo da embarcação tende a ser mais uniforme e evita o problema de separação que ocorre em comboios não integrados, conforme mostrado na Figura 4.2.

Figura 4. 2 - Tipos de formação dos comboios

Fonte: Hirata (1991)

Fato importante relacionado com a formação do comboio é a potência efetiva. O estudo realizado pela Cesp (1995), indica que o comboio não integrado tem aumento da resistência ao avanço de 25% em relação ao comboio semi-integrado e 30% em relação ao comboio integrado.

4.2.3 - Formação do comboio

Como já citado anteriormente, a formação do comboio tipo da hidrovía é 2 x 1, porém atualmente navega-se com formação 2 x 2, ou seja, duas linhas de duas chatas em paralelo o que reduz o custo total de transporte.

Recentemente, alguns armadores solicitaram à Marinha do Brasil autorização para operarem com comboios em formação 3 x 2 na hidrovía Tietê – Paraná, mas esta solicitação ainda encontra-se em fase de estudo. Embora, ocorra um aumento da potência, a relação entre custo benefício tem levado os armadores a operarem na hidrovía Tietê-Paraná com formação 2 x 2 por quase todo trecho, sendo necessário, porém, realizar desmembramentos na passagem por pontes e nas eclusas.

4.2.4 - Empurrador fluvial

O empurrador é a unidade motora e habitável, dotada de equipamentos de propulsão, governo e manobra. Ele é utilizado para a movimentação de chatas, rio acima ou rio abaixo, sendo que em algumas situações navega em escoteiro, ou seja, navega sem estar agrupado às chatas.

Pelo fato do empurrador operar em duas condições diferentes, é necessário que ele seja adaptado à via, disponha de equipamentos de manobra e governo que ofereçam segurança e garanta o cumprimento de sua missão com a maior eficiência possível.

A eficiência do empurrador fluvial depende das seguintes características:

- Dimensões;
- Formas e linhas do casco;
- Sistemas de propulsão e governo;
- Visada do operador para realização de manobras.

A) Dimensões principais

As dimensões principais do empurrador estão diretamente relacionadas às dimensões máximas do comboio e às restrições impostas pelas eclusas. Assim, conforme apresentado na Tabela 4.1, o comprimento do empurrador varia conforme o comprimento da chata, não devendo exceder 21 m. A boca do empurrador deve ser a maior possível, para garantir sua estabilidade quando estiver navegando em escoteiro. Além do mais, em alguns casos, o empurrador pode transportar carga no convés ou ter motores instalados mais próximos do convés principal o que eleva o centro de gravidade, assim uma boca maior proporciona maior estabilidade nestas condições.

Em relação ao calado de operação, sugere-se que ele seja sempre menor que o permitido pela via, pois na passagem em águas restritas frequentemente ocorre

afundamento paralelo e trim pela popa. Neste caso pode ocorrer choque do equipamento de governo e propulsão com o fundo do canal (CESP. 1995; PADOVEZI, 1997; CHRISTOPOULOS & LATORRE 1983).

B) Formas e linhas do casco

Considerando que na maior parte do tempo o empurrador navega à ré das chatas, suas formas de proa não necessitam ser tão trabalhadas; cuidado especial no projeto deve ser tomado se o empurrador opere longos períodos em escoteiro. Em virtude de suas formas, quando operando em escoteiro o empurrador tende a apresentar trim de proa, fato este observado em ensaios em escala real no rio Araguaia, (PADOVEZI, 1994).

Na popa do empurrador são instalados os sistemas de propulsão e de governo. Como em muitos casos o comboio opera com restrições de calado, é necessário que a popa do empurrador tenha um túnel para acomodar o hélice. A utilização de túneis permite a instalação de hélice com diâmetros maiores, o que leva a um aumento da eficiência.

Estas características são comuns nos empurradores empregados na hidrovía Tietê-Paraná. A Figura 4.3, ilustra as linhas e formas do empurrador padrão Tietê-Paraná.

Conhecendo as características básicas de linhas e de formas do empurrador, a Tabela 4.2, apresenta um conjunto de parâmetros adimensionais que caracterizam o empurrador típico da hidrovía Tietê-Paraná, segundo (RIVA, 1983). Foi realizada uma comparação destes adimensionais com outros empurradores que operam em outras hidrovias brasileiras, tais como: Araguaia e Paraguai-Paraná, segundo os dados coletados nos trabalhos de (PADOVEZI, 1997, FREIRIA, 2003).

Figura 4. 3 – Linhas de um empurrador

Fonte: Cesp (1995)

Tabela 4.2 – Parâmetros adimensionais dos empurradores em algumas hidrovias brasileiras

Razão	Símbolo	Tietê	Paraguai/ Paraná	Araguaia
Comprimento - boca	$\frac{L}{B}$	2,3	3,19	3,08
Boca - calado	$\frac{B}{H}$	4,54	1,84	4,28
Comprimento - Calado	$\frac{L}{H}$	10,45	5,90	13,21
Coeficiente volumétrico	$\frac{L^3}{(LxBxHxCb)}$	40,07	30,46	65,71
Coeficiente de bloco	Cb	0,60	0,62	0,62

Os adimensionais apresentados na tabela acima mostram claramente as características dos empurradores empregados em cada hidrovia. Os empurradores da

hidrovia Tietê-Paraná apresentam menor relação $\frac{L}{B}$ devido às restrições impostas pelas

eclusas; ao contrario relação $\frac{B}{H}$ é maior, pois os outros comboios operam com calados maiores em relação aos desta hidrovia; em relação ao Cb observa-se que não existem grandes variações.

C) Considerações sobre o sistema propulsor

O projeto do sistema de propulsão deve atender duas premissas principais, atingir a velocidade de cruzeiro e garantir a segurança operacional. A velocidade de cruzeiro é definida pelo armador em função da rota, capacidade de carga do comboio e pela disponibilidade de carga a ser transportada pela embarcação (RIVA, 2000). No geral, busca-se, ao projetar o sistema propulsor garantir potência suficiente para atingir a velocidade de projeto, considerando os aspectos físicos da embarcação e o menor consumo de combustível.

C1) Instalação propulsora

Os empurradores fluviais utilizados na hidrovia Tietê-Paraná utilizam a instalação Diesel com eixos propulsores convencional. Grande parte destes empurradores usa 2 motores Diesel de alta rotação acoplados ao hélice através de redutores. Em geral a potência instalada destes comboios situam-se na faixa de 850 hp a 1000 hp. Padovezi (2003) adotou comboios com potência da ordem de 850 hp para operação na hidrovia Tietê. Garcia (2001) considerou um comboio tipo com potência de 860 hp para realização de avaliação de ordem econômica. Os dados da CESP (1995) e informações obtidas junto às sociedades classificadoras indicam que estas são as faixas de potência usual na hidrovia. A título de exemplo, o Anexo B apresenta o desenho esquemático do convés inferior da praça de máquinas de um empurrador utilizado na hidrovia, figura cedida gentilmente pela Classificadora Bureau Colombo.

C2) Hélice

Utiliza-se, em geral, nos empurradores da hidrovía Tietê-Paraná o maior diâmetro de hélice possível. Em alguns casos existem empurradores que utilizam mais de 2 propulsores para reduzir o empuxo requerido de cada hélice, diminuindo o seu carregamento e obtendo maior eficiência. Em casos de restrições para o uso de maior diâmetro de hélice, constroem-se semi-túneis na popa, que permitem abrigar hélices com diâmetros em torno de 90 a 95% do calado do empurrador. Todavia, a utilização de túneis de popa pode possibilitar o aumento de ocorrências de vibrações induzidas da operação dos hélices.

C3) Segurança operacional

Toda embarcação está sujeita a enfrentar situações que obriguem o piloto a realizar uma parada brusca. Neste caso, o sistema propulsor do empurrador deve ter a capacidade de limitar a distância percorrida pela embarcação a partir de uma determinada velocidade. A restrição para a máxima distância percorrida pelo comboio pode ser estimada pela máxima distância de visada do objeto à frente do comboio, em função do comprimento máximo do comboio.

Padovezi (2003), apresenta os resultados de um comboio tipo da hidrovía, com duas chatas vazias em linha, isto é, formação 2 x 1, realizando um ensaio de parada brusca. À distância percorrida pelo comboio foi de 253 m, ou seja, 1,84 vezes o comprimento do comboio. Padovezi (2001), mostra que no caso de comboio carregado, à distância de parada chega a aproximadamente 2,5 vezes o comprimento do comboio, ou seja, 343,75 m.

Por outro lado, quando se navega em rios que apresentam trechos sinuosos exige-se grande cuidado com as possíveis choques com as margens do canal. Em relação à manobra de giro, Padovezi (2003) apresenta os resultados de um estudo realizado com comboio em escala 1:6 pilotado no Rio Tietê. Foi analisada a relação

diâmetro de giro (D_g) e comprimento do comboio (L) para varias formações. Para o comboio tipo 2 x 2 com chatas vazias a relação D_g/L foi de 4,97. O autor não faz comentários em relação aos resultados expostos, contudo, observou-se ao longo da investigação que em alguns casos, embarcações marítimas apresentam quase que a mesma relação D_g/L destes comboios. Claro que as características operacionais entre elas são diferentes, mas nota-se que o comboio vazio em formação 2 x 2 apresenta um alto valor de D_g/L . Verificou-se que na formação 3 x 2 a relação D_g/L foi da ordem 4,27, isto mostra uma forte influência do comprimento do comboio na realização da manobra de giro, pois quanto maior a relação L/B menor o D_g/L . O Anexo C mostra mais detalhes sobre este ensaio.

D) Sistema de Governo

Em geral, os empurradores são dotados de lemes responsáveis pelo governo do comboio. Os lemes podem ser dispostos tanto a vante quanto à ré dos hélices; quando colocados contra o escoamento geram uma força de sustentação proporcional ao ângulo de ataque em relação ao fluído. Por outro lado, os lemes podem interferir na resistência ao avanço da embarcação, por isso é importante que ele tenha formas adequadas para minimizar este efeito. A melhor maneira para atender esta exigência é utilizar a forma de um fólio.

O leme mais comum encontrado nos empurradores da hidrovia é o de chapa singela, que consiste de uma chapa de aço com enrijecedores na direção do fluxo (PEREIRA & SAMPAIO, 2005). Este tipo de leme é muito empregado devido a sua fácil construção e o baixo custo, porém tem baixa eficiência.

Para navegação fluvial admite-se que a corda do leme deve ter uma relação de 0,7 a 1,1 vezes o diâmetro do hélice. A área aproximada do leme é de 2,5% $L \times H$ (comprimento x calado). Quando o valor de $L \times H$ for muito elevado e o leme corresponder a uma razão de aspecto também elevada, deve-se estudar a possibilidade de multiplicidade de lemes por propulsor, se as condições de governo forem críticas

(LUTHRA, 1982; SHMAKOV, 1973). Nos trabalhos destes autores, apresentam-se uma série de testes realizados em diversas configurações de lemes para vários de embarcações.

E) Arranjo do empurrador

Em geral, as embarcações que operam pela hidrovia Tietê-Paraná apresentam deficiências de visibilidade em virtude das restrições em pontes e máscaras de eclusas. A falta de visibilidade pode levar a perda de controlabilidade do comboio aumentando os riscos de ocorrência de acidentes.

Para evitar este tipo de problema os empurradores são dotados de passadiço com ponte de comando elevatória que proporciona uma distância de visada, a partir da proa do comboio, na faixa de 200,00 m. Para comboios normais do Rio Tietê recomenda-se altura de visada 8,20 m, enquanto para Rio Paraná 11,40 m, segundo (CESP, 1995). Os detalhes do sistema de visada do empurrador pode ser visto no Anexo B.

4.3 - Principais deficiências encontradas nos comboios fluviais

Ao longo da investigação verificou-se que muitos comboios que operam na hidrovia não apresentam bom desempenho. Cesp (1995), apresenta as principais deficiências dos comboios tipos da hidrovia são:

- instabilidade direcional, principalmente na condição vazia, apresentando grande superfície vélica;
- falta de potência, principalmente em regime de correnteza e ventos, dificultando a manobra e singradura;
- falha nos equipamentos de manobra e manutenção de curso;
- pouca visibilidade a partir do passadiço do empurrador;

- imperfeição do sistema de amarração entre as barcas e atrelamento entre flotilha e empurrador;
- deficiência em luzes de navegação e rádio comunicação;
- imperfeição em equipamentos de saltavagem e combate ao fogo;
- má condições de habitabilidade, espaço pequeno para tripulação do empurrador.

Observa-se que estas deficiências durante a operação dos comboios comprometem principalmente a segurança destas embarcações. A conjunção da instabilidade direcional com as condições ambientais adversas aumenta a probabilidade de ocorrências de acidentes. É comum na hidrovia a operação de comboios com chatas vazias devido à inexistência de carga de retorno. O somatório da maior área vélica exposta ao vento, redução da capacidade de manobra e pouca visibilidade resulta no alto risco de colisão dos comboios nestas condições. Chama-se a atenção para as falhas relacionadas com os equipamentos de manobra e governo, pois eles são essenciais para garantir que a embarcação se mantenha em rumo e não colida com outras embarcações ou obras fixas. Embarcações que apresentam estas deficiências certamente colocam em risco a segurança dos tripulantes, da própria embarcação e de todos os usuários da via.

Embora não seja corriqueiro o desprendimento de uma chata, este evento pode acarretar sérios problemas. Ela pode colidir com outra embarcação no sentido contrário, ou dependendo do trecho, chocar-se com alguma estrutura disposta ao longo da via. Além disso, perde-se tempo para recompor o comboio o certamente onera o armador.

Contudo, é importante salientar que, para superar estes problemas apresentados, estas embarcações devem ser projetadas e equipadas com equipamentos modernos de manobra e governo, com alto grau de segurança, confiabilidade e que forneçam respostas rápidas para o piloto. Existem diversas alternativas de instalações propulsoras para estas embarcações, como por exemplo, sistemas azimutais de propulsão que oferecem melhorias significativas na condição de manobra. Quanto ao sistema de governo podem-se utilizar lemes com flaps, que gera um aumento de 40% no coeficiente de sustentação dos lemes (PADOVEZI, 2003). Além disso, emprega-se em alguns casos o uso de boat thrusters conforme citado anteriormente, que aumenta bastante a capacidade de manobra do comboio. Segundo as informações divulgadas pela

Cinco Bacias com este sistema reduziram-se sensivelmente o número de colisões dos comboios com barrancos e margens da hidrovia. Deve-se pensar também nas questões ligadas à acomodação da tripulação, pois dependendo do sistema propulsor escolhido, pode-se oferecer mais conforto e espaço para o alojamento dos tripulantes.

CAPÍTULO 5

REQUISITOS PARA O PROJETO DE COMBOIOS TRANSPORTADORES DE COMBUSTÍVEIS

No capítulo anterior foi apresentada uma descrição física do comboio tipo da hidrovia Tietê-Paraná, bem como dos principais fatores que interferem no comportamento do comboio utilizado no transporte de cargas em geral, exceto líquidos inflamáveis. Neste capítulo será efetuada uma análise dos critérios exigidos pelas Normas da Autoridade Marítima Brasileira - Normam e pelo Bureau Colombo Sociedade Classificadora, no que diz respeito ao projeto do comboio fluvial adaptado ao transporte de combustíveis.

A análise destas normas é importante para que os projetos das embarcações atendam os parâmetros estabelecidos internacionalmente em relação à segurança do transporte hidroviário de cargas perigosas. Buscou-se verificar quais são os requisitos mínimos para o projeto da barcaça e do empurrador. No que tange à barcaça, são apresentadas as principais recomendações para os tanques de carga, no que se refere ao espaçamento de costado e fundo duplo, sistemas de ventilação e equipamentos de instrumentação e monitoramento dos tanques de carga. Além disso, este capítulo apresenta algumas considerações sobre a construção e distribuição dos equipamentos nas barcaças. No caso do empurrador são abordados os requisitos para a instalação propulsora.

O Anexo D apresenta uma descrição dos procedimentos que devem ser adotados para aumentar a segurança no transporte, assim como, prevenir e controlar a poluição, prevenir e controlar incêndio, garantir a segurança da tripulação, proporcionar manutenção e reparo e segurança operacional do comboio. São apresentadas ainda considerações sobre a estabilidade de barcaças e empurradores.

5.1 - Considerações gerais

O transporte de cargas perigosas por meio de embarcações sempre foi uma questão preocupante no mundo inteiro. Desde a descoberta do petróleo em 1859, as embarcações tiveram um papel fundamental no seu transporte. Antigamente ele era transportado em barris em cima do convés e colocava em risco a segurança da embarcação e da tripulação, pois frequentemente ocorriam acidentes como explosões e incêndios. Posteriormente, foram construídos os primeiros navios petroleiros, em que o petróleo era acondicionado em tanques. Mas, devido aos grandes acidentes que ocorreram ao longo do século passado como, por exemplo, o famoso caso do navio Exxol Valdez que derramou milhares de litros de óleo no Alasca, a sociedade reagiu pressionando os armadores e estaleiros a construírem embarcações mais seguras.

A primeira convenção específica para tratar sobre derramamento de óleo foi criada em 1954, denominada Oil Pollution, e coordenada pelo governo britânico em parceria com as Nações Unidas. Em 1958, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou a Organização Marítima Internacional (International Maritime Organization - IMO), organismo regulador dos procedimentos de segurança marítima. Após o acidente do navio Torrey Canyon em 1967, a IMO estabeleceu vários critérios sobre a prevenção da poluição marinha, aprovada numa convenção em 1973. Posteriormente, foram incluídos novos critérios em 1978, resultando na criação da International Convention for the Prevention of Pollution from Ship, conhecida como MARPOL 73/78. Mesmo com as regras mais rígidas instituídas pela MARPOL, somente em 1990 após o acidente do Exxol Valdez, foi que a Oil Pollution Act - OPA, estabeleceu que todos os navios que transportem petróleo deveriam ter casco duplo.

É dentro deste mesmo espírito que a Normam estabelece um conjunto de regras para às embarcações que navegam pelas hidrovias brasileiras, para transporte de combustíveis, baseadas nas resoluções estabelecidas pela MARPOL 73/78 e pela OPA. Na ultima edição da Normam em 2003, foi adicionado, dentro do Capítulo 5, uma seção que trata dos requisitos mínimos exigidos para embarcações que transportem combustíveis pelas hidrovias brasileiras. É importante ressaltar que as sociedades classificadoras estabelecem regras consistentes com estas normas.

Considera-se carga perigosa, cargas que com alto poder de explosão e contaminação como: gases comprimidos ou liquefeitos, líquidos inflamáveis, oxidantes, venenosos, infectantes, corrosivas ou substâncias radioativas, que podem apresentar riscos à tripulação, ao navio, às instalações portuárias e ao meio ambiente. Essas mercadorias, de acordo com a sua natureza, podem ser transportadas embaladas ou a granel. As mercadorias perigosas aqui definidas, encontram-se relacionadas nos códigos e convenções internacionais publicados pela IMO.

De acordo com Vasconcellos (2005), todo carregamento de hidrocarbonetos e seus derivados, ou seja, Diesel, gasolina, querosene e nafta, além de álcool combustível envolvem perigo de combustão.

É importante salientar que existe uma separação entre as entidades responsáveis pelas vistorias das embarcações que transportam petróleo e derivados pelas hidrovias. A Normam estabelece as regras para embarcações que tenham até 500 AB³, as quais são vistoriadas pela Gerência de Vistorias (GEVI), enquanto que as sociedades classificadoras determinam os requisitos mínimos para embarcações acima de 500 AB, baseados nos critérios apresentados pela Normam. Como na hidrovia Tietê-Paraná devem ser empregados comboios para o transporte de grandes volumes de cargas, são apresentados, neste estudo, os principais requisitos para embarcações acima de 500 AB, segundo as regras impostas pela Normam e pela Bureau Colombo Sociedade Classificadora, consolidadas em 2003.

De acordo com as regras estabelecidas pela sociedade classificadora, o projeto de embarcações fluviais que transportam combustíveis deve satisfazer as seguintes restrições:

$$L/H \leq 32 \text{ e } L/B \leq 9,5$$

em que:

L é o comprimento da embarcação;

³ AB: Arqueação bruta.

B é a boca da embarcação;

H é o calado da embarcação.

Entretanto, estas regras não devem ser adotadas para embarcações que transportem substâncias tóxicas corrosivas nem gases liquefeitos sob pressão, pois existem normas específicas para este tipo de embarcação.

5.2 - Aspectos de projeto das barcas

Atualmente, é imprescindível que toda embarcação, auto-propelida ou não, que transporte cargas perigosas, seja projetada na região dos tanques de carga com fundo e costado duplo. Adota-se duplo casco para evitar contaminação do meio ambiente, em casos de acidentes, com o casco envolvendo encalhe ou colisão.

A Normam estabelece que o tanque de carga deve estar afastado no mínimo 1,00 m do costado, e a altura do duplo fundo esteja entre $B/15$ ou 0,76 m, o valor que resultar maior. São apresentados a seguir, os critérios para projeto de tanques e praça de bombas, bem como parâmetros para determinar a borda livre e a estabilidade da barca em condições normais e em caso de avaria.

5.2.1 - Tanques das barcas

Os tanques devem ser segregados dos outros compartimentos da embarcação tais como: acomodações, áreas de serviços, maquinaria, praça de bombas de carga, praça de cargas, tanques de óleo combustível, tanques vazios e outros espaços semelhantes. Além disso, toda e qualquer carga ou mistura que possa reagir de forma perigosa deve ser segregada. A carga não pode ser transportada dentro dos pique tanques de vante e de ré, pois em caso de colisão pode ocorrer vazamento e ocasionar poluição e explosão.

Durante a vida útil da embarcação os tanques de carga e o duplo fundo são inspecionados diversas vezes, seja devido a algum vazamento, limpeza ou vistoria da

sociedade classificadora. Assim, os tanques devem ser providos de acesso ao duplo fundo, que podem ser aberturas horizontais, escotilhões ou porta de visita que devem ter dimensões suficientes para passagem de uma pessoa vestindo equipamento de segurança sem obstruções. A dimensão mínima exigida é 600 x 600 mm. Em caso de aberturas verticais ou portas de visita as dimensões devem ser 600 x 800 mm.

Salienta-se que para o acesso ao tanque deve-se considerar a presença de gases residuais, o que exige cuidados especiais para evitar acidentes e colocar em risco a vida humana. Para minimizar este problema, devem ser instalados instrumentos para a detecção de gases.

As embarcações-tanque devem ser equipadas com, pelo menos, dois instrumentos projetados e calibrados para detectar vapores específicos para o tipo de carga transportada. Como se pretende transportar álcool e derivados claros de petróleo, os instrumentos devem estar calibrados para estes produtos. Estes instrumentos podem ser do tipo portátil ou fixo. No caso da instalação de um sistema fixo, pelo menos um instrumento portátil deverá estar disponível.

No caso de embarcações que transportem cargas com pontos de fulgor abaixo de 60°, os tanques que armazenam estes produtos devem ser providos com três sensores para indicação do nível de aferição, alarme de nível alto e controle de extravasamento. Os elementos dos três sensores acima devem ser separados, porém o alarme de nível alto e o controle de extravasamento podem estar contidos no mesmo tubo. Os circuitos eletrônicos, pneumáticos e hidráulicos para os sensores requeridos para o monitoramento dos tanques, devem ser independentes para que a falha de um deles não deixe inoperantes os demais.

Ainda no sentido de garantir a segurança, devem ser instalados sistemas de ventilação independentes nos tanques de carga, duplo fundo, praça de bombas, praça de máquinas e casarias. Estes sistemas devem ser organizados para prevenir entrada de água nos tanques de carga e, ao mesmo tempo, as aberturas de saída devem dirigir a descarga de vapor para cima na forma de jatos desimpedidos. Além disso, o sistema de ventilação deve ser provido de dispositivos para prevenir a passagem de faíscas para os tanques de carga.

Durante o transbordo da carga líquida utilizam-se aberturas rosqueadas ou válvulas de acoplamento para evitar a perda da parte vaporizada da carga. Para evitar

essa perda e também para evitar eventual ocorrência de problemas estruturais em dias de alta incidência solar e temperatura elevada, utilizam-se as válvulas de alívio de esfera. A escolha dessas esferas, fabricadas de materiais plásticos (PVC), depende do combustível e pressão tolerável (as tensões decorrentes dessa pressão, somada às tensões de carregamento, não devem provocar danos estruturais, como por exemplo, a flambagem). Quando a pressão atinge esse valor estimado, a esfera é empurrada para cima e os gases escapam, diminuindo a pressão interna no tanque, fazendo a esfera retornar à posição inicial e vedando a passagem dos gases (GARCIA, 2001). As válvulas utilizadas devem ser certificadas através de testes de bancada, com prazo de validade inferior a 24 meses.

Pode-se utilizar também suspiros individuais para cada tanque, que podem ser combinados em um coletor comum ou coletores, considerando a segregação de carga. As saídas dos suspiros para embarcações não tripuladas, como é o caso das chatas, devem estar a uma altura de 2,00 m acima do convés contanto que a exaustão das válvulas tenha uma velocidade de saída de pelo menos 30 m/s.

Cabe salientar que, para facilitar a retirada da carga, os tanques devem apresentar tosameto, para um dos bordos, no sentido longitudinal, ou ambos, de modo a facilitar operação de descarga. Os pocetos destinados à sucção da carga podem avançar dentro dos limites estabelecidos para a altura do fundo duplo, desde que, sua capacidade volumétrica seja inferior a 100 litros, e que o referido avanço não resulte em redução do afastamento em relação ao fundo superior a 25%.

5.2.2 - Praça de bombas de carga das barcas

As praças de bombas devem ser projetadas de forma a garantir passagem sem restrição para o convés e o fundo duplo. São necessárias válvulas para manuseio da carga, assim como, ser provida de uma saída e acesso de emergência. Todos os acessos à praça de bombas devem ser localizados nas áreas de cargas. Somente o acesso para o fundo duplo pode ser realizado através da praça de bombas de carga. Na fase de projeto deve-se considerar meios para lidar com drenagem e qualquer possível vazamento de carga bombeada, ou das válvulas, na praça de bombas.

5.3 - Requisitos para construção das barcas

A Normam estabelece também alguns requisitos sobre os aspectos construtivos, dentro os quais, citam-se aqueles que apresentam maior relevância:

- a embarcação deve ter uma borda de contenção contínua no convés de, pelo menos, 150 mm de altura ao redor de toda área do convés, de tal modo que eventuais vazamentos de produtos tóxicos sejam contidos no convés;
- em relação aos tanques de carga, não deve haver nenhuma conexão direta entre os tanques de carga;
- deve ser instalado um sistema de controle de carregamento um alarme de nível alto dos tanques de carga, que deverá soar quando o nível do tanque alcançar 95% da sua capacidade. O alarme deverá ser individual para cada tanque e audível em toda área de operação da embarcação;
- o motor do conjunto moto-bomba deverá ser instalado fora da área de carga e deverá estar abrigado por casaria que permita ampla ventilação natural. Entre o motor e a bomba de carga deverá ser instalada uma antepara de altura de pelo menos 1500 mm, e largura de pelo menos 2000 mm.

5.4 - Critérios para projeto de empurrador fluvial

Os motores de propulsão principal (MCP) devem ser instalados em um espaço fechado, separado por anteparas que isolem a praça de máquinas dos outros compartimentos do empurrador. Quando o compartimento de máquinas for alojado no convés, deverá ser projetado em espaços separados. Entretanto, quando as máquinas instaladas no convés forem do tipo propulsor direcional, pode ser dispensada a provisão

de um compartimento de máquinas separado, contanto que estas máquinas não sejam operadas durante a operação de carga e descarga.

Deve-se atentar quanto à questão da segurança na praça de máquinas. As redes de óleo combustível e óleo dos sistemas hidráulicos devem ser instaladas de modo a evitar a ocorrência de vazamentos sobre superfícies quentes. Além disso, os equipamentos instalados nas proximidades dessas redes devem ser protegidos contra borrifos de óleo.

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DE NOVAS ALTERNATIVAS PARA PROPULSÃO DO COMBOIO

Este capítulo tem como objetivo analisar novas alternativas propulsivas para comboios fluviais destinados ao transporte de álcool e derivados de petróleo. São analisadas as instalações Diesel-elétrica, com arranjo convencional e com sistema Azipod. A propulsão elétrica, tem tido um crescimento acelerado nos últimos anos, dadas às muitas vantagens de sua utilização; entretanto, seu emprego no meio fluvial ainda é baixo nos dias atuais. Apresenta-se um levantamento da aplicação da propulsão Diesel-elétrica em embarcações marítimas e, com maior atenção, em embarcações fluviais. Em seguida, sintetizam-se as características desta instalação, assim como suas vantagens e as desvantagens.

Posteriormente, apresenta-se uma descrição do sistema Azipod, com identificação de suas características de operação, bem como suas vantagens e desvantagens.

6.1 - Emprego da propulsão elétrica

Entende-se por propulsão Diesel-elétrica um sistema constituído por um gerador elétrico, ou alternador, acionado por motor Diesel, que fornece energia para um motor elétrico, o qual aciona o hélice. O uso da propulsão elétrica em embarcações marítimas data do final do século XIX. A primeira embarcação que utilizou este sistema foi construída na Rússia para transportar passageiros; sua fonte principal de energia era composta de uma série baterias. O mesmo sistema de baterias foi instalado no navio “Neptune”, lançado ao mar em 1913, (SOLER & MIRANDA, 1997).

Na navegação fluvial sua aplicação foi amplamente difundida nos Estados Unidos, quando a marinha americana construiu os primeiros “lightships”, navios faróis, que usavam propulsão Diesel-elétrica para operarem nas hidrovias americanas no período de 1913 a 1938 (U.S. COAST GUARD, 2006).

Ainda no âmbito fluvial, Luna foi o primeiro rebocador fluvial mercante Diesel-elétrico, construído em 1932 nos Estados Unidos. Isto representou um grande passo na evolução dos sistemas elétricos, pois o sistema de propulsão deste rebocador era composto por um motor principal da General Electric de 516 HP (411 kW), de pequeno peso, que proporcionava uma boa distribuição do espaço interno. Além disso, este sistema permitia otimizar rotação do propulsor, através de um controlador instantâneo de rotação que dava liberdade de variar a rotação do motor em oito escalas de velocidades diferentes tanto para vante quanto para ré (LUNA PRESERVATION SOCIETY, 2006)

Em 1936, foi construído o primeiro rebocador fluvial Diesel-elétrico inglês denominado Sir Montagu'. Este rebocador navegava no Rio Tâmisa e possuía um deslocamento de 61 toneladas e potência instalada de 440 HP (323 kW).

Em 1976 na Rússia, foi adotado pela primeira vez o sistema CA-CC4 na classe de quebra-gelo Kaptan Ismaylov com um motor de 2,5 MW, em que já se utiliza dispositivos eletrônicos para o controle da rotação. Em 1986, os sistemas propulsores elétricos CA-CA foram introduzidos na classe de quebra-gelo Otso. No mesmo ano, a equipe de projetos navais da Asea Brown Boveri - ABB na Noruega, usou pela primeira vez os inversores Pulse Width Modulation- PWM, na instalação propulsora da embarcação “Lorelay”.

A partir de 1990 a ABB desenvolveu um sistema denominado Azipod, que consiste em um propulsor acoplado através de um eixo a um motor elétrico, dentro de uma cápsula “pod”, ou gôndola (cápsula hermeticamente fechada), instalado fora do casco. Sua aplicação deu-se na construção do rebocador fluvial Seili que opera nas hidrovias finlandesas (ARPIAINEN et al., 1993).

Em 1996, a Volvo Penta desenvolveu um sistema de propulsão Diesel-elétrica empregado em embarcações de transporte de contêineres para as hidrovias suíças. Este

⁴ CC: corrente contínua - CA – corrente alternada

sistema foi expandido em 1999, implantando o conceito Ecoship, ou seja, navio ecológico. A Inbiship, uma empresa do mesmo grupo, anunciou que está desenvolvendo um novo sistema de propulsão Diesel-elétrica em “pods” adaptados para as condições das embarcações fluviais (INBISHIP, 2006).

Em 2004 foi entregue pelo estaleiro holandês Bijlsma Shipyard um pequeno navio LNG com capacidade de 1100 m³ para operar na costa oeste da Noruega, com um sistema misto de propulsão elétrica, que consiste em 2 motores principais Diesel e duas turbinas alimentadas por LNG. Todas as máquinas principais são conectadas a geradores que alimentam 2 motores elétricos de 900 kW, com frequência controlada, acoplados a propulsores azimutais (HANSEN & LYESBO, 2004). Ainda em 2004, o Schiffbau und Entwicklungsgesellschaft Tangermünde- SET construiu um navio patrulha para a marinha Alemã, para operar em águas interiores, com sistema Diesel-elétrico de propulsão. Este navio foi equipado com 2 motores elétricos de 370 kW, e sistema azimutal, e atinge em operação uma velocidade 12 nós, (SHIP AND BOAT INTERNATIONAL, 2003).

Atualmente, na França a empresa Airbus utiliza um navio fluvial com sistema de propulsão Diesel-elétrica para transportar as fuselagens dos aviões ao longo do Rio Garonne. Esta embarcação dispõe de dois motores elétricos azimutais de 735 kW e um bow thruster de 400 kW (VACON, 2006).

Por fim, no que tange a novos desenvolvimentos de instalações propulsoras elétricas, a Creating Inland Navigation (2006) apresentou um estudo sobre o uso de células de combustível para o acionamento de motores elétricos instalados em embarcações fluviais européias. A idéia básica é substituir os Diesel-geradores por células de combustíveis que fornecem a energia para os motores elétricos. Cabe ressaltar que, do ponto de vista ambiental, as emissões de enxofre e óxidos de nitrogênio são nulas, além do que a geração de ruído é insignificante. Mas, atualmente, o grande problema desta aplicação é o alto custo envolvido e problemas de autonomia da fonte geradora durante a viagem.

6.2 - Características da propulsão elétrica

A principal característica do sistema Diesel-elétrico é o controle da velocidade da embarcação pelo controle da rotação dos motores elétricos. Os motores elétricos utilizados normalmente possuem um grande número de pólos e podem ser conectados diretamente, ou por meio de uma engrenagem redutora, ao hélice. Os motores elétricos podem ser de corrente contínua ou de corrente alternada, do tipo síncrono ou de indução. A capacidade e as características dos equipamentos são aquelas definidas pelos projetistas, e a modularidade do sistema permite que, em altas velocidades, sejam utilizados todos os motores e, nas velocidades econômicas sejam desligados os que não forem necessários (FONSECA, 2002).

Quanto ao elemento propulsor, pode-se utilizar hélices de passo fixo e de passo controlável. Entretanto, evidencia-se que o primeiro caso é mais empregado, pois o uso de motor elétrico permite o controle da rotação do hélice para várias faixas de operação.

Basicamente, uma instalação propulsora Diesel-elétrica é composta pelo conjunto Diesel-gerador, conversores de frequência, motores elétricos, engrenagem redutoras quando necessário, eixos e propulsores. Em relação à instalação Diesel, esta instalação apresenta maiores perdas na potência entregue ao eixo do propulsor. Outro ponto interessante da instalação Diesel-elétrica refere-se ao comprimento do eixo do propulsor que, em geral, é menor que o da instalação mecânica quando não se utiliza redutor. Isto traz uma diminuição das perdas, pois há um menor número de mancais.

Uma grande inovação apresentada nos últimos anos é o sistema Full Electric Propulsion (FEP) ou All Electric Ship (AES), um sistema de Propulsão Elétrica Integral que permite a integração total da energia utilizada pela embarcação. McCoy (2003) afirma que este sistema está se tornando comum em navios de cruzeiro, tanques, ferries, quebra-gelos, cargueiros, navios de pequeno porte e principalmente navios militares. Este sistema é semelhante à propulsão Diesel-elétrica convencional, com a diferença do conceito de uso racional da energia produzida no navio. Utiliza-se toda a energia produzida pelos Diesel-geradores para acionar o sistema de propulsão e os equipamentos internos do navio. Esta arquitetura é mostrada na Figura 6.1 e sua

configuração é composta pelos seguintes blocos: motor principal, gerador, controlador, conversor, módulo conversor de energia interna, motor elétrico e propulsor.

Figura 6. 1 - Planta propulsiva FEP

Fonte: McCoy (2003)

6.3 - Comparações entre as instalações

6.3.1 – Vantagens

A principal vantagem da propulsão Diesel-elétrica é o ajuste da rotação do propulsor independentemente da rotação da máquina principal (máquina que gera energia mecânica). O ajuste da rotação do propulsor é determinado pela rotação do motor elétrico; assim, a máquina principal trabalha numa rotação constante acionando um gerador que fornece energia para o motor elétrico. De acordo com Harrington (1970) o conjunto gerador-motor elétrico pode ser tratado como um sistema de transmissão elétrico. O controle da rotação do motor elétrico pode ser realizado através da inversão de frequência (CA) ou controle da voltagem (CC) entregue ao motor.

Em seguida, são transcritas, as principais vantagens apontadas para este tipo de propulsão por diferentes pesquisadores.

Arpiainen et al. (1993) apresentam os benefícios do emprego deste sistema em navios quebra-gelos, mas deixam claro que suas vantagens estendem-se a outros tipos de embarcações. As principais vantagens deste sistema são: maior torque em baixas rotações e sistemas de transmissão mais suave.

Soler & Miranda (1997) apresentam como vantagem relacionada com a propulsão elétrica a minimização dos custos de manutenção, operação e combustível, pois os motores elétricos apresentam menores custos de manutenção e reparo em relação aos motores Diesel.

Neste contexto, Simpson (1997) explica que, quando se opera um navio com instalação propulsora Diesel-elétrica por aproximadamente 30 anos, os custos de manutenção tendem a ser menores do que com navios instalação Diesel convencional. Como nas embarcações com propulsão tradicional a rotação do motor é quem define a rotação do hélice e que o motor, em algumas condições, pode não operar na faixa de rendimento ótimo, nestes casos, o consumo de combustível é maior, o que geralmente não ocorre com motores elétricos.

Sobre o enfoque técnico, Soler & Miranda (1997), McCOY (2003), Mezger (1997) afirmam que a propulsão elétrica oferece vantagens em termos de: alta manobrabilidade; facilidade para adoção de controles automáticos e remotos; maior capacidade de reversão rápida de velocidade sem a necessidade de agentes especiais para este fim; dispensa de engrenagem redutora; redução do ruído do redutor e da vibração transmitida ao eixo ao hélice.

Na questão da manobrabilidade, Hansen & Lyesbo (2004) explicam que a propulsão Diesel-elétrica proporciona vantagens para o navio, principalmente nas manobras de parada brusca. Isto ocorre pelo fato do motor elétrico proporcionar um melhor controle da rotação do hélice e mudar rapidamente o sentido da rotação do hélice, o que reduz o tempo e a distância de parada. Embarcações com propulsão convencional podem demorar até 30 segundos para que o motor pare e comece a reverter seu sentido de rotação. A título de exemplo, observa-se o navio trimarã RV Triton pertencente à marinha inglesa dotado de propulsão Diesel-elétrica, quando opera na velocidade máxima de serviço de (22 nós), precisa de 5 vezes o seu comprimento para realizar a manobra de parada brusca, enquanto que, com propulsão convencional está distância seria de 10 vezes (FKI INDUSTRIAL DRIVES, 2002). Estudos

realizados com navios de grande porte, que utilizam propulsão elétrica, demonstraram uma redução de 30% a 50% na distância de parada em caso de emergência em relação à propulsão convencional (ABB, 2002).

Em geral, um navio com este tipo de propulsão tem raio de giro menor quando comparado com navio com propulsão convencional. A marinha canadense dispõe de navios com sistema de propulsão Diesel-elétrica, e o diâmetro tático destes navios é da ordem de 2.8 vezes o seu comprimento, bem abaixo da recomendação que este parâmetro não ultrapasse 5 vezes o comprimento do navio (IRVING SHIPBUILDING INC., 2006).

Por outro lado, existe ainda a vantagem da redução das vibrações do eixo do propulsor, pois o motor Diesel não fica mais conectado com hélice e sim os motores elétricos. Como estes motores não produzem torques oscilatórios, como os motores Diesel, o problema de vibrações tende a ser minimizado durante as operações (ARPIAINEN *et al.*, 1993).

Em relação às questões ambientais, Wilgenhof & Stapersma (1997) e o Department of Electrical Engineering United States Naval Academy (2006) analisaram o impacto da propulsão Diesel elétrica no meio ambiente. Eles afirmam que, a propulsão Diesel-elétrica reduz as taxas de emissões de gases poluentes em torno de 10% a 20%, em relação à propulsão Diesel convencional.

Ellingsen *et al.* (2002) desenvolveram um modelo que calcula o impacto ambiental durante as operações de navios dos tipos porta contêineres, ferries e pesqueiros, comparando os gases emitidos por vários tipos de instalações propulsoras, entre elas a Diesel-mecânica e Diesel-elétrica. Para o caso de navios pesqueiros os autores avaliaram os seguintes aspectos: chuva acida, impacto na destruição da camada de ozônio, eutrofização de corpos d'água, efeito estufa, gases cancerígenos, metais pesados e o efeito fotoquímico “smog”. A Figura 6.2, mostra o resultado do impacto ambiental considerando a potência total do navio em função da quantidade (kg) de peixe pescado. O exame da Figura 6.3 indica claramente que a propulsão Diesel-elétrica gera menos gases poluentes que o sistema convencional. É importante frisar que o modelo considerou também a geração de gases durante a operação portuária e tempos parados durante a viagem. Observa-se que a contribuição para efeito estufa “greenhouse” manteve-se praticamente igual para os dois casos, pois o dióxido de carbono emitido

durante a queima do Diesel é o maior fator contribuidor para o efeito estufa, entretanto, para os outros elementos poluentes o sistema Diesel-elétrico apresentou melhor vantagem ambiental.

Figura 6. 2 – Comparações de emissões de um navio pesqueiro

Fonte: Ellingsen et al. (2002)

Outra vantagem observada diz respeito à alocação das máquinas na praça máquinas da embarcação. Mezger (1997) e Koskela et al. (1995) apontam como vantagem uma maior flexibilidade no arranjo das máquinas que pode resultar em maior espaço para a carga ou passageiros. Isto ocorre porque, em função da modularidade do sistema, e dependendo do tamanho das máquinas, elas podem ser colocadas nas partes mais altas do casco, deixando, no fundo, apenas o motor elétrico conectado ao propulsor.

A Figura 6.3 apresenta o arranjo de um navio com propulsão Diesel-elétrica. Este arranjo foi apresentado pela ABB (2002).

Figura 6.3 - Alocação das máquinas com uso de propulsão Diesel-elétrica

Fonte: ABB (2002)

6.3.2 - Restrições e desvantagens

Embora haja inúmeras vantagens do sistema elétrico, Blokland & Ebling (1995) e Guimarães (1999) chamam a atenção para a segurança humana no uso de equipamentos elétricos. É necessário que todos os envolvidos na operação e manutenção dos componentes estejam cientes e preparados quanto aos riscos que estão sujeitos. Guimarães (1999) aponta cinco fatores que explicam as principais causas de acidentes: omissão, ação intempestiva, ação errada, não controle ou controle errado. Além desses, deve-se considerar a falta de treinamento da tripulação. Os acidentes com sistemas elétricos em embarcações geralmente ocorrem nas seguintes condições: operação normal, vistoria, controle do equipamento, manutenção e reparo com a embarcação em serviço;

Desta forma, é imprescindível que a tripulação seja formada por pessoas hábeis para lidar com os acidentes que podem ocorrer. Nota-se que não basta apenas instalar sistemas mais modernos de propulsão nas embarcações fluviais é também necessário treinar e preparar a tripulação para as novas tecnologias. Morishita (1985), cita que se o operador humano não estiver capacitado para lidar adequadamente com sistemas mais

complexos, ele pode tornar sua operação ineficiente e, portanto, perigosa. Por isso, é necessária a conscientização sobre os riscos envolvidos nestes sistemas, pois acidentes com sistemas elétricos de voltagem relativamente alta geram consequências desastrosas.

Deve-se observar que a tripulação deve estar preparada para lidar com problemas relacionados com as falhas do sistema, que podem comprometer o governo da embarcação. Borman & Sharman (1995) e Koskela et al. (1995) explicam que embarcações com sistemas elétricos devem atender às normas estabelecidas pelas sociedades classificadoras em relação às partes dos equipamentos. É recomendável que se disponha de:

- sistemas de isolamento dos equipamentos em caso curto circuito;
- procedimentos de eliminação das falhas para reduzir o risco de acidentes e evitar incêndios.
- separar a geração de energia dos motores elétricos em pelo menos 2 compartimentos;
- separação total dos equipamentos vitais para operacionalidade do navio em caso de fogo ou alagamento de um compartimento.

As principais falhas que ocorrem nos equipamentos que compõem o sistema propulsão elétrica dos navios estão apresentadas na Tabela 6.1 (BORMAN & SHARMAN, 1995).

Tabela 6.1 - Falhas possíveis de ocorrer nos equipamentos em condições expostas

Equipamentos	Falhas
Diesel-Gerador	Motor Diesel Sistema de excitação Isolamento: incluindo falha do terra Sistema de refrigeração do gerador
Conversor / inversor (motores de corrente alternada)	Isolamento: incluindo falha do terra Curto circuito no equipamento Circuito queimado Falha de comutação e na inversão da operação Curto circuito na saída Sistema de refrigeração
Controlador	Isolamento: incluindo falha do terra
Motor	Isolamento: incluindo falha do terra Falha no equipamento de condução Sistema de refrigeração

Na pesquisa bibliográfica realizada, verificou-se que poucos autores citam desvantagens técnicas deste tipo de propulsão, apenas destacando os pontos positivos. Contudo, Soler & Miranda (1997) fazem as seguintes observações sobre as desvantagens do sistema: maior custo na aquisição dos equipamentos em relação ao sistema Diesel convencional; maior peso em relação ao motor Diesel.

Sem entrar na discussão de desvantagens e vantagens apresentadas pelos autores, observa-se uma tendência crescente no número de navios utilizando propulsão Diesel-elétrica em todos os segmentos da construção naval. Isto indica que, mesmo com custo de aquisição mais elevado dos equipamentos, ao longo do tempo os benefícios obtidos podem garantir sua viabilidade. Sabe-se que, no Brasil, os aspectos econômicos e culturais dos armadores fluviais tendem a ser um empecilho para maior difusão deste sistema. No entanto, uma avaliação criteriosa deve ser realizada para verificação dos ganhos econômicos, técnicos e ambientais envolvidos no transporte hidroviário.

6.4 - Sistemas propulsores especiais

O primeiro projeto de pod propulsor foi concebido em 1955, quando Pleuger e Busmann projetaram o sistema e o patentearam nos Estados Unidos (PÊGO et al., 2005). A Figura 6.4 mostra o primeiro projeto de pod propulsor.

Figura 6. 4 - Primeiro projeto de propulsor em pod

Fonte: Pêgo et al. (2005)

Em 1990 a ABB lançou no mercado o mesmo conceito de propulsão aprimorado para aplicações comerciais denominado Azipod. Basicamente, o sistema consiste de um motor elétrico, alojado dentro de um pod com formato hidrodinâmico adequado para fornecer melhor escoamento do fluido, conectado a um hélice. Este conjunto é instalado na parte externa do casco e possui capacidade de girar 360° em torno do seu próprio eixo. Este sistema é composto por um motor elétrico do tipo síncrono, a prova de água, ligado a um controlador de rotação, acionando um hélice de passo fixo; na linha do eixo estão instalados, mancais e selos. Embora existam outras empresas que fabricam propulsores em pod, durante a investigação notou-se que apenas os sistemas fabricados pela ABB seriam de interesse para embarcações fluviais dadas as suas configurações.

Deste modo, as Figuras 6.5 e 6.6 apresentam as dimensões características e os componentes do Azipod.

Figura 6.5 - Dimensões principais do Azipod

Fonte: Pêgo *et al.* (2005)

Figura 6.6 - Detalhamento do Sistema Azipod

Fonte: ABB (2002)

A fonte de alimentação é instalada no casco e o controle de direção ocorre por meio de um anel deslizante “slip ring”. Uma outra opção é o uso de cabos flexíveis, porém eles limitam os ângulos de rotação do sistema azimutal. O equipamento é dotado de uma unidade de refrigeração que fornece ar frio para o motor, extraído dos compartimentos de vante do navio. Em alguns casos, o ar é pré-refrigerado para manter a temperatura correta do motor. O sistema de orientação do hélice consiste em dois ou três motores hidráulicos que acionam um anel de aço, possibilitando o giro do sistema. O controle do Azipod é realizado através de subsistemas elétricos em painéis de comando. Excepcionalmente, o Azipod pode ser fabricado com hélices em dutos (LAUKIA, 1995; ARPIAINEN et al., 1993).

Neste trabalho será dada ênfase ao Azipod Compacto, que é construído em 5 faixas de potência diferentes, que variam entre 0,4 MW até 4,2 MW e são ideais para embarcações fluviais; A Figura 6.7 mostra este sistema. Este sistema é produzido com motor do tipo síncrono de ímã permanente e apresenta uma forma mais fina e garante as mesmas vantagens que os sistemas mais robustos.

Figura 6.7 - Compacto Azipod

Fonte: ABB (2004)

6.4.1 - Característica do sistema Azipod

As características deste sistema de propulsão são similares às do sistema de propulsão Diesel-elétrica. A diferença está na localização do motor elétrico. Com o sistema Azipod o motor elétrico fica instalado fora do casco.

Basicamente este tipo de instalação é composta pelos seguintes elementos: Diesel-gerador, conversor de frequência e o Azipod. A Figura 6.8 apresenta esta instalação.

Figura 6. 8 – Instalação propulsora Azipod

Fonte: ABB (2004)

Todo o sistema, conjuntos Diesel-geradores, conversores e Azipod's são fornecidos pelo próprio fabricante. O sistema de conversão de frequência é denominado ACS 600 MarineDrive W. Neste sistema estão instalados os seguintes elementos: sistema de suprimento de energia para o Azipod, seção de direcionamento do Azipod, resistor de freio dinâmico que dissipa a energia do motor quando ele está revertendo sua rotação, sistema de freio chopper que dissipa a voltagem excedente gerada durante a fase de desaceleração do motor do Azipod e seção de água de resfriamento do Azipod. Os elementos que compõem o este sistema estão apresentados na Figura 6.9. Maiores detalhes sobre este sistema estão apresentados no Anexo E.

Figura 6. 9 – Sistema ACS 600 MarineDrive W

Fonte: ABB (2004)

6.4.2 - Vantagens operacionais

Em relação às vantagens apresentadas sobre a propulsão elétrica, o Azipod amplia o leque de benefícios proporcionados por este sistema de propulsão. Laukia (1995) aponta os seguintes ganhos obtidos com o sistema Azipod:

redução do espaço de maquinaria;

- o sistema pode ser empregado em diversos tipos de embarcações;
- excelente condição de manobrabilidade, inclusive em baixas velocidades, pois os propulsores podem ser dirigidos para todas as direções;
- redução no consumo de combustível;
- sistema com alto nível de confiabilidade; pode ser instalado no último estágio da construção, algumas semanas antes do lançamento.

Como o Azipod é instalado fora do casco quase todos os equipamentos e eixos que ficavam no compartimento interno da embarcação são transferidos para parte externa do casco. Deste modo, pode haver uma realocação dos os espaços internos que para outros fins.

Os estudos realizados pela ABB e por Arpiainen et al, (1993) demonstram que embarcações dotadas de Azipod têm maior flexibilidade para realização de manobras em situações de risco, conforme observado no estudo do comportamento da embarcação Seili, que foi submetida a uma série de testes para validar o sistema.

Laukia (1995) apresentou os resultados da prova de giro dos navios tanques MT Uikku com sistema Azipod e o Lunni com sistema convencional de propulsão e governo, posicionando o Azipod a 30° e 60° e o leme a 30° para as prova de giro. Além disso, foram testadas as duas embarcações na condição de parada brusca. Os resultados estão apresentados na Figura 6.10.

Figura 6.10 - Testes realizados com o Azipod

Fonte: Laukia (1995)

Nota-se que com ângulo de 30° , tanto para o leme quanto para Azipod, o sistema convencional apresentou raio de giro menor, entretanto, em ângulos maiores o Azipod apresentou um melhor desempenho. Na condição de parada brusca o Azipod demonstrou uma redução de aproximadamente 40% na distância de parada. Isto deve-se ao fato do Azipod proporcionar melhor condição de manobra para embarcação. Cabe ressaltar que o autor não apresenta mais detalhes de como foram conduzidos os ensaios. Porém, pode-se concluir que com ângulos maiores o Azipod trabalha com potências menores, por isso o resultado mostrado na figura acima.

Nesta linha de pesquisa, Sasaki et al. (2002) conduziram alguns testes para avaliar o comportamento de outro navio tanque com Azipod e com propulsão convencional. Os resultados apresentados pelos autores relacionam a distância percorrida com o L_{pp} da embarcação, conforme ilustrado na Figura 6.11.

Figura 6.11 – Comparações entre instalações propulsoras

Sasaki et al. (2002)

Kurimo (1998) testou dois navios semelhantes nas condições de prova de giro e parada brusca. Ele comparou o navio de cruzeiro Fantasy Class Elation dotado de 2

Azipods com outro navio com propulsão convencional. O navio Elation apresentou um rendimento 38% melhor em relação ao diâmetro táctico; na prova de parada brusca o navio com propulsão convencional percorreu uma distância de 2,78 vezes em relação ao seu comprimento enquanto que o Elation percorreu 2,4 vezes.

Woodward et al. (2002) estudaram a performance de manobra para dois navios Ropax. Foram realizados testes com um navio equipado com sistema convencional com 2 lemes e dois propulsores e o outro navio com 2 Azipod's. Os resultados apontam melhoras significativas para o uso de Azipod tais como: 12% em relação à resistência ao avanço; redução de 19% no diâmetro táctico.

Boushkovsky et al. (2003) investigaram o comportamento de navios dotados de Azipod em condição de parada brusca usando como alternativa de manobra girar simultaneamente os Azipod's a 180° sem reverter os propulsores. Foram observadas reduções significativas nos tempos e na distância de parada, sendo elas, 27% e 26% respectivamente, quando comparadas com navio com propulsão convencional.

As vantagens relacionadas com consumo de combustível ocorrem em função do motor do Diesel-gerador operar no ponto ótimo de projeto, conseqüentemente não ocorrem variações no consumo específico de combustível durante a operação. Laukia (1995), explica que a economia de combustível ocorre porque o propulsor apresenta melhor eficiência quando carregado; há uma menor resistência do casco, em virtude da substituição de apêndices como lemes e melhoria na geometria do casco e do pod.

A Inbiship (2006) explica que, a redução no consumo de combustível está associada ao uso racional de potência das máquinas principais. Como já visto anteriormente, o conjunto Diesel-gerador é acionado em função das necessidades de energia requerida pelo Azipod. A Figura 6.12 explica este procedimento.

Nesta aplicação em particular, verifica-se que existe um grande número de Diesel-geradores instalados na embarcação, assim, eles podem ser acionados em função do aumento da velocidade, logo existe uma tendência de redução do consumo de combustível.

As vantagens do Azipod estendem-se também sobre os aspectos ambientais. É intuitivo que, uma redução no consumo de combustível do navio gera menores emissões de gases poluentes. Segundo o fabricante do Azipod, navios que dispõem deste sistema

emitem de 30 a 40% menos gases poluentes do que os navios sistema Diesel convencional.

Figura 6.12 – Análise do uso das máquinas principais do navio fluvial Ecoship
Inbiship (2007)

6.4.3 – Considerações sobre o uso de Azipod

É importante verificar que, o Azipod substitui o uso de lemes convencionais, assim o casco deve ser projetado de tal forma que propicie um escoamento do fluido até a região dos hélices. O relatório do ITTC (2005) explica que, o uso de Azipod cria a necessidade de modificação da forma do casco principalmente na região da popa. A principal mudança é a instalação do skeg, isto é, uma espécie de bolina ou barbatana que tem por objetivo direcionar o fluido até a região dos propulsores. Ele fica localizado junto à quilha do navio conforme mostrado na Figura 6.13.

Segundo Mishra (2005), embarcações que utilizam Azipod's geralmente apresentam boca menores quando comparadas com embarcações semelhantes sem o sistema. Isto resulta em menor estabilidade transversal, o que pode induzir movimentos de roll (balanço) nestas embarcações, desestabilizando o navio principalmente em

manobra de giro. Por isso emprega-se o skeg para aumentar a área lateral do navio e compensar este problema. Além disso, o skeg tem o papel de proteger o Azipod de colisões em objetos flutuantes e com o fundo do canal. Observou-se também que no caso de embarcação mono-hélice com Azipod, a quilha do casco é projetada na forma de skeg, e que estas embarcações apresentam uma grande inclinação no corpo de saída da popa. O uso de Azipod permite que sejam encontradas diversas soluções de cascos em função do tipo e da característica de operação da embarcação.

Figura 6.13 – Skeg

Fonte: Radan (2004)

A Figura 6.14 ilustra a instalação de Azipod's em uma embarcação não convencional. Esta embarcação é do tipo ferrie, que opera nos rios da Finlândia e tem capacidade para transportar 350 passageiros e 2 veículos, suas dimensões são: 33,30 m de comprimento, 8,80 m de boca e 3,00 m de calado. Ela dispõe de 2 Azipods compactos cada um com potência de 400 kW, e atinge a velocidade de 11 nós.

Figura 6. 14 - Forma do corpo de saída com a presença de skeg

Fonte: ABB (2004)

6.4.4 - Desvantagens do Azipod

No que tange às desvantagens na utilização do Azipod, Gragen & Andersen (1997) citam que o sistema é eficiente, porém os motores elétricos síncronos têm alta potência e baixa velocidade, por isso, apresentam desvantagens em relação a tamanho e peso, assim são necessários maiores espaços para acomodar o motor. Como, em geral, o tamanho do pod corresponde a aproximadamente 60% do diâmetro do propulsor, o hélice tem uma eficiência relativamente baixa, conforme ilustrado na Figura 6.15, que mostra o efeito da relação diâmetro do pod / diâmetro do propulsor sobre a eficiência.

Figura 6.15 - Eficiência do Azipod em função do “pod” / diâmetro do propulsor

Fonte: Gragen & Andersen, (1997)

Na mesma linha de pesquisa, Heinke & Heinke (2003) ensaiaram três tipos de pod's com configurações diferentes. Os autores analisaram o diâmetro da gôndola - d_G , em função do comprimento da gôndola - l_G , e, o l_G em função do diâmetro do hélice - D , pois segundo eles, este é o parâmetro mais importante para quantificar a eficiência propulsiva do sistema. Observou-se que, um aumento do diâmetro do pod resulta em um incremento empuxo e no torque do propulsor, entretanto diminui a eficiência total conforme apresenta a Figura 6.16. A razão entre o empuxo total e o diâmetro do propulsor diminui conforme aumenta o diâmetro do pod.

Figura 6.16 - Razão comprimento do pod pelo diâmetro do pod

Fonte: Heinke & Heinke, (2003)

Outra desvantagem deste sistema em relação à propulsão Diesel convencional é o custo de aquisição dos equipamentos. A título de exemplo, no caso de grandes embarcações como navios do tipo Ropax e cruzeiro, o custo do sistema Azipod pode ser €12 milhões mais caro que um sistema convencional. Este incremento no custo de aquisição do navio é aplicável para navios Ropax e cruzeiro cotados em €100 milhões e €400 milhões respectivamente (WOODWARD & ATLAR, 2005).

6.5 - Comentários finais

Ao longo do capítulo foram descritas características das instalações elétricas. Os dados apresentados referem-se aos aspectos gerais destas instalações, sem uma análise focada para seu emprego em empurradores fluviais. A seguir são analisados os pontos principais que tem relevância para o empurrador fluvial.

A) Instalações Diesel-Elétricas

Durante a investigação foram destacadas algumas vantagens das instalações Diesel-elétricas que podem ser interessantes para o empurrador como:

1. uso racional da energia gerada no navio que pode ser utilizada para o acionamento do sistema propulsivo e serviços de hotel do navio sem a utilização de geração auxiliar;
2. fracionamento da potência total;
3. controle da rotação do motor e, conseqüentemente, do hélice, o que proporciona melhor torque em baixas velocidades;
4. rapidez na reversão dos motores e melhora da manobrabilidade da embarcação principalmente nas manobras de giro e parada brusca.
5. flexibilidade na alocação de máquinas em outros compartimentos da embarcação;

Quando se utilizam motores elétricos, pode-se fracionar a potência total em várias máquinas, ou seja, em vários grupos de Diesel-geradores que são acionados em função do requisito de serviço. No caso de empurradores fluviais, a restrição de espaço na praça de máquinas talvez não permita o uso de vários grupos de Diesel-geradores para fracionar a potência total requerida, mas considera-se uma vantagem interessante do sistema que pode ser aplicada para embarcações fluviais de passageiros ou ferries.

Ao longo da investigação verificou-se que principalmente os navios quebra-gelos utilizam este tipo de propulsão, devido às mudanças críticas na condição física da via, ou seja, a embarcação deve ser adaptada para navegar em águas normais e congelada, sendo que para cada condição as características de operação são bem diferentes exigindo mais ou menos das máquinas, pois estas características implicam diretamente na resistência do casco. Um problema similar ocorre na operação com comboios pela hidrovia Tietê-Paraná em que existem trechos com grandes variações de

profundidade e largura, exigindo diferentes faixas de potência das máquinas para manter a mesma velocidade. Logo, torna-se interessante ajustar a rotação do propulsor para estas faixas de operação que não ocorrem em todo o percurso, sem que nestas condições ocorra um aumento excessivo do consumo de combustível e force o motor a operar na potência máxima intermitente por muito tempo. Neste caso, o sistema de propulsão elétrica permite ajustar diversas faixas de operação do motor elétrico conseqüentemente do propulsor para cada situação, de modo a proporcionar melhor condição de serviço do comboio. Outra questão importante a ser considerada é que, os empurradores, em muitos casos, navegam em escoteiro; com a propulsão elétrica eles podem operar em velocidades mais altas com maior confiabilidade e segurança. É neste quesito que instalação Diesel-elétrica tende a apresentar vantagens ambientais quando comparadas com a instalação Diesel.

Um dos aspectos que mais preocupa os operadores de comboios fluviais é a questão da manobrabilidade principalmente em trechos críticos. Em casos de parada brusca, com condições ambientais desfavoráveis, o tempo de reversão dos motores pode ser crucial para evitar a colisão ou qualquer outro tipo de acidente.

Embora seja discutível a questão da flexibilidade de alocação das máquinas em outros compartimentos, no caso de empurradores alocar as máquinas no convés superior pode apresentar vantagens em 2 aspectos. Em primeiro lugar, este procedimento tende facilitar a execução de vistorias e manutenção de motores. Em geral, os empurradores apresentam geralmente espaços confinados para as salas de máquinas, que em alguns casos, dificulta a vistoria e o reparo dos equipamentos. Em segundo lugar, deve-se levar em consideração que, o arranjo dos equipamentos de uma instalação propulsora deve-se subordinar ao arranjo geral do navio e a questão da estabilidade deve ser examinada com cuidado, especialmente quando o empurrador opera em escoteiro. Assim, devem ser observadas as exigências para manter o equilíbrio longitudinal e transversal do navio.

B) Azipod

Em relação ao Azipod, as informações levantadas indicam inúmeras vantagens em relação à propulsão Diesel convencional. Entretanto, muitas delas se aplicam a grandes embarcações. Existem poucas informações disponíveis sobre sua aplicação em embarcações de pequeno porte principalmente as fluviais. Embora o primeiro sistema tenha sido instalado em uma embarcação fluvial, atualmente, suas aplicações destinam-se a grandes embarcações de cruzeiro, navios LNG, porta-container e supply- boat. Apenas na Europa verificou-se a existência de pequenas embarcações fluviais utilizando-se deste sistema. As vantagens significativas que este sistema pode trazer para o comboio são:

1. redução do espaço ocupado pela maquinaria;
2. melhora considerável no sistema de manobra em águas rasas e manobras em locais restritos;
3. redução da distância de parada brusca e manobra de giro.

Observa-se que a primeira vantagem é bem significativa principalmente para empurradores fluviais, pois boa parte do espaço ocupado pela maquinaria é transferido para fora do casco. Assim, pode-se redistribuir este espaço para alocar outros compartimentos, como por exemplo, camarotes da tripulação, ou reduzir o tamanho do empurrador, o que poderia proporcionar um pequeno aumento no comprimento das chatas, sempre considerando o aspecto de estabilidade.

No caso do Rio Tietê, em que os resvalos com os protetores de pilares de pontes ainda ocorrem, um sistema de manobra mais eficiente tende reduzir estes eventos. Além disso, cabe lembrar que este sistema propulsor pode ajudar as embarcações a realizar manobras em condições de mau tempo, onde a probabilidade de acidente aumenta.

CAPÍTULO 7

SELEÇÃO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA DO EMPURRADOR

Neste capítulo apresenta-se um procedimento para seleção da instalação propulsora para o empurrador fluvial. São consideradas três alternativas: Diesel, Diesel-elétrica, convencional e com Azipod. Para a escolha da instalação, são analisados os aspectos econômico, ambiental e de segurança. No que se refere à questão econômica, são estimados os custos de aquisição das instalações e do veículo fluvial (empurrador + chatas) e, em seguida, os custos operacionais do comboio nas rotas estabelecidas pela Petrobras. No aspecto ambiental, é realizada uma avaliação das emissões das instalações propulsoras considerando os seguintes elementos: gás carbônico - CO, hidrocarbonetos - HC, óxido de nitrogênio - NO_x e partículas. Em relação à segurança operacional, as instalações são analisadas nas condições de parada brusca e manobra de giro. Com base nestes dados a escolha da instalação é definida através da aplicação do Método de Análise Hierárquica - AHP.

Como complemento ao trabalho, realizam-se comparações de ordem econômica e ambientais entre os modais rodoviário e hidroviário, nas rotas interesse para o transporte. Na questão econômica comparam-se os custos de frete entre os dois modais. Pelo lado ambiental são avaliados os impactos gerados pelo comboio fluvial com aqueles produzidos por uma frota de caminhões. São comparados os seguintes impactos ambientais: esgotamento dos combustíveis fósseis (esgotamento das reservas de petróleo), aquecimento global, eutrofização da água, chuva ácida e poluição do ar.

7.1 - Características básicas do comboio

Com base nos dados apresentados nos Capítulos 3, 4 e 5, estão descritas, nesta seção, as características básicas do comboio adaptado ao transporte de combustíveis. É importante ressaltar que as dimensões principais foram definidas com base nas embarcações semelhantes que operam na hidrovia. Como se pretende operar nos Rios Tietê e Paraná, as dimensões devem seguir as restrições impostas para navegação no Rio Tietê. Tanto as dimensões principais quanto a potência total foram definidas baseando-se no trabalho de Garcia (2001), que apresenta o comboio tipo da hidrovia. Estas informações estão agrupadas na Tabela 7.1.

Tabela 7. 1 - Características básicas do comboio

Descrição	Empurrador	Chatas
Comprimento (L)	17,00 m	60,00 m
Boca (B)	7,00 m	11,00 m
Pontal (P)	2,50 m	3,50 m
Calado (H)	1,70 m	2,80 m
Número de eixos	2	
Número de motores por eixo	1	
Potência por eixo (MCP)	430 hp ou 316 kW	
Potência total (MCP)	860 hp ou 632 kW	
Potência dos motores auxiliares (MCA)	102 hp ou 75 kW	
Diâmetro dos hélices	1,50 m	
Número de chatas		4
Capacidade de carga do comboio 2 x 2		5000 m ³
Velocidade de operação	10 km / h	

O arranjo do comboio adaptado para a hidrovía Tietê-Paraná está mostrado na Figura 7.1.

Figura 7. 1 – Arranjo geral do comboio

Observa-se que arranjo definido é o padrão da hidrovía, com formação 2 x 2. A capacidade de carga deste comboio, é definida em função das restrições estabelecidas na *Norman 02*. Na proa o pique-tanque deve ter 13% do comprimento total – (L) e na proa 1%. Entre o costado da embarcação e o tanque de carga deve existir uma distância de 1,00 m de cada lado, para evitar vazamentos em casos de encalhe ou colisão lateral. O duplo fundo deve ter uma altura mínima de $(B / 15)$ ou 0,76 m. Assim, o volume total de carga do comboio pode ser determinado por:

$$\text{Volume total: } (L - 0,14 * L) * (B - 2,00) * (P - 0,76) \quad (7.1)$$

7.2 – Alternativas de instalações propulsoras

Nesta seção estão apresentadas as 3 alternativas de instalações propulsoras. Inicialmente, apresentam-se as características de cada instalação e seu respectivo custo de aquisição. Os custos de aquisição foram obtidos através de consulta bibliográfica e contatos com fabricantes nacionais e estrangeiros. Cabe ressaltar que a obtenção destes custos é uma tarefa complexa e difícil, pois dentre as 3 alternativas aqui estudadas, apenas a instalação Diesel convencional é amplamente utilizada no Brasil. Em relação à

instalação Diesel-elétrica, uma empresa brasileira começou, recentemente, a projetar e fabricar sistemas para embarcações de apoio a plataformas de petróleo na Bacia de Campos (RJ). Foram consultados vários fabricantes de grupo Diesel-gerador, motores elétricos e sistemas elétricos. As especificações dos equipamentos que compõem o sistema elétrico disponibilizadas pelos fornecedores estão apresentadas no Anexo E.

A principal dificuldade foi à obtenção do custo do Azipod, pois se trata de um sistema de propulsão relativamente novo, com poucas aplicações em embarcações com baixa potência instalada, principalmente na América Latina. Os contatos com o fabricante foram realizados de maneira informal através de e-mail, e o custo de aquisição fornecido para o sistema foi o mesmo orçado para uma embarcação com características de potência similares aos empurradores fluviais.

7.2.1 - Instalação Diesel convencional

A instalação Diesel convencional consiste de 2 eixos propulsores, cada um acionado por um motor Diesel, acoplado através de uma caixa redutora / reversora, a um hélice de passo fixo, conforme mostra a Figura 7.2. São apresentados também na figura dois conjuntos Diesel-gerador. O empurrador dispõe ainda de sistema de governo e o sistema elétrico.

Para determinar o custo de aquisição desta instalação, recorreu-se à formulação e dados referentes à maquinaria Diesel apresentados no trabalho de (GARCIA, 2001). Verificou-se, através de uma pesquisa de mercado, que os preços dos motores principais, auxiliares e geradores, apresentados pelo autor, sofreram poucas alterações; sendo assim, foram adotados os mesmos valores. Entretanto, os custos de mão-de-obra e de materiais elétricos foram atualizados considerando um aumento de 25%, pois no decorrer de 5 anos houve para estes itens um acréscimo de aproximadamente 5% ao ano. No que se refere ao sistema de governo, foram consultados vários fabricantes que forneceram dados atualizados de custos, incluindo também os custos dos hélices. O custo final desta instalação propulsora é da ordem de R\$ 677.400,00. A discriminação dos

custos de aquisição dos elementos, que compõem a instalação, está apresentada no Anexo G.

Figura 7. 2 - Instalação propulsora Diesel convencional analisada

7.2.2 – Instalação Diesel-elétrica

A partir das informações coletadas durante a investigação, definiu-se uma instalação composta por 2 grupos Diesel-geradores, 1 barramento para distribuição de energia com tensão de 440 V, 2 conversores CA-CA, 2 motores elétricos assíncronos; cada um acionando um hélice de passo fixo; considera-se um sistema de governo semelhante ao cotado para instalação Diesel convencional.

Admite-se, ainda, que os grupos Diesel-geradores forneçam também energia para outros serviços do empurrador, como os equipamentos internos (bombas, compressores, redes de combate a incêndio, lastro, esgoto, carga e descarga e redes em geral) e serviço de hotel da embarcação. No estudo desta instalação, considerou-se uma margem de 20% a mais de potência para o grupo Diesel-gerador, em relação à potência requerida para todos os acionamentos, pois este é um fator recomendado por vários pesquisadores e pelo próprio fabricante, para garantir o fornecimento de energia em condições extremas para o motor elétrico e para o navio.

O layout desta instalação foi montado juntamente com um fabricante nacional (WEG) de geradores, conversores e motores elétricos. Em uma reunião decidiu-se que,

o grupo Diesel-gerador seria montado por um parceiro da empresa respeitando as potências necessárias para o acionamento dos motores elétricos. Assim, o custo correspondente ao grupo Diesel-gerador foi obtido através de contatos com este fornecedor (STEMAC).

No conjunto Diesel-gerador considerou-se a instalação de chaves de proteção para isolar este sistema dos demais elementos da instalação propulsora. Foram selecionados um barramento de 440 V e dois transformadores de 220 V, para que se possa disponibilizar energia aos motores elétricos e, equipamentos internos da embarcação. Junto ao conversor, admitiu-se a instalação de um sistema de controle digital de variação de frequência, que tem por finalidade, controlar a rotação do motor elétrico diretamente da cabine de comando do empurrador.

O motor é do tipo assíncrono que, de acordo com o fabricante, apresenta vantagens sobre o motor síncrono tais como: custo de aquisição inferior, maior facilidade de manutenção, domínio desta tecnologia em território nacional, conseqüentemente, facilidade de assistência técnica e fácil reposição de peças. Adicionalmente, considerou-se também o aspecto peso do motor, isto porque, o motor síncrono apresenta maior peso e volume em relação ao motor assíncrono. O motor adotado para instalação é de baixa rotação, com faixa de operação entre 100 e 300 rpm, e de 8 pólos. A Figura 7.3 mostra um esquema da instalação propulsora considerada.

Figura 7. 3 – Instalação propulsora Diesel-elétrica

Esta configuração é baseada no modelo de instalação proposto por McCoy (2003), em que toda a energia do navio deve ser utilizada de forma racional, não incluindo geradores auxiliares (MCA). Como no Brasil ainda não existem embarcações fluviais com sistema Diesel-elétrico, não foi possível fazer uma análise minuciosa de todos os custos adicionais envolvidos. O custo dos equipamentos elétricos (conversores, quadros elétricos e motores elétricos) fornecido pela WEG é de R\$ 1.414.000,00. O custo do grupo Diesel-gerador fornecido pela STEMAC é da ordem de R\$ 489.000,00. Em relação ao sistema de governo, considerou-se o custo adotado para a instalação Diesel convencional. Assim, o custo total da instalação é de aproximadamente R\$ 2000.000,00. É importante ressaltar que neste custo já está incluso o custo de montagem do equipamento pelo fabricante.

7.2.3 – Instalação Azipod Compacto

Dentre os vários tipos de Azipod, escolheu-se o compacto por ser o que mais se adapta ao uso no empurrador fluvial. Esta é a instalação mais complexa e que exigiu um maior trabalho para o levantamento de informações. Foram mantidos diversos contatos com o fabricante, para o esclarecimento de dúvidas e para definir uma instalação adaptada às características dos empurradores fluviais. Foram fornecidas ao fabricante as dimensões principais do empurrador e das barcas e a potência necessária. Segundo o fabricante, o empurrador apresenta uma faixa de potência similar a navios europeus de pequeno porte, para os quais haviam sido desenvolvidos alguns projetos. Deste modo, o fabricante enviou um modelo de instalação que pode ser aplicado no empurrador fluvial, semelhante ao sistema instalado na embarcação ferrie mostrada na Figura 6.15, (Capítulo 6).

A instalação é composta pelos seguintes elementos: 3 grupos Diesel-geradores, cada um de 400 kVA, sendo 2 em operação e 1 de reserva, acionado apenas em condições excepcionais, 2 conversores de frequência ACS 600 e 2 Azipods compactos de 400 kW. A Figura 7.4 mostra o esquema da instalação propulsora sugerida pelo fabricante.

Figura 7. 4 – Instalação propulsora Azipod Compacto

Fonte: ABB (2004)

O custo de aquisição desta instalação é de € 1000.000,00 ou R\$ 2.750.000,00⁵.

7.3 – Procedimento para avaliação das alternativas

Uma instalação propulsora que atenda os critérios de manobrabilidade, segurança, confiabilidade, menor custo de manutenção e reparo, menor número de tripulantes, custo mínimo inicial e níveis mínimos de vibração e ruído seria a instalação ideal. Entretanto, na realidade, sabe-se que, nenhuma instalação propulsora apresentará todas estas vantagens, por isso, busca-se sempre encontrar um critério de decisão para fazer a escolha.

Entre os fatores citados acima, alguns como manobrabilidade, confiabilidade, vibrações e ruídos, não podem ser analisados estritamente sob a óptica econômica. Deste modo, a escolha deve recair em uma instalação que, seja altamente confiável,

⁵ Cotação do Euro no dia 20/11/2006 = R\$ 2,75.

apresente facilidade de operação para tripulação e satisfaça os requisitos de manobra e segurança, e seja economicamente a mais eficiente (BRINATI, 1981).

Na maioria dos casos, porém, a decisão sobre o projeto de um comboio fluvial e, em especial, da instalação propulsora do empurrador tem um critério de decisão o menor custo de aquisição ou o menor custo operacional total. Mas como já enfatizado ao longo do texto, a experiência tem mostrado que é necessário incluir outros critérios para fazer uma avaliação mais consistente das alternativas. Esta prática já se tornando comum em projetos de engenharia.

No caso em questão, deseja-se selecionar a melhor das três alternativas propostas para a instalação propulsora do empurrador, considerando como critérios de avaliação o econômico, o ambiental e a segurança. O problema de seleção da instalação propulsora deve, portanto, ser tratado como o de otimização de um sistema sob múltiplos critérios. Neste contexto, existem vários métodos de auxílio à tomada de decisão tais como: *Multiattribute Utility Theory* – MAUT e *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* – MACBETH, matriz de decisão e o Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* – AHP). Neste trabalho será usado este último para avaliar qual a melhor instalação para o empurrador.

7.3.1 – Método AHP

O AHP é um método de análise multicriterial que permite incluir todos os fatores importantes, tangíveis ou intangíveis, que podem ser expressos qualitativa ou quantitativamente (SAATY, 1980). Segundo Garber (2002), o AHP é um sistema para análise e síntese de problemas complexos que permite justificar as decisões de um problema de forma isolada. O tomador de decisão julga a importância de cada critério em uma sequência de comparações entre pares de critério. O mesmo procedimento ele aplica para julgar o mérito de cada solução sob um dado critério. Além disso, o AHP permite que a experiência da pessoa (projetista) ou do avaliador seja aplicada, pois, ela é tão valiosa quanto os dados numéricos disponíveis, num processo de tomada de decisão (ALMEIDA, 2002). O método AHP consiste em quatro etapas básicas (GARBER, 2002):

- estruturação do problema com a especificação dos objetivos, a definição dos critérios que serão utilizados na avaliação e a identificação das alternativas oferecidas como solução;
- determinação de preferências através de comparações paritárias, ou seja, comparações entre cada par de fatores de decisão, subdividido em objetivos, critérios e alternativas;
- síntese e determinação de prioridade relativa ou peso de cada elemento de decisão, em um dado nível, usando o método de consolidação dos valores atribuídos aos fatores;
- agregação das prioridades relativas para a escolha final.

O método fundamenta-se na comparação dos elementos dois a dois. A partir da construção de uma matriz quadrada avalia-se a importância de um elemento (critério ou alternativa) em relação a outro, estabelecendo, pois, uma hierarquia. Os termos desta matriz (a_{ij}) explicitam quanto um elemento (i) é preferível em relação ao outro (j). Os valores adotados na matriz estão mostrados na Tabela 7.2, em função da importância relativa dos termos em comparação. Os valores apresentados nesta tabela foram extraídos dos trabalhos de (GARBER, 2002; JASEN *et al.*, 2004; PAMPLONA, 1999).

Tabela 7. 2 - Valores de preferência

Valores	Descrição	Explicação
1	Igualmente preferível ou equivalente	Os dois elementos (critérios de alternativas) contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente um elemento em relação ao outro.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um elemento em relação ao outro.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um elemento é muito fortemente favorecido em relação ao outro; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma maior diferenciação entre os critérios ou alternativas .
Recíprocos dos	Se a alternativa i recebe uma das designações	Uma indicação de consistência.

valores acima	acima quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	
Racionais	Razões da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter n valores numéricos para completar a matriz

A matriz de comparação, construída para definir as preferências entre os elementos do processo de avaliação, é portanto uma matriz quadrada, cujas características estão mostradas (ALMEIDA, 2002) na Figura 7.5.

1	a₁₂	.	.	.	a_{1n}
1/a₁₂	1	.	.	.	a_{2n}
.					
.					
.					
1/ a_{1n}	1/ a_{2n}	.	.	.	1

Figura 7. 5 – Matriz de comparação

Os termos da matriz de comparação devem atender as seguintes condições:

$A_{ij} > 0$ (todos os elementos positivos);

$A_{ij} = 1$ (todos os elementos da diagonal principal são iguais a 1, comparação entre iguais);

$$A_{ij} = \frac{1}{A_{ji}} \text{ (consistência na comparação).}$$

Observa-se que a intensidade dessas preferências deve satisfazer a condição de reciprocidade, como expressa pela última relação acima: se **A** é x vezes preferível que **B**, então **B** é 1/x vezes preferível que **A**.

Cabe ressaltar que quando se trabalha com valores determinísticos, o estabelecimento de uma hierarquia em função da comparação dos atributos de cada alternativa de solução, é realizada maximizando ou minimizando os valores, por um processo de normalização. O processo de normalização é realizado através da divisão de cada elemento pelo somatório dos elementos de cada coluna da matriz.

Além disso, para efetuar uma comparação mais coerente, emprega-se o conceito de consistência e inconsistência. Almeida (2002) explica que este conceito baseia-se na idéia de que, quando se tem uma quantidade básica de dados, todos os outros podem ser deduzidos logicamente a partir dele. Quando são realizadas as comparações entre os elementos, por exemplo, se a alternativa A1 é 3 vezes mais preferível que A2 e, A1 é 6 vezes mais preferível que A3, pode ser deduzida uma relação de dominância entre essas comparações. Se esta relação for diferente de 2, em função das opiniões expressas pelos avaliadores, significa que existe uma inconsistência na matriz. Esta inconsistência ocorre geralmente em problemas práticos, devido à subjetividade dos julgamentos, independente da quantidade de pessoas envolvidas no processo de avaliação.

Para determinar estas inconsistências, Saaty (1980) define uma grandeza chamada de razão de consistência - RC. Esta grandeza é definida em função de um índice de consistência - IC e de um índice de consistência aleatório - CA. O índice de consistência é definido através da seguinte expressão:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (7.2)$$

onde:

$\lambda_{\max}$ é o maior autovalor da matriz quadrada de ordem n ;

n é o número de linhas e de coluna da matriz quadrada.

CA é proveniente de uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas geradas aleatoriamente, de tamanho 11 por 11; os seus valores são apresentados na Tabela 7.3. Estes valores foram gerados por (SAATY, 1980).

Tabela 7. 3 - Valores de CA em função da ordem da matriz

n	1	2	3	4	5	6	7
CA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32

A razão da consistência (RC) é calculada através da seguinte equação:

$$RC = \frac{IC}{CA} \quad (7.3)$$

O limite máximo de aceitação de RC é 0,10 ou 10%. Caso os valores fiquem acima deste patamar, deve-se retornar a construção da matriz e ajustar as preferências, ou seja, refazer os julgamentos dos avaliadores. É importante ressaltar que, quanto maior for o valor de RC, mais inconsistente está a matriz de preferência. Deste modo, através de uma análise dos resultados obtidos o avaliador consegue ajustar a matriz, reduzindo as inconsistências.

Segundo Pamplona (1999), este método já foi testado em diversos tipos de problemas em que se sabia o valor real. Os resultados obtidos a partir das opiniões dos avaliadores foram concordantes com os dados reais, validando o método. Almeida (2002) apresenta vários casos em que foi aplicado o método AHP. Maiores informações sobre esta metodologia podem ser encontradas nos trabalhos de (GARBER, 2002; JASEN *et al.*, 2004; PAMPLONA, 1999; SAATY, 1980).

7.4 - Avaliação econômica

Nesta seção são apresentados os resultados da análise econômica efetuada para as instalações propulsoras consideradas no estudo. Embora pudesse ser empregado o custo operacional da instalação, é utilizado na avaliação o valor do frete requerido. Os custos de aquisição das instalações já foram apresentados na seção 7.2. Em seguida são estimados os custos operacionais dos comboios para as rotas de interesse.

7.4.1 - Custos operacionais do comboio

Para cada uma das instalações propulsoras foram estimados os custos operacionais do comboio para as 4 rotas definidas pela Petrobras/Transpetro. Estes

custos estão apresentados na Tabela 7.4. O Anexo F apresenta a discriminação de todos os elementos utilizados para calcular estes valores, bem como, o modelo utilizado.

Tabela 7. 4 - Custos operacionais do comboio para as rotas de interesse

ELEMENTO DE CUSTO	ALTERNATIVA DE INSTALAÇÃO		
Custos	Diesel	Diesel-elétrico	Azipod
Preço de veículos Hidroviários (R\$)	R\$ 11.362.433,61	R\$ 12.685.017,00	R\$ 13.435.017,00
Custo de Capital	R\$ 1.334.627,19	R\$ 1.489.977,34	R\$ 1.578.072,06
Custo de Seguro	R\$ 227.248,67	R\$ 253.700,34	R\$ 268.700,34
Custo de Tripulação	R\$ 296.424,00	R\$ 296.424,00	R\$ 259.371,00
Custo de Manutenção e Reparo	R\$ 302.037,34	R\$ 354.940,68	R\$ 450.361,02
Custo de Administração	R\$ 209.461,47	R\$ 227.977,64	R\$ 248.406,21
Custo de Combustível e Lubrificante	R\$ 7.850,59	R\$ 8.492,49	R\$ 8.492,49
Custo do Uso da Via	0	0	0
Custo de Porto e Terminal	R\$ 1.588,54	R\$ 1.588,54	R\$ 1.588,54
Custo Total por Viagem (Cn+Cp)			
Rota 1	R\$ 92.230,48	R\$ 99.340,80	R\$ 99.860,48
Rota 2	R\$ 62.987,03	R\$ 67.706,27	R\$ 68.225,96
Rota 3	R\$ 32.500,57	R\$ 34.727,10	R\$ 35.246,79
Rota 4	R\$ 85.492,05	R\$ 92.051,41	R\$ 92.571,10

Os valores de frete dos comboios estão apresentados na Tabela 7.5 para as rotas de interesse. Foram também calculados os valores em R\$ / t*km, por viagem, em seguida, por tonelada transportada. No Anexo F está apresentado o procedimento utilizado para realização destes cálculos.

Tabela 7. 5 – Valores totais de frete dos comboios para as rotas de interesse

Instalação	Rotas	Frete R\$/t*km	Frete por viagem	Frete por tonelada R\$ / t
Diesel	Rota 1	R\$ 0,0338	R\$ 101.453,52	R\$ 24,74

convencional	Rota 2	R\$ 0,0379	R\$ 69.285,73	R\$ 31,23
	Rota 3	R\$ 0,0623	R\$ 35.750,63	R\$ 57,84
	Rota 4	R\$ 0,0290	R\$ 94.041,26	R\$ 27,66
Diesel-elétrica	Rota 1	R\$ 0,0364	R\$ 109.274,8750	R\$ 26,65
	Rota 2	R\$ 0,0407	R\$ 74.476,8973	R\$ 33,57
	Rota 3	R\$ 0,0666	R\$ 38.199,8108	R\$ 61,80
	Rota 4	R\$ 0,0313	R\$ 101.256,5491	R\$ 29,79
Azipod	Rota 1	R\$ 0,0366	R\$ 109.846,53	R\$ 26,79
	Rota 2	R\$ 0,0411	R\$ 75.048,55	R\$ 33,83
	Rota 3	R\$ 0,0677	R\$ 38.771,46	R\$ 62,73
	Rota 4	R\$ 0,0315	R\$ 101.828,20	R\$ 29,95

Observa-se que o frete por tonelada, para as diferentes rotas, obtido para as instalações elétricas, é praticamente o mesmo, mas quando comparado com a instalação Diesel convencional apresenta uma diferença de aproximadamente R\$ 2,00 por tonelada. É importante ressaltar que os valores de frete são mais altos para Rota 3, em razão da curta distância percorrida pelo comboio. Percebe-se que, quanto menor à distância, maior é o valor de frete para o transporte hidroviário. Compararam-se os valores de frete das instalações Diesel convencional e Azipod com os valores apresentados por Padovezi (2003) para a rota São Simão até Pederneiras, para um comboio 2 x 2, com propulsão convencional e azimutal. Verificou-se que o frete estava cotado para propulsão Diesel convencional em R\$ 0,0281 t/km ou R\$ 17,96 / t. Para a mesma rota com um comboio dotado de propulsão azimutal, o frete estimado foi de R\$ 0,0333 t/km, ou R\$ 21,31 / t, considerando o custo de aquisição do veículo em R\$ 9.551.700,00. O exame destes dados mostra que, os valores calculados para os comboios com as características, aqui, apresentadas, têm uma coerência razoável com os praticados na navegação fluvial brasileira.

7.5 – Avaliação de impactos ambientais

Apresenta-se, nesta seção, a comparação entre as instalações com base na quantidade de emissões por quilômetro para cada rota de interesse para o transporte.

7.5.1 – Emissão de poluentes

As emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e partículas provenientes da queima de óleo Diesel, para cada instalação propulsoras, são estimadas através da formulação apresentada por Padovezi (2003), *apud* (CCNR, 2002), que estabelece os valores limites de emissão de motores com potência maior que 130 kW.

As emissões são calculadas em gramas, utilizando-se a expressão (7.4) para o cálculo de CO, HC e partículas, e da expressão (7.5) para o de NO_x:

$$\text{Emissões diversas} = \text{gás} \times T_{\text{NVR}} \times \text{PO} \times (1 + F_{\text{gerador}}) \quad (7.4)$$

$$\text{Emissões de NO}_x = \text{gás} \times n^{-0,2} \times T_{\text{NVR}} \times \text{PO} \times (1 + F_{\text{gerador}}) \quad (7.5)$$

onde para gases se empregam os seguintes valores:

Gases: CO – 5 g/kW/h; HC – 1,30 g/kW/h;

NO_x – $45 \times n^{-0,2}$ g/kW/h; Partículas: 0,54 g/kW/h

T_{NVR} é o tempo de viagem redonda em que os motores operam (horas);

F_{gerador} é a fração entre o consumo de óleo Diesel dos Diesel-geradores e o do motor principal: este corresponde a 5% do consumo total da instalação Diesel;

PO é a potência média utilizada durante a viagem do empurrador em kW;

n é a rotação por minuto – rpm.

Com a distância percorrida na viagem redonda, podem ser calculadas as respectivas emissões por quilômetro de via:

$$\text{Emissões por quilômetro} = \frac{\text{Emissões}}{\text{Distância}} \quad (7.6)$$

A Tabela 7.6 apresenta os dados considerados nas estimativas de emissões.

Tabela 7. 6 – Dados utilizados nas estimativas de emissões das instalações

INSTALAÇÕES				COMBOIO		
Dados	Diesel	Diesel-elétrica	Azipod	Rotas	Distâncias (km)	T. Navegando (horas)
Rotação	1800	1800	1800	Rota 1	733	218,6
Potência kW	732	775	775	Rota 2	446	129,2
Nº máquinas	2	2	2	Rota 3	140	36
fgerador	1,05	1	1	Rota 4	790	198

Como já mencionado anteriormente, devido à dificuldade de obtenção de dados para o sistema Azipod, admitiu-se que os conjuntos Diesel-geradores tenham as mesmas características dos utilizados na instalação Diesel-elétrica. Admite-se, por outro lado, que a potência requerida pelas instalações elétricas tenha um acréscimo de 6% em relação à Diesel devido às perdas maiores de transmissão. Os resultados das emissões em g/km para cada uma das rotas de interesse estão apresentados na Tabela 7.7.

Tabela 7. 7 – Emissões de gases oriundas das instalações em g/km para uma viagem

Gases	CO g/km			HC g/km			NO _x g/km			Partículas g/km		
Instalação	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rota 1	1092	1145	1145	284	298	298	2194	2302	2302	118	124	124
Rota 2	1060	1112	1112	276	289	289	2131	2236	2236	115	120	120
Rota 3	941	987	987	245	257	257	1892	1985	1985	102	107	107
Rota 4	917	962	962	239	250	250	1844	1934	1934	99	104	104

1=Instalação Diesel; 2= Instalação Diesel-elétrica; 3= Azipod

Observa-se que, as emissões das instalações elétricas são maiores que as da instalação Diesel. Isto ocorre porque está sendo considerado a operação do comboio com carga plena. Entretanto, quando o comboio opera em cargas parciais, em aproximadamente 25% do tempo, é que as instalações Diesel-elétricas geram menos poluentes, na ordem de 10% a 20% menos. Deste modo, pode-se refazer os cálculos, ponderando os modos de operação do comboio.

$$\textbf{Instalação Diesel: } 0,75 * \text{resultado} + 0,25 * 1,2 * \text{resultado} * \left(\frac{\text{Potênciaparcial}}{\text{PotênciaTotal}} \right) \quad (7.7)$$

$$\textbf{Instalação Diesel-elétrica: } 0,75 * \text{resultado} + 0,25 * \text{resultado} * \left(\frac{\text{Potênciaparcial}}{\text{PotênciaTotal}} \right) \quad (7.8)$$

em que:

Resultado é a quantidade de emissão obtida na Tabela 7.7;

Potência parcial é definida como 50%, isto é, a potência utilizada em condições de desmembramento e acessos a eclusa;

Potência Total é a potência requerida para o comboio;

0,75 é o tempo em que se opera em carga plena;

0,25 é o tempo em que se opera em cargas parciais;

1,2 é o valor que representa o acréscimo de 20% na emissão da instalação Diesel operando em cargas parciais.

Os resultados das emissões considerando as condições de operação descrita acima estão apresentados na Tabela 7.8.

Tabela 7.8 - Emissões de gases considerando a operação em cargas parciais

Gases	CO g/km			HC g/km			NO _x g/km			Partículas g/km		
Instalação	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rota 1	982	1002	1002	255	223	261	1975	2014	2014	106	108	108
Rota 2	954	973	973	248	217	217	1918	1956	1956	103	105	105
Rota 3	847	864	864	220	193	225	1702	1737	1737	91	93	93
Rota 4	826	842	842	215	188	188	1659	1693	1693	89	91	91

1=Instalação Diesel; 2= Instalação Diesel-elétrica; 3= Azipod

Embora a diferença não seja tão considerável, mesmo com as ponderações, observa-se que, para este caso, as instalações elétricas ainda emitem mais poluentes que a instalação Diesel.

7.6 - Avaliação de segurança

Para complementar a investigação, resta verificar os aspectos relacionados com a segurança do comboio, com as três instalações propulsoras consideradas, nas condições de parada brusca e manobra de giro. Aqui, o objetivo principal é verificar quanto cada uma destas instalações contribui para melhoria da segurança operacional do comboio.

7.6.1 - Aspectos considerados

Durante a investigação verificou-se que muitos acidentes ocorrem com comboios em razão da limitada capacidade de manobra que eles apresentam. Observou-se que este problema não ocorre apenas no Brasil. Em outros países eles também ocorrem e as autoridades buscam, em geral, duas formas para minimizar o problema. A primeira consiste em melhorar a via em todos os aspectos. A segunda, e a mais importante, consiste em melhorar os sistemas de manobra das embarcações instalando

máquinas que ofereçam melhor controle da embarcação. Maiores detalhes sobre os aspectos relacionados com a segurança podem ser vistos no Anexo I.

Assim, equipamentos que fornecem melhores respostas ao sistema de governo contribuem para aumentar a segurança do comboio. Em função das instalações propulsoras, aqui, apresentadas, buscou-se identificar as suas características no que se refere à parada brusca e manobra de giro. A Tabela 7.9 mostra a distância de parada brusca - D e o diâmetro de giro - Dg em função do comprimento da embarcação para cada uma das instalações. Para determinação destes parâmetros foram empregadas as informações levantadas durante a investigação, apresentadas nos Capítulos 4 e 6. No que se refere a parada brusca, considerou-se que se consegue uma redução de 20% e 40% em relação ao valor obtido com a instalação Diesel (PADOVEZI, 2003), quando se usa respectivamente, instalação Diesel-elétrica e Azipod.. Para o diâmetro de giro, utilizou-se para a instalação Diesel-elétrica os dados fornecidos pela (ABB, 2002), e para o Azipod, os dados disponibilizados por (LAUKIA, 1995).

Tabela 7. 9 - Distâncias obtidas em função do comprimento, dos tipos de instalação e de manobra

Instalação	Diesel Convencional	Diesel-elétrico	Azipod
Manobra			
Parada brusca (m) D/L	2,6	2	1,5
Diâmetro de giro (m) Dg/L	4,95	<3	2

7.7 – Aplicação do Método AHP

Nas seções anteriores estudaram-se as particularidades de cada instalação propulsora em relação aos aspectos econômicos, ambientais e de segurança. Nesta seção busca-se escolher a melhor instalação para o empurrador fluvial através do uso da metodologia AHP. Os dados analisados anteriormente servem de base para a estruturação deste método.

O primeiro passo para aplicação deste método é definir o problema e o objetivo. Neste caso, o problema é, qual a melhor alternativa de instalação propulsora para o empurrador que transportará álcool e derivados de petróleo pela hidrovía Tietê-Paraná? O objetivo é identificar esta instalação. As alternativas disponíveis são as instalações Diesel, Diesel-elétrica, convencional e com Azipod. Os critérios de avaliação são: custo operacional do comboio, impacto ambiental e segurança. Para o caso em questão, consideram-se, inicialmente, para definição da matriz de decisão, os dados referentes à rota 1 definidos nas seções anteriores para estruturação do método AHP.

O problema estruturado pelo método AHP está mostrado na Figura 7.6.

Figura 7.6 – Problema estruturado conforme método AHP

7.7.1 – Ordenação dos critérios

Após a estruturação do problema, monta-se a matriz de preferência entre os critérios, conforme modelo apresentado na Tabela 7.2. Para montagem da matriz de preferência de critérios considera-se o ponto de vista de todos os agentes envolvidos no problema; armador, órgãos que regulamentam o transporte, a população ribeirinha e a sociedade como um todo. Assim, a ordem de preferência entre os critérios é: custo operacional, impacto ambiental e segurança. Esta ordenação reflete, em primeiro lugar, a prática usual de valorizar fortemente o aspecto econômico, mas procura incorporar na

decisão outros aspectos que o autor considera muito importante. A ordem de preferência especificada resultou na matriz apresentada na Tabela 7.10.

Tabela 7. 10 – Matriz de comparações

Crítérios	C1	C2	C3
C1-Custo operacional do comboio	1	7	7
C2 - Impacto ambiental	1/7	1	1
C3 - Segurança	1/7	1/1	1
Totais	1,29	9	9

Conforme mostrado na Tabela 7.10, na comparação entre critérios admite-se que o custo operacional, expresso pelo valor do frete, tem uma forte preferência, tanto em relação ao aspecto ambiental como à segurança, ao passo que a segurança e o impacto ambiental tem a mesma importância.

Em seguida, procede-se a normalização da matriz dividindo-se cada elemento pelo total de sua respectiva coluna. Obtém-se, assim, a Tabela 7.11, onde fica explicitada através dos respectivos pesos a ordenação de preferência entre os critérios.

Tabela 7. 11 – Matriz com valores normalizados

Crítérios	C1	C2	C3	Média dos critérios ou pesos
C1 - Custo operacional do comboio	0,778	0,778	0,778	0,778
C2 - Impacto ambiental	0,111	0,111	0,111	0,111
C3 - Segurança	0,111	0,111	0,111	0,111

Após a normalização dos valores deve-se verificar a consistência, empregando o método sugerido por Saaty (1980) *apud* Garber (2002), que consiste em multiplicar o vetor das médias de cada critério pela matriz de preferência, conforme mostrado na

Tabela 7.12.. Observa-se que a somatória dos termos da coluna de consistência é tomada como uma aproximação do máximo autovalor do sistema.

Tabela 7. 12 – Consistência das comparações

Critérios	C1	C2	C3	Média dos critérios ou pesos	Consistência
C1 - Custo operacional do comboio	1	7	7	0,778	2,333
C2 - Impacto ambiental	0,14	1	1	0,111	0,333
C3 - Segurança	0,14	1,00	1	0,111	0,333
Total					3

Para definir a consistência da matriz, aplicam-se as equações (7.2 e 7.3):

$$IC = (3 - 3) / 2 = \mathbf{0}$$

Calculando a razão de consistência:

$$RC = 0 / 0,58 = \mathbf{0}$$

O exame do valor de RC constata que a matriz de comparações é coerente e apresenta uma razão de consistência menor que 0,10, portanto, é aceitável.

7.7.2 – Avaliação das alternativas

O passo seguinte é comparar as instalações propulsoras em relação às suas características. O procedimento é o mesmo realizado anteriormente, substituindo a

montagem da matriz de preferência de critérios pela montagem das matrizes de preferências das alternativas para cada um dos critérios.,

A) Custo operacional do comboio

A matriz de preferência do custo operacional do comboio está apresentada na Tabela 7.13.

Tabela 7. 13 - Matriz de comparação do custo operacional do comboio

CUSTO OPERACIONAL DO COMBOIO			
Alternativas	I1	I2	I3
I1	1	5	5
I2	1/5	1	2
I3	1/5	1	1
Totais	1,4	6,5	8

Em relação aos julgamentos apresentados na matriz acima, considerou-se que a instalação Diesel (I1) apresenta uma forte preferência em relação a instalação Diesel-elétrica (I2) e Azipod (I3) no que se refere ao critério econômico. De fato, as instalações I2 e I3 têm um valor de frete maior que a instalação Diesel. Admite-se que I2 tem uma preferência bem pequena em relação à I3, pois os custos operacionais destas instalações apresentam uma pequena diferença.

Definida a matriz de comparação, normalizam-se os valores da matriz, conforme mostrados na Tabela 7.14.

Tabela 7. 14 – Matriz de comparações normalizada do custo operacional do comboio

Alternativas	I1	I2	I3	Média dos critérios ou pesos
I1	0,714	0,769	0,625	0,703
I2	0,143	0,154	0,250	0,182
I3	0,143	0,077	0,125	0,115

A Tabela 7.15 apresenta a matriz de consistência.

Tabela 7. 15 – Análise da consistência das comparações

Alternativas	I1	I2	I3	Média dos critérios ou pesos	Consistência
I1	1	5	5	0,703	2,189
I2	0,2	1	2	0,182	0,553
I3	0,2	0,5	1	0,115	0,347
Total					3,088

A partir dos dados da tabela obtém-se:

$$IC = \mathbf{0,044}$$

Calculando a razão de consistência:

$$RC = \mathbf{0,076}$$

O exame do valor de RC constata que a matriz de preferências para a comparação econômica é consistente, com uma razão de consistência menor que 0,10, portanto, é aceitável.

B) Impacto Ambiental

A matriz de comparação das alternativas para impacto ambiental está apresentada na Tabela 7.16.

Tabela 7. 16 - Matriz de comparação do impacto ambiental

IMPACTO AMBIENTAL			
Alternativas	I1	I2	I3
I1	1	2	2
I2	1/2	1	1
I3	1/2	1	1
Totais	2	4	4

Explicitou-se o julgamento sobre o impacto ambiental, considerando que I1 é levemente preferível a I2 e I3, pois I2 e I3 emitem a mesma quantidade de gases, que é maior que a emitida por I1. Considera-se que I2 e I3 apresentam emissões equivalentes, portanto, atribuiu-se o valor 1. Definida a matriz de preferência, normalizam-se os valores da matriz, conforme mostrados na Tabela 7.17.

Tabela 7. 17 – Matriz de comparações do impacto ambiental normalizada

Alternativas	I1	I2	I3	Média dos critérios ou pesos
I1	0,500	0,500	0,500	0,500
I2	0,250	0,250	0,250	0,250
I3	0,250	0,250	0,250	0,250

A Tabela 7.18 apresenta a análise de consistência.

Tabela 7. 18 – Análise da consistência das comparações

Alternativas	I1	I2	I3	Média dos critérios ou pesos	Consistência
I1	1	2	2	0,500	1,500
I2	0,50	1	1	0,250	0,750
I3	0,50	1	1	0,250	0,750
Total					3

A partir dos dados da Tabela obtém-se:

$$IC = 0$$

Calculando a razão de consistência:

$$RC = 0$$

C) Segurança

A matriz de comparação da segurança está apresentada na Tabela 7.19.

Tabela 7. 19 - Matriz de comparação da segurança

SEGURANÇA			
Alternativas	I1	I2	I3
I1	1	3	5
I2	1/3	1	3
I3	1/5	1/3	1
Totais	1,50	4	9

Em relação à segurança, considera-se que a melhor instalação é I3, com uma grande preferência em relação a I1 e uma pequena preferência em relação a I2. Esta preferência é função da comparação dos parâmetros distância de parada brusca e diâmetro de giro, apresentados em 7.6, que indicam menores valores para a I3, seguida de I2.

A matriz de comparações normalizada está apresentada na Tabela 7.20 e na Tabela 7.21 são mostrados os dados para análise de consistência.

Tabela 7. 20 – Matriz de segurança normalizada

Alternativas	I1	I2	I3	Média dos critérios ou pesos
I1	0,077	0,048	0,097	0,074
I2	0,385	0,238	0,226	0,283
I3	0,538	0,714	0,677	0,643

Tabela 7. 21 – Análise da consistência das comparações

Alternativas	I1	I2	I3	Média dos critérios ou pesos	Consistência
I1	1	0,2	0,143	0,074	0,222

I2	5	1	0,33	0,283	0,866
I3	7	3	1	0,643	2,008
Total					3,097

A partir dos dados obtém-se:

$$IC = \mathbf{0,048}$$

Calculando a razão de consistência:

$$RC = \mathbf{0,083}$$

7.7.3 – Seleção da alternativa

Para seleção da melhor instalação propulsora deve-se efetuar a ponderação das notas (preferências) das alternativas de instalação propulsora, em cada um dos critérios pelos respectivos pesos (preferências) dos critérios. Apresenta-se inicialmente a Tabela 7.22 que sintetiza a comparação entre as instalações para os três critérios.

Tabela 7. 22 – Comparação entre as Alternativas

Critérios	C1	C2	C3
Alternativas			
I1	0,703	0,500	0,074
I2	0,182	0,250	0,283
I3	0,115	0,250	0,643

A Tabela 7.23 explicita o resultado da multiplicação da matriz de notas pelo vetor de pesos dos critérios, determinando a classificação final das alternativas.

Tabela 7. 23 – Classificação das alternativas pelo critério subjetivo

Critérios	C1	C2	C3	X	pesos	=	Classificação
Alternativas							
I1	0,703	0,500	0,074		0,778		61,04%
I2	0,182	0,250	0,283		0,111		20,09%
I3	0,115	0,250	0,643		0,111		18,87%

Observa-se, portanto, que a instalação selecionada é a Diesel, pois apresentou maior pontuação na classificação; a Diesel-elétrica ficou em 2º lugar e em 3º a instalação Azipod.

Cabe aqui uma observação; a classificação das instalações foi obtida aplicando estritamente o método AHP, incorporando o julgamento do autor que procurou sintetizar o levantamento de dados e opiniões efetuado ao longo da pesquisa. Diversas argumentações, certamente, podem ser apresentadas quanto aos pesos estabelecidos ou sobre as notas atribuídas. De qualquer modo, os resultados não surpreendem, pois a instalação Diesel apresentou vantagens em dois aspectos: custo operacional e impacto ambiental.

Uma questão que pode ser levantada é porque a avaliação econômica foi feita em termos qualitativos. De fato, dispõe-se de valores quantitativos que são os valores dos fretes e certamente a relação entre estes valores é diferente da relação de preferência estabelecida entre as alternativas de instalação propulsora. Também pode-se cogitar de efetuar uma avaliação totalmente quantitativa. Estas questões foram examinadas e os resultados desta análise estão apresentados no Anexo K.

Os resultados da comparação quantitativa considerando os parâmetros valor de frete, impacto ambiental e distância de parada brusca indicam preferência à instalação

Diesel, com uma margem pequena em relação ao Azipod. Com a substituição do valor de parada brusca pelo diâmetro de giro a instalação indicada é a Azipod.

7.8 - Comparações entre os modais fluvial e rodoviário

Nesta seção são apresentados os resultados das comparações econômica e de impacto ambiental entre os modais rodoviário e fluvial para as rotas de interesse do transporte.

7.8.1 - Análise econômica

Admite-se que o transporte rodoviário seja realizado por caminhões-tanque com capacidade de 20 m³, operando numa velocidade média de 60 km/h que, de acordo com o levantamento efetuado, é a velocidade praticada pelos caminhões-tanques que operam nas rodovias do estado de São Paulo. Para calcular o valor de frete dos caminhões estabeleceu-se, inicialmente, uma relação entre os tempos de viagem do caminhão e do comboio. Em função do tempo de viagem do comboio, determinou-se a relação entre o número dos dois modais para um mesmo período de tempo. Este procedimento foi utilizado para determinar o número de caminhões-tanque necessários para transportar o mesmo volume de carga que o comboio. Considera-se que os veículos operam 24 horas e que o tempo de carregamento e descarregamento dos caminhões-tanque seja de 20 minutos para cada operação. Este dado foi coletado através de consulta a uma distribuidora de combustíveis. Maligo (2005) apresenta tempos de carregamento similares ao coletado junto à distribuidora. O número de viagens realizadas por um caminhão em relação ao comboio está apresentado na Tabela 7.30. As distâncias rodoviárias foram obtidas através de consulta ao site do Departamento de Estradas e Rodagem – DER. Somente a distância rodoviária de São Simão à Conchas foi definida através de contato com uma empresa de transporte.

Tabela 7. 24 - Número de viagens realizadas pelo caminhão em função do tempo de viagem redonda do comboio

Terminal	Rota	Nº de Eclusas	Distância. hidroviária até Conchas	T. de viagem do comboio (Dias)	Distância. Rodoviária até Conchas	T. de viagem Caminhão (Dias)	Nº de Viagens com 1 caminhão	Nº de caminhões x comboio
Presidente Epitácio	1	9	733 km	9,95	505 km	0,73	13,64	18
Araçatuba	2	5	446 km	6,22	346 km	0,51	12,24	20
Jaú	3	1	140 km	2,34	131 km	0,21	11,16	22
São Simão (GO)	4	5	790 km	9,09	530 km	0,76	11,90	21

Observa-se que, enquanto um comboio realiza uma viagem, um caminhão é capaz de realizar no mesmo tempo de percurso em média 12 viagens. Outro fato importante é a capacidade de carga do comboio em relação ao caminhão. Neste estudo, admitiu-se que o caminhão-tanque carrega aproximadamente 16 t de álcool, ou 20 m³, pois este é o tipo de caminhão-tanque mais empregado, enquanto que, um comboio 2 x 2 transporta aproximadamente 4100 t de álcool, considerando densidade 0,82 t/m³ ou 5000 m³.

O valor de frete do caminhão foi obtido através de consulta a uma cooperativa transportadora de combustíveis. O valor atualmente praticado é de R\$ 3,00 / km, mais uma taxa adicional de R\$ 120,00 por viagem. Informações sobre fretes rodoviários podem ser obtidas no site da Coptrans. Estimaram-se os custos unitários de viagens redondas para cada caminhão-tanque em cada rota e, em seguida, o custo de frete anual em detrimento do número de veículos necessários para transportar o mesmo volume de carga que o comboio. A Tabela 7.31 apresenta os custos de frete dos caminhões para cada rota, considerando o número de total de veículos para transportar a mesma quantidade que um comboio, além disso, apresentam-se também os valores anuais de frete do comboio. Os valores anuais de frete para o comboio foram calculados baseando-se nos valores apresentados no Anexo F.

Tabela 7. 25 – Valor total de frete da frota de caminhões comparado com o comboio

Rotas	Valor de frete para 1 viagem Redonda do caminhão	Valor total de frete anual	Valor total de frete anual do comboio		
			Diesel	Diesel-elétrica	Azipod
Rota 1	R\$ 3.270,00	R\$ 29.582.844,70	R\$ 3.568.761,06	R\$ 3.843.887,40	R\$ 3.863.996,16
Rota 2	R\$ 2.316,00	R\$ 33.493.304,77	R\$ 4.504.645,14	R\$ 4.842.151,22	R\$ 4.879.317,72
Rota 3	R\$ 1.026,00	R\$ 39.461.538,46	R\$ 8.341.813,83	R\$ 8.913.289,19	R\$ 9.046.675,65
Rota 4	R\$ 3.420,00	R\$ 33.861.386,14	R\$ 3.989.629,13	R\$ 4.295.732,38	R\$ 4.319.984,47

Comparando o valor anual de frete dos caminhões-tanque em relação ao comboio com propulsão Azipod, verifica-se que o valor de frete do caminhão é aproximadamente 7 vezes maior que o do comboio, enquanto que, para o comboio com propulsão convencional é 8,88 vezes maior, o que confirma a tendência do transporte fluvial ser mais viável do ponto de vista econômico. Isto indica também que, mesmo considerando o alto investimento da instalação Azipod, ela oferece uma maior economia de transporte em relação ao uso de caminhões.

Como referência para os resultados obtidos, observe-se que os dados apresentados pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes - DNIT (2007) indicam que o frete do modal rodoviário é 5,6 maior que o hidroviário. A Administração das Hidrovias do Tocantins Araguaia – AHITAR (2007) apresenta os resultados de um estudo desenvolvido pela Companhia Vale do Rio Doce que compara os valores de frete para os modais rodoviários, ferroviário e hidroviário. O modal rodoviário apresenta um valor de frete 6,2 vezes que o modal hidroviário. O exame destes dados mostra que os valores calculados apresentam uma coerência razoável.

7.8.2 - Análise ambiental

Neste trabalho, apresentam-se 3 alternativas de instalações propulsoras para equipar um empurrador fluvial. Devido às restrições de dados adequados sobre emissões para as instalações Diesel-elétrica e Azipod, na comparação entre os modais rodoviário e fluvial admite-se emprego da instalação propulsora Diesel. Julgou-se

conveniente comparar os impactos desta instalação com os de uma frota de caminhões, pois, ainda hoje, este é o modal mais utilizado no transporte de combustíveis no Brasil. O objetivo principal desta comparação é quantificar os índices de destruição ambiental durante a operação dos caminhões em relação ao comboio. Para determinar estes índices, adotaram-se os modelos apresentados nos trabalhos de Iqbal & Hasegawa (2000), Iqbal & Hasegawa (2001) e Iqbal & Shil (2005). O modelo está descrito no Anexo J.

Aplicando o modelo proposto estimaram-se estes índices para as rotas de interesse, conforme apresentados na Tabela 7.26. Os dados apresentados na tabela representam à influência dos caminhões em relação ao comboio no impacto ambiental.

Tabela 7. 26 - Índice de destruição ambiental caminhão / comboio

Rota 1								
Componente	Componente	Unidade	Caminhão	Comboio	EP(j)	W_j	IE	IE por efeito
Esgotamento dos combustíveis fósseis	Energia consumida	MJ/ton-km	5.963.040,00	1.499.644,70	3,98	0,143	0,57	0,569
Aquecimento local	Radiação Solar	MJ/kg	2.348.399,92	1.554.715,94	1,51	0,105	0,16	0,16
Aquecimento global	Emissão de CO ₂	kg/ton-km	107.632,87	27.065,73	3,98	0,271	1,08	1,08
	Emissão de N ₂ O	kg/ton-km	3.074,69	774,11	3,97		1,08	
	Emissão de Metano	kg/ton-km	6.308,81	1.590,10	3,97		1,08	
Chuva acida	Emissão de Nox	kg/ton-km	15.959,41	4.017,12	3,97	0,165	0,66	0,66
	Emissão de SO _x	kg/ton-km	624,96	157,36	3,97		0,66	
	Emissão de Amônia	kg/ton-km	0,02	0,01	3,99		0,66	
	Emissão de HCl	kg/ton-km	0,68	0,17	3,98		0,66	
	Emissão de HF	kg/ton-km	0,10	0,03	3,98		0,66	
Eutrofização	Emissão de Nox	kg/ton-km	1.103,58	277,78	3,97	0,096	0,38	0,38
	Emissão de Amônia	kg/ton-km	0,0042	0,0011	3,99		0,38	
Poluição do ar	Emissão de C _x H _y	kg/ton-km	2,82	0,71	3,95	0,22	0,87	0,87
	Emissão de Benzeno	kg/ton-km	16,94	4,27	3,97		0,87	

	Emissão de partículas em suspensão (PM)	kg/ton-km	77,38	19,50	3,97		0,87	
	Emissão de SOx	kg/ton-km	134,22	33,80	3,97		0,87	
Total								3,71

Observa-se que, a contribuição dos caminhões-tanque é 3,71 vezes maior em relação ao comboio. O principal impacto gerado na operação de caminhões-tanque é o aquecimento global, seguido da poluição do ar e da chuva acida. Aplicou-se o modelo para as outras rotas, os resultados destas análises estão apresentados no Anexo J.

Deve-se ressaltar que neste trabalho não foram avaliados os aspectos relacionados com a segurança entre estes modais, mas os fatos mostram que o modal hidroviário é mais seguro que rodoviário quando se comparam os índices de acidentes que ocorrem na hidrovia com os que ocorrem nas rodovias.

CAPÍTULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste capítulo é apresentar uma análise do trabalho realizado, mostrando as conclusões mais importantes obtidas no decorrer da pesquisa. Apresentam-se as recomendações para continuação da pesquisa. Inicialmente, apresenta-se uma síntese da pesquisa realizada, que tem por objetivo explicar alguns comentários sobre os aspectos gerais do trabalho.

8.1 - Síntese do trabalho

A motivação inicial para realização deste trabalho surgiu quando a Petrobras / Transpetro anunciou que estava realizando um estudo de viabilidade de transporte de álcool e derivados de petróleo pela hidrovia Tietê-Paraná. A partir disso, vislumbrou-se a possibilidade da realização de um estudo sobre comboios fluviais adaptados ao transporte de combustíveis.

Neste contexto, foram definidos 2 objetivos chaves para o trabalho. Primeiro estudar os critérios de projeto para os comboios adaptados ao transporte de combustíveis e, segundo, analisar novas alternativas de instalações propulsoras para estas embarcações.

Para atender o primeiro objetivo, estudou-se as Normas da Autoridade Marítima Brasileira - Norman 02, destinada a embarcações fluviais. Ao longo da investigação surgiram dúvidas de como são estabelecidos alguns dos parâmetros utilizados para definir as restrições operacionais e de segurança para os comboios adaptados ao transporte de combustíveis, pois estas restrições são específicas para estas embarcações.

Para o esclarecimento destas dúvidas, realizou-se uma visita técnica a Diretoria dos Portos e Costas - DPC no (RJ), e verificou-se as Normas são baseadas em regulamentações internacionais, porém adaptadas à realidade da navegação interior brasileira.

No que tange as alternativas de instalações propulsoras, realizou-se um levantamento sobre as recentes tecnologias usadas em embarcações marítimas e verificou-se que, a propulsão Diesel-elétrica, convencional e com Azipod com algumas adaptações podem ser empregadas em embarcações fluviais.

Para seleção da instalação propulsora para o empurrador, realizaram-se as avaliações nos aspectos econômicos, ambientais e de segurança. Na questão econômica foram levantadas informações junto ao mercado sobre os custos de aquisição dos equipamentos que compõem as instalações propulsoras, além dos elementos que compõem os custos dos veículos fluviais. Foram consultados estaleiros, empresas de navegação do estado de São Paulo e da região Amazônica para estabelecer estes custos. Na análise do impacto ambiental recorreu-se ao método utilizado por Padovezi (2003) apud (CCNR, 2002) para cálculos das emissões oriundas das instalações propulsoras. Em relação a segurança das instalações foram mantidos contatos junto ao Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo - DH para verificar quais os principais problemas que ocorrem durante a navegação dos comboios na hidrovia, e os impactos causados pelos acidentes decorrentes dos problemas de propulsão e manobra do comboios. Adotou-se como ferramenta de decisão, o Processo de Análise Hierárquica – AHP. Durante a aplicação deste método, buscou-se incorporar nos julgamentos as opiniões dos mais diversos agentes envolvidos no problema.

Em relação às comparações entre os modais rodoviário e hidroviário, foram consultadas 2 empresas de transporte rodoviário para levantar os custos de frete de caminhões-tanque. Além disso, durante os contatos obtiveram-se as características dos caminhões utilizados atualmente no transporte de combustíveis. Estas informações foram essenciais para estimar as análises econômica e ambiental.

8.2 – Conclusões

As instalações elétricas podem ser uma boa alternativa para redução dos riscos de acidentes na hidrovia Tietê-Paraná. As vantagens apresentadas por este tipo de propulsão tendem a viabilizar sua aplicação em comboios fluviais principalmente os que transportam cargas perigosas. Considerando que a exigência de manobra é grande para os comboios, dotá-los de sistemas propulsores mais eficientes garante a segurança do transporte.

O uso do método AHP permitiu incorporar no processo de seleção da instalação propulsora do empurrador dois aspectos importantes que influenciam diretamente no transporte, o ambiental e a segurança. A análise qualitativa do método indicou a instalação Diesel como a mais indicada, com 61,04% de preferência.

Além disso, a comparação entre os modais mostrou que o fluvial é mais vantajoso que o rodoviário em dois aspectos, econômico e ambiental. Na questão econômica o transporte fluvial destes produtos é aproximadamente 7 vezes menor que realizado por uma frota de caminhões-tanques. O impacto ambiental proveniente do caminhão nas rotas de interesse é em média 3 vezes maior que o produzido pelo comboio. Verificou-se que o principal impacto gerado pelos caminhões é o aquecimento global.

8.3 - Recomendações

A falta de dados sobre a aplicação do Azipod em embarcações fluviais do tipo comboio de empurra foi um fator que limitante da pesquisa. Neste sentido, é importante construir modelos em escala deste sistema propulsor para realização de ensaios em tanque de provas, para quantificar as vantagens deste sistema para comboios fluviais.

Como seqüência deste trabalho, pode-se utilizar o método AHP para construção de matrizes de decisão mais complexas, que incorpore outros aspectos quantitativos e

qualitativos, de modo que expresse o julgamento dos avaliadores sobre estes aspectos. Além disso, seria importante a confecção de um questionário contendo os aspectos a serem avaliados e, que este fosse entregue aos diferentes agentes envolvidos no problema. Assim, o julgamento dos critérios não ficaria restrito apenas a um avaliador, mas seria composto em função dos julgamentos de um grupo de avaliadores.

Por outro lado, poder-se-ia estudar novas alternativas de instalações propulsoras para comboios fluviais com menores custos de aquisição, que sejam eficientes e que garantam maior segurança em relação à instalação Diesel. Uma alternativa para atender o aspecto ambiental é o uso de gás natural - GN como combustível para os motores dos geradores, pois, sabe-se que a queima do gás natural gera menores quantidades de poluentes. Existem vários estudos que mostram a aplicação deste tipo de combustível em embarcações marítimas com propulsão elétrica.

ANEXO A

PROFUNDIDADES ENCONTRADAS AO LONGO DA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ

Neste anexo são mostradas em função do levantamento realizado nos cadernos de navegação da Hidrovia Tietê-Paraná, as variações de profundidades encontradas nos principais trechos da hidrovia. Estas variações de profundidades estão apresentadas em figuras que indicam sua localização e os valores médios medidos.

A.1 – Profundidades do canal navegável da hidrovia

Foram consultados os cadernos de navegação da hidrovia Tietê-Paraná, disponibilizados pelo Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo (DH) e pela Administração da Hidrovia Tietê-Paraná (AHRANA). Nestes cadernos estão estabelecidas as profundidades em todos os rios que compõem a hidrovia Tietê-Paraná.

No caderno fornecido pelo DH, os levantamentos batimétricos eram datados de 1995. Já nos cadernos disponibilizados pela AHRANA os levantamentos eram mais recentes, foram coletados em 2003.

Nestes cadernos os levantamentos batimétricos foram realizados quilometro por quilometro, sendo que estas medições foram divididas em vários trechos da via, considerando os pontos de jusante a montante de cada uma das eclusas. As profundidades estão apresentadas juntamente com a quilometragem do local, seguindo o critério mostrado nos cadernos. De posse destes dados foram elaborados gráficos que mostram as profundidades do canal navegável. É importante salientar que, em alguns trechos do Rio Tietê verificou-se algumas restrições de profundidades. Entretanto,

foram realizados contatos junto ao DH e as estas cotas foram atualizadas. A seguir são apresentados os levantamentos.

Figura A. 1- Profundidades do canal navegável do rio Tietê

Fonte – Diretoria de Hidrografia e Navegação (1995)

Figura A. 2 - Profundidades do canal navegável a montante da eclusa de Ilha Solteira

Fonte – Administração da Hidrovia do Paraná – AHRANA (2003)

Figura A. 3 - Profundidades do canal navegável a jusante da eclusa de Jupia

Fonte – Administração da Hidrovia do Paraná – AHRANA (2003)

Figura A. 4 - Profundidades do Canal de Pereira Barreto

Fonte – Diretoria de Hidrografia e Navegação (1995)

Figura A. 5 - Profundidades do Rio Paranaíba

Fonte – Diretoria de Hidrografia e Navegação (1995)

A.2 - Limitação da eclusa Barra Bonita

As Normas de Tráfego na Hidrovia Tietê-Paraná e seus Canais - NTHTPC (2005) esclarecem no Artigo 5º que “na eclusa de Barra Bonita, entre a soleira e os muros das paredes laterais da câmara existe uma mísula estrutural triangular com 3,00 m (três metros) de altura e 0,80 m (oitenta centímetros) de base. Assim sendo, as embarcações deverão possuir forma de casco apropriada para esta situação”.

Além disso, a poucos metros à jusante da porta de nível inferior da eclusa localiza-se um degrau de 0,50 m de altura, com a finalidade de posicionar o “stop log⁶” inferior. No nível mínimo de jusante 426,00 m, deve-se ter precaução quanto ao calado máximo das embarcações em operação para evitar acidentes com o fundo.

A fim de facilitar o acesso das embarcações às câmaras das eclusas da hidrovia todas dispõem de muros guias, à montante e à jusante. Em algumas eclusas existem canais de ligação com a via navegável (FERREIRA, 2000).

⁶ Stop log: comporta de manutenção, que pode ser instalada à montante ou à jusante e depois retirada conforme a necessidade.

Figura A.6 – Mísula da eclusa de Barra Bonita

A.3 - Influência dos pilares de pontes

No Rio Tietê não é permitido o cruzamento de embarcação no mesmo vão, por causa dos seguintes aspectos:

1. a largura entre os pilares não é suficiente, pois segundo recomendações internacionais, exige-se que o vão tenha 8 vezes comprimento do comboio;
2. o comboio não navega em forma retilínea, sofre constantes desvios que são compensados pelo piloto. Este fato é mais agravado quando o

empurrador navega com calado inferior ao das barcas e quando as barcas navegam vazias piorando a estabilidade direcional.

Neste contexto, Padovezi & Victoria Junior (2001) definem este fenômeno como “boca virtual”; isto ocorre devido à forma dos cascos das barcas que normalmente geram uma instabilidade direcional de rumo, fazendo com que o timoneiro constantemente corrija a deriva resultante. Os autores observaram que, nas operações com comboio padrão na hidrovía Tietê-Paraná, os desvios de proa correspondem a 8 m tanto para bombordo quanto para boreste compreendendo uma faixa de navegação de 27 m, ou seja, bem maior que sua boca real. Os autores denominam estes desvios de boca virtual. Para o comboio 2x1, isto é, duas chatas em linha mais um empurrador a faixa de navegação pode ser obtida pelo somatório das larguras das chatas em linha, neste caso 11 m de boca cada, mais 16 m da boca virtual. A complexidade do problema nesta hidrovía deve-se ao fato de não ser incomum ângulo de deriva de 10° a 12°, o que corresponde a uma boca virtual de aproximadamente 35 m, isto é, um maior risco potencial de colisão do comboio com o pilar. A visão que o piloto tem do tijupá do empurrador está apresentada na Figura A.7.

Muitos dos acidentes ocorridos no período de 1994 a 1998, envolvendo colisões de comboios com pilares de pontes foram influenciados por este fenômeno. Padovezi & Victoria Junior (2001) computaram um total de 19 colisões no período entre 1994 a 1999. Estes acidentes levaram o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, a desenvolver um sistema de proteção dos pilares de pontes para esta hidrovía.

Este sistema consiste em criar um obstáculo na trajetória de colisão do comboio com o pilar, que delimita a rota de navegação. O sistema é construído de módulos flutuantes, fabricados em aço, ancorados por poitas de concreto. Deste modo, formam-se quatro barreiras flutuantes uma à montante e outra à jusante de cada um dos lados dos dois pilares do vão principal da ponte, na rota de navegação, amarradas através de uma série de cabos ancorados no fundo do rio (PADOVEZI & CALTABELOTI, 2001). O sistema pode ser observado na Figura A.8.

Figura A.7 - Visão do piloto

Vistorias realizadas pelo IPT indicam que depois da instalação destes protetores ao longo das pontes da hidrovia, algumas embarcações colidem com os protetores causando danos e gerando custos elevados para sua manutenção, em alguns casos existe a necessidade destes serem removidos de local para manutenção, conforme apresentado na Figura A.9. Segundo o Departamento Hidroviário-DH é freqüente a ocorrência de resvalos das embarcações com os protetores sem danos, devido às falhas no sistema de manobra e governo.

Certamente, este sistema não é 100% eficiente, porque não foi projetado para resistir a choques frontais de comboios carregados em altas velocidades. Entretanto, tem apresentado resultados satisfatórios quanto à segurança dos tabuleiros das pontes, considerados trechos críticos. É certo que para evitar tais problemas os comboios fluviais devem dispor de sistemas mais eficientes de manobra (PADOVEZI & CALTABELOTI, 2001).

Figura A.8 - Protetores de pilares de ponte no canal de navegação

Figura A.9 - Colisão na parte superior do protetor

A.4 - Ação dos ventos

Um efeito importante da ação do vento na hidrovia relaciona-se com os procedimentos de ancoragem dos comboios nas margens dos rios ou nos pontos de espera flutuantes (PEF). Os PEF's são formados por bóias com cabeço de amarração fixadas por poitas instaladas no fundo do rio dispostas ao longo da via. Utilizam-se estes

locais para realizar o desmembramento do comboio, ou seja, a separação das chatas para a eclusagem ou na passagem sob pontes. Em dias de vento forte este procedimento torna-se perigoso, pois os PEF's não são projetados para receber impacto do veículo fluvial. Assim, o piloto deve fazer a aproximação com cautela para que o desvio da embarcação, devido ao vento, não atinja o flutuante, conforme mostrado na Figura A.10.

Figura A.10 - Ponto de espera flutuante e na margem do rio

Além do vento, a visibilidade durante uma viagem é um ponto crucial, pois com baixa visibilidade existe um risco maior de ocorrer colisões. Em condições de mau tempo com a presença acentuada de neblina, os pilotos utilizam-se de equipamentos como radar e GPS para conseguirem navegar de forma segura.

A velocidade da correnteza na hidrovia é significativamente baixa em relação aos rios de corrente livre, varia de 0,1 m/s a 0,3 m/s em virtude dos reservatórios, entretanto, próximo aos barramentos podem ocorrer correntes transversais. Padovezi

(2003), explica que logo à jusante dos reservatórios as correntezas são maiores pelo fato de não haver neste ponto muita influência do reservatório mais a frente.

A.5 - Canais artificiais

Na hidrovia existem 3 canais artificiais: Bariri, Porto Primavera e Pereira Barreto, localizados nos reservatórios de Bariri, Porto Primavera e Pereira Barreto, respectivamente. Estes canais são denominados como artificiais, pois foram escavados fora do leito principal do rio, para permitir o acesso às eclusas e a interligação entre rios.

As dimensões dos canais são: Bariri comprimento 4,6 km, profundidade média 3,00 m; Pereira Barreto comprimento 9,6 km, profundidade média 7,00 m e Porto Primavera comprimento 70,00 m e profundidade 5,00 m (ATLAS 2800 1995; AHRANA, 2003).

Os pontos críticos estão indicados na Tabela A.1.

Tabela A.1 – Pontos com restrições à navegação e formação do comboio

RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA		
Local	Formação	Trecho
Do PE Mont. SP-147 ao PE Jus. Ponte SP-147	79,00 m x 11,00 m	Trecho de Ponte
Do PE Mont. ao PE Jus. Ponte SP-191	Tipo Tietê	Trecho de Ponte
RESERVATÓRIO DE BARIRI		
Do PPO Jus. Eclusa B.Bonita ao PE Jus. Ponte SP-255	79,00 m x 11,00 m	Trecho de Ponte
Do PE Jus. Ponte SP-255 ao PE Mont. Canal Igarçu	Tipo Tietê	Trecho de Ponte
Do PE Mont. Ponte Ferroban ao PE Jus. Ponte Ferroban	Tipo Tietê	Trecho de Ponte
Do PPO Mont. eclusa Bariri a Eclusa	Tipo Tietê	Á. de Segurança
RESERVATÓRIO DE IBITINGA		
Da eclusa Bariri ao PPO Jus. Eclusa Bariri	Tipo Tietê	Á. de Segurança
Do PPO Mont. Eclusa Ibitinga a eclusa	Tipo Tietê	Á. de Segurança
RESERVATÓRIO DE PROMISSÃO		
Da eclusa Ibitinga ao PPO Jus. Eclusa Ibitinga	Tipo Tietê	Á. de Segurança
Do PE Mont. Ponte SP-333 ao PE Jus. Ponte SP-333	Tipo Tietê	Trecho de Ponte
Do PPO Mont. eclusa Promissão a eclusa	Tipo Tietê	Á. de Segurança

RESERVATÓRIO DE NOVA AVANHANDAVA		
Da eclusa Promissão ao PPO Jus. Eclusa Promissão	Tipo Tietê	Á. de Segurança
Do PE Mont. ponte SP-425 ao PE Jus. Ponte SP-425	Tipo Tietê	Trecho de ponte
Do PPO Mont. eclusa N.Avanhandava a eclusa	Tipo Tietê	Á. de Segurança
RESERVATÓRIO DE TRÊS IRMÃOS		
Da eclusa N.Avanhadava ao PPO Jus. N.Avanhandava	Tipo Tietê	Á. de Segurança
Do PE Mont. Ponte SP-463 ao PE Jus. Ponte SP-463	Tipo Tietê	Trecho de ponte
Do PE mont. SP-563 ao PE Jus. SP-563	Tipo Tietê	Trecho de ponte
Do PPO Mont. Eclusa Três Irmãos a eclusa de Três	Tipo Tietê	Á. de Segurança
RESERVATÓRIO DE JUPIÁ		
Da eclusa Três Irmãos ao PE Jusante Três Irmãos	Tipo Tietê	Á. de Segurança

Fonte: NTHTPC (2005)

Nota-se que em algumas localidades é necessário que o comboio, com formação 2 x 2, seja totalmente desmembrado para realizar a passagem na formação 1 x 1, ou seja, uma chata e um empurrador. Isto afeta, em muito, a operacionalidade do sistema fluvial que se caracteriza pelo transporte de grande quantidade de carga com menor custo, pois há aumento do tempo de trânsito da embarcação nestes trechos.

ANEXO B

EMPURRADOR FLUVIAL

Neste anexo é apresentada uma descrição do empurrador fluvial que compreende uma perspectiva, um arranjo de convés e uma lista de equipamentos. A lista de equipamentos que formam o sistema propulsivo do empurrador foi gentilmente cedida pela Bureau Colombo. Apresenta-se também o procedimento para determinação do ângulo de visada do empurrador e o sistema de ponte elevatória da cabine de comando. A Figura B.1 apresenta a perspectiva do empurrador.

Figura B. 1 - Empurrador Fluvial

Figura adaptada de McDonough Marine Service (2006)

A seguir são apresentadas as características do empurrador fluvial. Cabe ressaltar que estes dados foram obtidos através de uma investigação nos cadernos da CESP (1995) e contatos com a Classificadora Bureau Colombo.

B.1 – Convés inferior do empurrador

Figura B.2 - Arranjo do convés inferior e empurrador

Fonte: Bureau Colombo

As características do empurrador apresentada na figura acima estão descritas na Tabela B.1.

Tabela B.1. – Características do empurrador X

Características principais do empurrador	
Descrição	Dimensões
Comprimento total do casco	19,50 m
Comprimento entre perpendiculares	18,72 m
Boca moldada	8,23 m
Pontal moldado	2,90 m
Calado de projeto	2,50m
Características das máquinas do empurrador	
Item	Descrição
1	MCP – Caterpillar Mod.3408 – 470 HP @ 1800 rpm
2	Reversor ZF BW 11171 – Taxa de redução 6:1
3	Grupo de baterias para acionamento dos MCP's
4	Grupo de baterias para acionamento dos MCA's
5	Grupo de Baterias de emergência
6	Unidade hidráulica para elevação da cabine
7	MCA – MWM D 229-6 120 HP @ 1800 rpm
8	Gerador 55 KVa – 220 / 127 V
9	Quadro Elétrico
10	Painel de distribuição
11	Unidade hidráulica do sistema de governo
12	Sistema de ar comprimido
13	Bomba de incêndio – 15 m ³ /h
14	Bomba de lastro / esgoto – 10 m ³ /h
15	Bomba de água potável – 15 m ³ /h
16	Bomba de drenagem – 10 m ³ /h
17	Piano de válvulas

B.2 – Ângulo de visada do empurrador

A Figura B.3 mostra o procedimento para determinação do ângulo de visada do empurrador a partir dos levantamentos apresentados pela (CESP, 2005). A Figura B.4 é mostra o sistema de ponte elevatória que muitos empurradores utilizam durante as operações na hidrovia para melhorar a visibilidade na proa do comboio.

Figura B.3 - Angulo de visada do empurrador
Fonte: CESP (1995)

Figura B.4 – Detalhe do passadiço do empurrador
Fonte: CESP (1995)

ANEXO C

MANOBRA DO COMBOIO EM TRECHOS CURVOS

Apresenta-se neste Anexo o procedimento utilizado pelos pilotos para manobrar o comboio em trechos curvos. Descreve-se inicialmente a seqüência típica de uma manobra de giro e posteriormente é apresentado o comportamento do comboio e do piloto na condição de manobra.

São apresentados também os resultados dos ensaios de giro realizado com um comboio em escala no reservatório de Bariri, citado por (PADOVEZI, 2003).

C.1 - A manobra de giro

Segundo Comstock (1967) durante uma manobra de giro o navio passa por 3 fases conforme mostrado na Figura C.1. Primeiro o navio se aproxima em linha reta do local próximo a curva, e a uma dada determinada distância da curva ocorre a primeira deflexão do leme, a partir da qual o navio começa a girar. Na segunda fase mantém-se a deflexão do leme e o navio continua a girar e na terceira fase o navio completa a manobra de giro. É importante ressaltar que em todo o giro o navio atinge uma posição oblíqua nas quais são realizadas as compensações de forças e momentos. No término da terceira fase do giro, o navio apresenta um ângulo de deriva que é compensado pela ação do leme.

Geralmente em navios mercantes o raio de giro do navio fica entre 2 a 3 vezes o comprimento do navio. O giro do navio pode ser caracterizado por três mensurações numéricas importantes, conhecidas como, avanço, transferência e diâmetro tático. O avanço corresponde à distância entre o início da manobra e a posição em que o eixo longitudinal do navio tiver girado 90° em relação à orientação inicial. A transferência é

a distância do ponto de aproximação do navio da curva até o ponto que ele atinge 90° na curva. O diâmetro tático é distância de aproximação do navio no eixo x, após o navio ter realizado um giro de 180° . Estes parâmetros apresentados são utilizados para caracterizar a manobra do navio tanto em águas abertas quanto em águas restritas.

Figura C. 1 - Fases do giro de um navio

Fonte: Comstock (1967)

C.2 - Manobra de comboios

Tratando de comboios fluviais, Riva (1983) explica que durante a manobra em curvas o timoneiro é quem ajusta o ângulo do leme em função do raio da curva. Neste caso, o timoneiro executa mudanças sequenciais, ao longo da curva, no ângulo do leme com o intuito de manter a trajetória. Os ângulos impostos pelo timoneiro é uma questão

subjetiva, haja vista que depende da experiência do piloto, condição da via e condição de tempo. Sabe-se que a condição de manobra de um comboio é diferente da de uma embarcação em águas abertas.

A Figura C.2 ilustra a manobra de um comboio. Deve-se ressaltar que, durante as curvas, o comboio tem que seguir o canal de navegação, que está sinalizado através de bóias.

Figura C. 2 - Trajetória do comboio durante manobra em curva

Fonte: Riva (1983)

Observa-se que o comboio não é manobrado de maneira uniforme, assumindo uma trajetória poligonal, com o centro de rotação do comboio descrevendo trajetórias circulares de raios variáveis com o tempo. Esta operação é realizada mediante verificações sistemáticas do piloto à terra firme, tomando como pontos de referência marcos notáveis dispostos nas margens da hidrovia. Os testes conduzidos por Riva (1983) no reservatório de Barra Bonita, indicaram uma subjetividade no comportamento do piloto durante as manobras. Nos ensaios em que os ângulos de mudança de rumo foram mais expressivos, o piloto apresentou uma tendência de fornecer maiores ângulos de leme à embarcação, forçando o aparecimento de maiores ângulos de deriva, como se tentasse em menor espaço de tempo posicionar o comboio com alinhamento correspondente à saída da curva.

Além dos ensaios realizados por Riva, o IPT realizou outros ensaios de giro com modelos em escala. Padovezi (2003) apresenta os resultados de ensaios realizados com comboios em escala 1:6 no Rio Tietê, no reservatório de Bariri. Foram realizadas diversas campanhas de ensaios. Os comboios foram testados em varias formações e os resultados estão conforme apresentado nas Figuras C.3 e C.4.

Figura C. 3 - Resultados de ensaios de manobra de giro com comboio em escala 1:6 no Rio Tietê. Relação diâmetro de giro pelo comprimento do comboio

Fonte: Padovezi (2003)

Figura C. 4 - Resultados de ensaios de manobra de giro com comboio em escala 1:6 no Rio Tietê. Relação diâmetro de giro pelo comprimento do comboio em metros

Fonte: Padovezi (2003)

O exame da Figura C.3 mostra que os maiores diâmetros de giro ocorreram na formação 2 x 2, devido esta formação apresentar a maior razão Dg/L .

ANEXO D

CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO DE COMBOIOS ADAPTADOS AO TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEIS

Neste Anexo é apresentada uma síntese dos principais aspectos relacionados com a estabilidade das barcas e do empurrador, além de algumas considerações sobre segurança operacional do comboio.

D.1 - Borda livre e estabilidade intacta

Para a segurança da embarcação é importante que sejam atendidos os requisitos de borda livre e de estabilidade intacta. No Capítulo 6 da Normam, estão apresentados os procedimentos e métodos de cálculos da borda livre e da estabilidade intacta de uma embarcação, nos quais as sociedades classificadoras baseiam-se para avaliar o projeto.

É importante salientar que, para estes cálculos, a Normam define duas áreas de navegação para embarcações fluviais. A área 1 inclui as áreas abrigadas, tais como lagos, lagoas, baías, rios e canais, onde normalmente não ocorrem ondas com alturas significativas que coloquem dificuldades ao tráfego das embarcações. A segunda inclui as áreas parcialmente abrigadas, onde ocorrem eventualmente ondas com alturas significativas e, ou, combinações adversas de agentes ambientais, tais como, vento, correnteza ou maré que dificultam a navegação. As embarcações que navegam pela hidrovia Tietê-Paraná estão classificadas em área 2, devido ao fato de estarem expostas às influências dos agentes ambientais.

Embarcações que transportam líquidos a granel, com porões fechados, como é o caso de embarcações-tanques, que apresentam uma alta integridade do convés exposto, e adicionalmente uma grande resistência ao alagamento, em função da pequena permeabilidade dos espaços de carga, e cujos tanques de carga possuam somente pequenas aberturas de acesso, fechadas por tampas de aço estanques à água, poderão ter uma redução de 25% na borda-livre especificada.

Para os cálculos de estabilidade, em cada condição de carregamento, deve ser considerado o efeito de superfície livre dos tanques de líquidos consumíveis. Outra consideração importante refere-se à adoção de lastros sólidos, pois sua distribuição pode afetar a estabilidade da embarcação, portanto eles devem-se ser colocados nos locais mais favoráveis para evitar problemas de trim.

A) Critérios de estabilidade de barcas

As barcas de transporte de cargas, que operam nas regiões classificadas como área 2, devem atender aos seguintes critérios de estabilidade:

- i) A área sob a curva de estabilidade estática até o ângulo correspondente ao braço de endireitamento máximo não deve ser inferior a 0,080 m.rad;
- ii) A altura metacêntrica inicial (G_{Mo}) não deve ser inferior ao valor da altura metacêntrica inicial requerida (G_{Mr}), calculada por intermédio da seguinte expressão:

$$G_{Mr} = \frac{P \times A \times h}{\Delta \times \tan \theta} \quad (D.1)$$

onde:

G_{Mr} é a altura metacêntrica inicial requerida, em m;

A é a área lateral projetada da porção da embarcação acima da linha d'água correspondente à condição de carregamento considerada, em m²;

h é a distância vertical entre o centróide da área “A” e metade do calado médio para a condição de carregamento considerada, em m;

Δ é o deslocamento da embarcação na condição de carregamento considerada, em t;

θ é o ângulo de inclinação entre a metade superior da borda-livre na condição de carregamento considerada e o canto superior do convés, ou 14° , adotando-se o menor valor;

$$P = 0,055 + (LPP / 1309)^2, \text{ em t/m}^2; \text{ e}$$

LPP é o comprimento entre perpendiculares, em m.

B) Estabilidade em avaria

Durante a navegação a embarcação está sujeita a avaria tanto no fundo como no costado. Em casos de avaria, deve-se adotar as seguintes hipóteses relativas à extensão da avaria:

Avaria no costado:

- extensão longitudinal: $1/3 (L^{\frac{2}{3}})$ ou 14,50 m, o que for menor;
- extensão transversal (medida do costado para dentro, perpendicularmente ao plano de simetria no calado correspondente à linha de carga de verão ou equivalente (para embarcações sujeitas a um regulamento de borda livre) ou no calado máximo (para as demais): $B/5$ ou 11,50 m, o que for menor;
- extensão vertical (a partir da linha moldada do chapeamento do fundo na linha de centro: para cima sem limitação).

A avaria no fundo do casco deve ser computada conforme apresentado na Tabela F.1.

Tabela F. 2 - Condição de avaria

AVARIA DO FUNDO	Na região compreendida entre a perpendicular de vante e $0,3L$.	Em qualquer outra região do navio
EXTENSÃO LONGITUDINAL	$1/3 (L^{2/3})$ ou 14,5 m o que for menor.	$1/3 (L^{2/5})$ ou 5 m, o que for menor
EXTENSÃO TRANSVERSAL	B/6 ou 10 m, o que for menor.	B/6 ou 5 m, o que for menor.
EXTENSÃO VERTICAL	B/15 ou 6 m, o que for menor (medida a partir da linha moldada do chapeamento do fundo na linha de centro)	B/15 ou 6 m, o que for menor (medida a partir da linha moldada do chapeamento do fundo na linha de centro)

Fonte: Normam (2003)

C) Critérios para estabilidade em avaria

Segundo a Normam (2003), a curva de estabilidade estática deve ter braço de endireitamento (GZ) positivo, ou seja, deve estender-se por uma faixa de, no mínimo, 20° além da posição de equilíbrio (posição final de flutuação). A área sob a curva do GZ até 20° após o ponto de equilíbrio, ou até a imersão de uma abertura não estanque à água, não deve ser menor do que 0,0175 mrad em associação com um GZ residual máximo de, no mínimo 0,10 m na faixa mencionada. No estágio final de alagamento, o ângulo de inclinação não deve exceder 25°, podendo ser aceita uma inclinação de até 30°, caso não ocorra imersão no convés, conforme mostrado na Figura D.1.

Figura D. 1 – Critério de GZ na condição de avaria estabelecido pela Normam

Entretanto, A Bureau Colombo estabelece valores menos rígidos para barcas em condição de avaria. Os valores positivos de GZ na curva de estabilidade estática devem se estender por uma faixa de, no mínimo 15°, além da posição de equilíbrio (posição final de flutuação). A área sob a curva dos braços GZ até 15° após o ponto de equilíbrio, ou até a imersão de uma abertura não estanque à água, não deve ser menor do que 0,0065 mrad em associação com um GZ residual máximo de, no mínimo 0,05 m na faixa mencionada. No estagio final de alagamento, o ângulo de inclinação não deve exceder 25°. A Figura D.2 ilustra os critérios mínimos exigidos nesta condição.

Figura D. 2 – Critério de GZ na condição de avaria estabelecido pelo Bureau Colombo

Como as barcas têm AB acima de 500, elas devem atender os critérios estabelecidos pelas sociedades classificadoras.

D.2 - Critérios para projeto de empurrador fluvial

D.2.1 – Estabilidade

A) Critério Geral

Os empurradores que operam nas regiões classificadas como área 2, deverão atender aos seguintes critérios de estabilidade:

- O ângulo de equilíbrio estático da embarcação (θ_1), quando submetida à ação isolada do acúmulo de passageiros em um bordo, do vento, da manobra de giro ou do reboque (quando aplicável) deve ser menor ou igual ao ângulo de imersão do convés na condição de carregamento considerada ou 12° , o que for menor;
- A área compreendida entre a curva de estabilidade estática (CEE) e a do GZ devido ao acúmulo de passageiros em um bordo, ao vento, a manobra de giro ou ao reboque (quando aplicável), até o ângulo de alagamento (θ_f) ou 40° , o que for menor, deverá ser maior ou igual que 1,2 vezes a área sob a curva dos braços de emborcamento antes da interseção com a curva de estabilidade estática;
- A altura metacêntrica inicial (GMO) não deverá ser inferior a 0,35m;

Estes critérios estão sintetizados na Figura D.3.

Figura D. 3 – Critério de estabilidade para área 2

D.3 - Segurança no transporte

É sabido que uma embarcação que transporte álcool ou derivados de petróleo apresenta um maior risco de acidentes mesmo incorporando sistema de proteção e prevenção de ocorrência dos mesmos. Neste sentido, tanto a Normam quanto a Bureau Colombo determinam procedimentos operacionais que devem ser obedecidos quando se transporta este tipo de carga.

No que tange aos riscos de incêndios, os equipamentos de combate e prevenção necessários para equipar o comboio estão listados no Capítulo 4 da Normam. Cabe ressaltar que no caso dos empurradores, deverá ser prevista na entrada da praça de máquinas uma tomada de incêndio e uma estação de incêndio. A estação de incêndio, além do normalmente requerido, deverá possuir uma ou mais seções de mangueira e um aplicador de neblina, de modo a atender todos os pontos da praça de máquinas. A seção de mangueira deverá ser dotada de acessórios que permitam um rápido engate à tomada de incêndio. Ressalta-se que o diâmetro mínimo da mangueira deve ser de 38 mm.

Além disso, a rede de incêndio deve dispor de uma conexão internacional bordo /terra de incêndio, bem identificada e acessível de ambos os bordos da embarcação, fabricada de aço ou outro material equivalente, designada para suportar a mesma pressão nas paredes de incêndio da embarcação.

Outro procedimento se refere à prevenção e combate a poluição. Neste contexto, a Normam estabelece que toda embarcação que transporte mais de 200 m³ de petróleo ou de seus derivados deve possuir e manter a bordo um plano de emergência de bordo para poluição por óleo. Este plano deve conter pelo menos as seguintes informações: descrição detalhada das ações a serem tomadas pelas pessoas a bordo para reduzir ou controlar incidentes com vazamentos de óleo; a lista de autoridades e pessoas a serem contatadas no caso de um incidente de poluição com óleo; procedimentos para ação coordenada de bordo com autoridades e locais no combate a poluição e localização dos equipamentos para conter, minimizar ou recolher derrame de óleo. Caso ocorra derramamento de óleo no convés, a embarcação deverá ser dotada de material para remoção de derramamento, conforme apresentado no Capítulo 5 da Normam.

A segurança da tripulação é uma questão muito importante e muito discutida no setor naval, devido à frequência de ocorrências de acidentes no transportes de cargas perigosas. Em várias partes do mundo ocorrem acidentes com embarcações, a investigação das causas mostrou que a má gestão de segurança e o erro humano são os principais responsáveis. Como os critérios utilizados pela Normam são baseados em resoluções internacionais, a tripulação deve atender requisitos rígidos de segurança por ela estabelecido. Determinou-se que toda embarcação que efetue transporte de cargas perigosas deverá haver tripulação habilitada para efetuar o correto manuseio dessa carga e também atuar em situações de emergência. A tripulação deve dispor de equipamentos de proteção individual (EPI) adequados para lidar com os vazamentos e incêndios de cargas perigosas transportadas.

Por outro lado, é usual que todo armador tenha um planejamento de manutenção para sua embarcação, que inclui docagens para reparo do casco ou do motor. Em muitos casos este procedimento fica a cargo do armador ou ele realiza juntamente com sociedade classificadora que aproveita a docagem para inspecionar o casco. Neste contexto, a embarcação deverá ter um sistema de inspeção e manutenção programado para os equipamentos de combate a incêndio, proteção individual e equipamento de salvatagem.

Em relação à segurança operacional, o ponto principal refere-se aos tanques de carga. A quantidade de carga requerida para ser transportada não deve exceder 3000 m³ em qualquer um dos tanques das barcas. Os tanques que levam líquidos à temperatura

ambiente devem ser segregados de forma a evitar que o tanque fique cheio de líquido durante a viagem, considerando a temperatura mais alta que a carga pode alcançar.

Por outro lado, é obrigatório que todos a bordo tenham acesso às informações necessárias para o transporte seguro da carga. Tais informações devem incluir o plano de armazenamento da carga, indicando toda a carga a bordo, incluindo cada produto perigoso transportado e as providências a serem tomadas em caso de derramamento ou vazamento. Informações adicionais podem assegurar uma melhor segurança à embarcação tais como: medidas a serem tomadas em caso de contato acidental do pessoal com a carga, procedimentos de limpeza dos tanques quando for necessário, liberação de gás, lastreamento e manuseio da carga.

ANEXO E

DADOS ADICIONAIS SOBRE O AZIPOD COMPACTO

Neste anexo são apresentadas algumas particularidades do sistema Azipod. Estes dados são transcrições do guia de projetos do Azipod Compacto fornecido gentilmente pela ABB. No item E.1 estão apresentadas as dimensões principais dos equipamentos, além de uma breve apresentação sobre os principais componentes do sistema. O item E.2 mostra o navio fluvial utilizado pela *Airbus*.

E.1 – Azipod Compacto

O Azipod compacto é constituído por um sistema de Diesel-geradores que fornecem energia para os conversores que, por sua vez, acionam o Azipod. Nesta seção são apresentadas inicialmente as dimensões principais para as várias faixas de potência do equipamento. Posteriormente são listados os principais equipamentos que compõem o sistema. Por fim, são apresentadas em função da rotina de trabalho do Azipod, as características de confiabilidade operacional do sistema.

E.1.1 – Faixas de potência

O Azipod Compacto é fabricado com 6 tipos de motores diferentes cobrindo uma faixa de potência de 400 kW a 4500 kW. A Figura E.1 mostra para os diversos modelos (tamanhos) dos Azipod's, a potência em função da rotações.

Os principais elementos que compõem os Azipod estão apresentados na Figura E.2. As dimensões principais destes elementos estão indicadas na Tabela E.1.

Figura E. 1 – Performance dos Azipod's Compactos

Figura E. 2 – Principais elementos do Azipod

Tabela E. 1– Dimensões principais dos elementos do Azipod

Dimensões do Azipod Compacto							
	1	2	3	4	5	6	Denominação
D1 [mm]	729	910	1040	1165	1310	1470	Diâmetro motor
D2 [mm]	1350-1700	1700-2200	1900-2600	2200-3100	2400-3500	2700-4000	Diâmetro propulsor
D3 [mm]	2302	1700	2285	2285	2990	2990	Diâmetro do conjunto do bloco exterior
L1 [mm]	1235	1235	1060	1060	900	900	Distância do anel deslizante
L3 [mm]	3949	4181	4546	5090	5690	6186	Comprimento do Azipod
H1 [mm]	1300	1645	1950	2325	2625	3005	Altura do conjunto
H2 [mm]	495	355	495	495	650	650	Altura do módulo motor
H3 [mm]	1635	1517	1740	1740	1863	1863	Altura do sistema de direção
R [mm]	2526	2526	2796	2982	3191	3443	Distância mínima para o propulsor
M [ton]	15,5	16	27	35	50	60	Massa total do sistema Azipod

E.1.2 – Principais componentes do ACW 600

O ACW 600 consiste de uma seção de suprimento e controle de energia, água de resfriamento, controle de excesso de tensão do Azipod. Estes sistemas ficam localizados dentro de cabines rígidas que são projetadas para suportar as condições de operação. Os controles do sistema propulsivo são construídos em seções modulares e individuais que são conectadas para acionar o sistema. As dimensões destas seções dependem dos requisitos de potência nominal do Azipod. As dimensões destas seções estão apresentadas na Tabela E.2.

Tabela E. 2 – Dimensões das seções que compõem o ACW 600

Azipod compacto ACW600 configuração do sistema de propulsão	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Tipo de inversor	R9I	2xR9i	R12i	2xR12i
Potência máxima nominal (KvA)	490	930	1380	2625
Corrente máxima nominal (A)	410	780	1156	2196
A (mm) Suprimento de energia	1200	1200	1200	1200
B (mm) Direcionamento	700	700	1000	2x1000
C (mm) Freio Chopper	400	400	400	400
D (mm) Água de Resfriamento	600	600	600	600
E (mm) Resistor de freio dinâmico	800	800	800	2x800
Profundidade (mm)	800	800	800	800
Altura (mm)	2130	2130	2130	2130
Peso Total (kg)	1700	1900	2700	3700

Os respectivos equipamentos que formam o sistema ACW600 estão apresentados na Figura E.3.

Figura E. 3 - Componentes do sistema ACW600

E.1.3 – Confiabilidade do Azipod

Uma descrição geral da rotina de serviços do sistema Azipod Compacto está apresentada na Tabela F.3.

Tabela E. 3 – Confiabilidade apresentada pelo Azipod Compacto

Parte do equipamento	Vistoria	Intervalo de serviço	Descrição do serviço
Sistema de transmissão e módulo direcional			
Unidade de lubrificação automática	1 mês	1 mês	Reenchimento
Caixa redutora e engrenagem direcional	1 ano	1 ano	Troca de óleo
Compressor de ar	1 mês	5 anos	Trocar
Filtros de ar	1 mês	3 meses	Limpar
Motor elétrico do sistema direcional	1 mês	5 anos	Manutenção completa
Gaxetas e mancal de luva para o sistema rotacional	1 mês	5 anos	trocar
Anéis deslizantes	1 mês	1 mês	Limpeza

Módulo strut “suporte”			
Anodos de zinco	5 anos	5 anos	Trocar
Módulo motor			
Selos dos anéis e do eixo do motor	5 anos	5 anos	Trocar
Mancais	5 anos	5 anos	Checar
Mancais do propulsor	5 anos	5 anos	Checar
Anéis do strut	5 anos	5 anos	Checar
Lubrificação dos mancais do propulsor	6 meses	1 ano	Trocar

E.2 – Aplicação do sistema Azipod em embarcação fluvial

O sistema Azipod é empregado no navio fluvial da Airbus que navega pelo Rio Garonne na França. Como a embarcação é dotada deste sistema, ela pode realizar a travessia sob pontes com grande restrição de largura com muita segurança. A Figura E.4 mostra o navio fluvial da *Airbus* realizando uma travessia sob a Ponte de Pierre no Rio Garonne.

Figura E. 4 - Travessia com navio fluvial sob a Ponte de Pierre na França

ANEXO F

ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS

Este Anexo apresenta as especificações técnicas dos equipamentos coletadas junto aos fornecedores durante a investigação.

F.1 – Equipamentos do sistema elétrico

F.1.1- Motor de Indução Trifásico para Propulsor

Motor de Indução Trifásico, com carcaça e eixo de aço, impregnação com isolante de alta rigidez dielétrica, fabricado conforme prescrições das normas ABNT, IEC e DIN, com as características mostradas na Tabela F.1.

Tabela F. 1 – Características do motor elétrico

Quantidade	2
Modelo	MGW
Carcaça	(hold)
Potência (cv)	400
Tensão (V)	440
Frequência Nominal (Hz)	20
Número de pólos	8
Faixa de Rotação nominal	100 a 300 rpm (6 a 20Hz)
Grau de proteção	IPW55
Forma construtiva	B3D
Elevação de temperatura (°C)	90
Classe de isolamento	F
Fator de Serviço	1
Regime de serviço	S1
Mancal tipo	Rolamento

Tipo de refrigeração	Trocador de Calor Ar-Água (IC 81W)
Método de partida e controle	Inversor de frequência
Acoplamento	Direto
Temperatura ambiente (°C)	55
Altitude (m.a.n.m.)	1000
Aplicação	Propulsor – embarcação fluvial
Norma	Iec
Sentido de rotação	Ambos
Cor final	Azul ral 5007

F.1.2 - QEP 440V: Quadro Elétrico Principal 440V (com Inversores)

Quadro de distribuição B.T. tipo LCW-01, alimentação 690 Vca / 60 Hz, em chapa de aço, de fabricação WEG AUTOMAÇÃO, grau de proteção IP-23, próprio para instalação abrigada, auto-sustentável, pintura de acabamento na cor Azul Munsell 5 PB 7/4, nas seguintes dimensões aproximadas: altura: 2300 mm, largura: 6000 mm e profundidade: 850 mm.

Os principais componentes que compõem o quadro elétrico estão apresentados na Tabela F.2.

Tabela F. 2 - Principais componentes que compõem o quadro elétrico

QEP 440V – PRINCIPAIS COMPONENTES						
Qt.	Função	Circuito	KVA	V	Hz	Equipamento
2	Proteção e Manobra	Gerador	400	440	60	Disjuntor
1	Proteção e Manobra	Tie - Bus	-	440	60	Disjuntor
2	Proteção e Manobra	Motor	400	440	60	Disjuntor
2	Proteção e Manobra	Transformador	50	440	60	Disjuntor
2	Proteção e Manobra	Demarrador	50	220	60	Disjuntor
2	Proteção e Manobra	Demarrador	50	440	60	Disjuntor
2	Controle, Proteção e Supervisão.	Motor	400	440	60	Inversor de Frequência

F.1.3 - Equipamentos de sinalização, medição e supervisão

- Botões liga/ desliga/ emergência e sinalização ligado/ defeito de cada disjuntor/ Inversor;
- Amperímetro para cada gerador;
- Voltímetro para cada gerador;
- Interface homem máquina para cada Inversor de propulsor, com funções de liga/ desliga, leitura de grandezas elétricas (corrente, tensão, potência ativa, potência aparente, últimos erros ocorridos, proteções de sobrecorrente, sobrecarga, sobretensão, subtensão, falta de fase, inversão de fase, etc) e ajustes gerais (tempo de rampa, limites de velocidade, funções especiais);
- Controlador do Gerador para partida e parada automática dos grupos-geradores. As funções podem ser controladas e visualizadas em displays individuais ajustados em cada painel de gerador do QEP 440V;
- Sincronoscópio para opção de sincronismo manual.

F.1.4 - Painel de Distribuição 220V

Quadro de distribuição B.T. tipo LCW-01, alimentação 220 Vca / 60 Hz, em chapa de aço, de fabricação WEG AUTOMAÇÃO, grau de proteção IP-23, próprio para instalação abrigada, auto-sustentável, pintura de acabamento na cor Azul Munsell 5 PB 7/4, nas seguintes dimensões aproximadas: altura: 2300 mm, largura: 1200 mm (2 x 600) e profundidade: 600 mm.

F.1.5 - Shore Connection Box

Quadro de distribuição B.T. tipo LCW-01, alimentação 220 Vca / 60 Hz, em chapa de aço, de fabricação WEG AUTOMAÇÃO, grau de proteção IP-44, próprio para instalação ao tempo, auto-sustentável, pintura de acabamento na cor Azul Munsell 5 PB 7/4.

F.1.6 - Transformador Isolador Trifásico 50kVA, IP44

- Transformador Isolador Trifásico
- Tensão Primária: 440V – Delta
- Tensão Secundária: 220V – Estrela
- Frequência: 60 Hz
- Potência: 50 kVA
- Classe de Isolamento: 0,6 kV
- Classe de Temperatura: “F”
- Isolação: à Seco
- Regime de Serviço: Contínuo
- Refrigeração: Natural

F.1.7 - Custo de aquisição

O custo de aquisição dos equipamentos apresentados acima é de R\$ 1.414.000,00.

F.2 - Grupo Diesel-gerador

Para o Grupo Gerador de 400 kVA solicitado, propõem-se o fornecimento de:
UM (01) GRUPO GERADOR STEMAC de 541kVA de potência contínua, fator de potência 0,8, dotado de Quadro de Comando de Operação Manual - Analógico, na tensão de 220/127V, 60 Hz.

F.2.1 - Motor Diesel

- Marca: SCANIA.
- Modelo: DI 16 44M – KC (10-41).
- Tipo: Marítimo com injeção direta, turbo compressor de sobre alimentação, 16 cilindros em “V”.
- Sistema de governo: com injeção eletrônica.
- Sistema de arrefecimento: preparado para arrefecimento por resfriador de quilha (Keel Cooler) e contendo bomba centrífuga, inter-resfriador ar-água, (intercooler), radiador de óleo e mufla úmida.
- Filtros de: ar tipo seco com elemento descartável, lubrificação em elemento substituível, combustível duplo tipo reversível e descartável.
- Sistema elétrico: 24 Vcc dotado de alternador para carga das baterias.
- Potência contínua: 637CV/469kWm-1800 RPM, conforme DIN 6271 A.
- Potência máxima: 701CV/516kWm-1800 RPM, conforme DIN 6271 B.
- Sistema de proteção: por alta temperatura da água e baixa pressão do óleo, provocando parada no motor nos casos de superaquecimento d’água de arrefecimento e baixa pressão do óleo de lubrificação.

F.2.2 - Gerador

- Marca: WEG.
- Tipo: alternador síncrono, trifásico, sem escovas (brushless), especial para cargas deformantes e duplo mancal.
- Excitação: excitatriz rotativa sem escovas com regulador automático de tensão.
- Potência em regime contínuo: 541 kVA.
- Tensão: 220/127 V.
- Frequência: 60 Hz.
- Ligação: estrela com neutro acessível.
- Número de pólos /RPM: 8/1800.
- Grau de proteção: IP 23.
- Classe de isolamento: H (180°C).
- Regulação: regulador de tensão eletrônico para mais/menos 2% em toda faixa de carga.
- Refrigeração: ventilador centrífugo montado no próprio eixo.

F.2.3 - Base metálica

Construída em longarinas de chapa dobrada “U”, com travessas soldadas pelo processo MIG, suportes de apoio para motor e gerador, e pontos para colocação dos amortecedores de vibração.

F.2.4 - Quadro de comando manual - analógico

1) Características

Montado sobre o gerador com instrumentos de medição e as chaves seletoras, sendo montado na parte interna os dispositivos de força e os transformadores de corrente.

2) Valores nominais

- Potência controlada 541 kVA
- Tensão de alimentação CA 220/127 V
- Frequência 60 Hz
- Tensão de comando CC..... 24 V

3) Instrumentos e seletoras

- Um voltímetro para medição de tensão entre fases do grupo.
- Um amperímetro para medição da corrente do grupo, através de transformadores de corrente.
- Um freqüencímetro para medição da freqüência do grupo.
- Uma seletora de voltímetro RS-RT-TS.
- Uma seletora de amperímetro R-S-T.

Todos os instrumentos de medida acima relacionados têm suas escalas dimensionadas em função dos valores máximos das grandezas que irão medir.

4) Funcionamento

- A partida do grupo é comandada no painel do motor, através da chave de partida.
- Após partir o grupo, o operador deverá observar os valores de tensão e frequência.
- O ajuste de frequência deverá ser feito através do parafuso de ajuste localizado na bomba injetora, sendo que o valor deverá ficar em 60 Hz, quando o grupo estiver com carga nominal.
- O ajuste de tensão deverá ser executado no próprio regulador de tensão.
- Com tensão e frequência ajustadas, o grupo deve operar a vazio por três minutos, podendo ser conectada à carga através do respectivo dispositivo de conexão de carga.
- Durante o funcionamento o circuito de proteção do motor supervisionará as condições de temperatura da água de arrefecimento e pressão do óleo lubrificante do motor Diesel.
- Para acionar a parada deverá ser, primeiramente, desconectada a carga do grupo, através do desligamento do dispositivo de conexão de carga.
- O grupo deverá permanecer em funcionamento a vazio por um período de 03 a 05 minutos para resfriamento.
- Decorrido o tempo de resfriamento deverá ser comandada a parada através da respectiva botoeira localizada no painel do motor.

5) Defeito no grupo

Se durante o funcionamento ocorrer algum dos defeitos citados abaixo, será comandado a parada do grupo.

Baixa pressão do óleo lubrificante:

Ao ocorrer uma queda na pressão do óleo lubrificante, o pressostato de proteção irá comandar a parada do grupo.

Alta temperatura de água de arrefecimento:

Ao ocorrer alta temperatura da água de arrefecimento o termostato de proteção irá comandar a parada do grupo.

6) Configuração do sistema de força

O sistema de força é constituído pelo dispositivo de conexão de carga e de proteção, que são interligados por barras de cobre eletrolítico.

Dispositivo de proteção e conexão de carga

Um disjuntor termomagnético tripolar de acionamento manual, com capacidade nominal de 1250A, montado junto ao gerador.

F.2.5 - Acessórios

- Duas baterias chumbo-ácido 12V-180Ah com cabos e terminais.
- Um silenciador de absorção.
- Um segmento elástico em aço inox.
- Um conjunto de manuais técnicos.

F.2.6 – Pintura

- Motor: limpeza manual e pintura antioxidante, acabamento em esmalte sintético na cor cinza.
- Gerador: limpeza, aplicação de tinta de fundo por imersão e acabamento final em esmalte sintético na cor preta.
- Quadro de comando: imersão em decapantes/desengraxantes, limpeza manual e aplicação de pintura eletrostática a base de pó epoxi, na cor cinza RAL 7032.

F.2.7 - Custo de aquisição

A Tabela F.3 apresenta o custo unitário de aquisição do Diesel-gerador.

Tabela F. 3 – Custo de aquisição do Diesel-gerador

Descrição	Custo (R\$)
GRUPO GERADOR STEMAC de 473kVA, 220/127 V, 60 Hz, com Quadro de Comando Manual, tipo Analógico, sistema de força	233.920,00
Pintura do grupo gerador para trabalho em ambiente agressivo, considerando plano de pintura padrão Stemac	540,00
Conjunto de amortecedores de vibração para GMG montado em embarcação	8.340,00
Grau de proteção IP23 no gerador consistindo em proteção contra toque com os dedos, corpos estranhos sólidos acima de 12mm e água de chuva até uma inclinação de 60° com a vertical	240,00
Proteção especial contra ambientes agressivos contendo produtos químicos ou	1.410,00

ambientes com maresia constituído de dupla impregnação, placas em aço inox, parafusos zincados, tampa interna protetora de excitatriz e pintura especial em epóxi, conferindo o sufixo “W” ao grau de proteção (IPW23)	
Total	244.450,00

ANEXO G

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DAS INSTALAÇÕES PROPULSORAS

Este anexo apresenta mais detalhadamente as formulações matemáticas utilizadas para calcular os custos operacionais do comboio mostrado no Capítulo 7. As formulações utilizadas foram extraídas do trabalho de Garcia (2001).

G.1 - Preço da maquinaria

Nesta seção é apresentado o procedimento utilizado para determinar o custo da instalação Diesel convencional. Os custos das instalações Diesel-elétrica e Azipod já estão apresentados no Capítulo 7. Para determinar este custo, realizou-se um levantamento de mercado. A Tabela G.1 mostra os valores atualizados dos custos dos equipamentos.

Tabela G. 1 – Custos levantados para a instalação Diesel convencional

Características		Preço (em R\$)
Motores Diesel	150 HP; a 2100 a 2400 rpm	R\$ 25.000,00
	253 HP; a 1800 rpm	R\$ 45.000,00
	425 HP; a 2100 rpm	R\$ 70.000,00
	470 HP; a 1800 rpm	R\$ 112.000,00
Caixa reversora	Motor até 170 HP, r de 2 a 3 : 1	R\$ 11.900,00
	Motor de 150 a 300 HP, r de 2 a 3 : 1	R\$ 20.400,00

	Motor de 400 a 560 HP, r de 3 a 5 : 1	R\$ 35.020,00
Diesel-Gerador	20 HP; 15 kVA; trifásico, 127/220 V, 60Hz	R\$ 9.000,00
	33 HP; 25 kVA; trifásico, 127/220 V, 60 Hz	R\$ 13.800,00
	51 HP; 38 kVA, trifásico, 127/220 V, 60 Hz	R\$ 20.500,00
Sistema de governo Diversos	Elementos usados em instalação propulsora de 2 MCP de 430 HP: 2 hélices de 1500 mm de diâmetro, Ae/Ao= 0,70, 4 pás, fundidos em liga de bronze;	R\$ 75.000,00
	2 eixos de 5" de diâmetro com 2500 mm de comprimento e usinagem com conicidade nas duas extremidades em aço carbono 1020/1045;	R\$ 15.000,00
	2 túneis telescópio – túnel para o eixo propulsor fabricado em aço carbono 8" schudulle 80 com 1300 mm de comprimento , equipado com selo mecânico e bucha de Neoprene;	R\$ 15.000,00
	Máquina hidráulica para lemes – Sistema hidráulico acionado pelo MCP. Mesmos elementos para MCP de 430 HP composto por unidade hidráulica de comando, bomba hidráulica, reservatório de óleo e etc. Valor do conjunto.	R\$ 18.000,00
Sistemas elétricos	Fiação, conduites, QEP (sem medidores: V, A, Hz), chaves reversora, disjuntores, lâmpadas; instalação para Gerador de 33 HP/25 kVA.	R\$ 6.875,00
Mão-de-obra para instalação elétrica	Mão de obra de instalação elétrica(180 H.H. a R\$18,75/H.H.), 1 técnico + 1 ajudante;	R\$ 3.375,00
Mão-de-obra de instalação dos motores e geradores	Mão de obra de instalação dos MCP's e MCA's (2*51 + (2* 430) = 962 HP = 962 HP*5 HH/CV*18,75 \$/HH	R\$ 108.750,00

Após o levantamento dos valores, definiu-se o custo por unidade de potência, para cada grupo de equipamentos e serviços. Garcia (2001) explica que para definir estes custos basta somar todos os custos de cada grupo e dividi-los pela soma das potências, conforme apresentado na Tabela G.2.

Tabela G. 2 - Custos por unidade de potência

Dados	Valores	Unidade
Motores MCP	186,88	R\$/HP
Redutor	78,15	R\$/HP
MCA+Gerador	423,38	R\$/HP
diversos	143,02	R\$/HP
Materiais Eletricidade	208,33	R\$/HP
Mão-de-obra dos sistemas de eletricidade	102,27	R\$/HP
Mão-de-obra de instalação dos motores	77,74	R\$/HP

A partir dos valores da Tabela G.2 pode-se estimar o custo de maquinaria da seguinte maneira:

$$\text{Custo de Maquinaria} = P_{\text{MCP}} * X + P_{\text{MCA}} * Y \quad (\text{G.1})$$

onde:

P_{MCP} – potência de MCP, em HP;

P_{MCA} – potência de MCA, em HP

X é o custo motor + custo redutor + diversos + mão de obra

$$X = 186,88 + 78,15 + 143,02 + 77,74 = 485,81 \text{ R\$/HP}$$

Y é o custo (motor+gerador) + materiais de eletricidade + mão de obra

$$Y = 423,38 + 208,33 + 102,27 = 733,98 \text{ R\$/HP}$$

Segundo Garcia (2001), deve-se adicionar 25% de custos indiretos mais 10% de taxa de lucro, que incidirão sobre esses valores, pois estes são os valores praticados pelos estaleiros, assim tem-se:

$$P_{\text{maq}} = 1,10 * 1,25 * (P_{\text{MCP}} * X + P_{\text{MCA}} * Y) \quad (\text{G.2})$$

$$P_{\text{maq}} = 1,10 * 1,25 * (P_{\text{MCP}} * 485,81 + P_{\text{MCA}} * 733,98) \quad (\text{G.3})$$

$$P_{\text{maq}} = 667,99 * P_{\text{MCP}} + 1009,23 * P_{\text{MCA}} \quad (\text{G.4})$$

G.2 - Determinação dos custos operacionais dos comboios

Nesta seção são apresentados os custos operacionais do comboio considerando as 3 instalações propulsoras analisadas neste estudo. As análises realizadas consideraram as 4 rotas estabelecidas pela Petrobras/Transpetro. Deste modo, para cada rota apresenta-se o custo por viagem redonda e o valor final de frete.

G.2.1 Custo de aquisição do veículo fluvial

A) Custo de aquisição do empurrador

O custo de aquisição do empurrador é altamente influenciado pelo custo de aquisição da maquinaria. Neste estudo, comparou-se o custo de aquisição do empurrador com os três tipos de instalações examinadas. Durante a investigação, observou-se que, o custo da maquinaria Diesel convencional representa mais de 50% do custo do total do empurrador.

O custo do empurrador pode ser estimado através da equação desenvolvida por Garcia (2001), que relaciona o custo da estrutura do empurrador com o custo de aquisição da maquinaria. Como os outros elementos de acabamento e pintura, têm pouca influência no custo total do veículo, eles não são levados em consideração nesta

equação. Em relação aos elementos estruturais, admite-se que, o preço de todos elementos estruturais de aço apresentados pelo autor deva ser atualizado em 150%, pois este foi o aumento que ocorreu no preço do aço no mercado nacional durante os últimos 4 anos. Este valor foi obtido através de consultas a dois estaleiros que constroem embarcações de aço. Atualmente o quilo do aço processado varia de R\$ 10,00 a R\$ 16,00 dependendo do estaleiro. Deste modo, o valor considerado neste estudo é R\$ 10,00, conforme mostrado na equação abaixo:

$$P_{EST} = 10,00 * P_{aço} \quad (G.5)$$

onde:

P_{EST} é o preço do veículo ou da estrutura, como chata ou outros sem maquinaria, em R\$;

10,00 é o custo por quilo de aço processado dos elementos estruturais utilizados na construção da embarcação;

$P_{aço}$ é o peso em aço da estrutura, em quilos (kg), estimado por:

$$P_{aço} = K_e * (LBD) \quad (G.6)$$

em que:

L, B e D são, respectivamente, o comprimento, boca e pontal moldado;

K_e é a constante de material estrutural, que depende do tipo da embarcação; para empurradores (casco + casaria) adota-se valor de 21%; e para chatas 11%.

O preço do empurrador considerando as três instalações é determinado através das seguintes expressões:

Com propulsão Diesel convencional:

$$P_{VDC} = 10,00 * P_{aço} + P_{MCP} * 667,99 + P_{MCA} * 1009,23 \quad (G.7)$$

Com propulsão Diesel-elétrica:

$$P_{VDE} = 10,00 * P_{aço} + R\$ 1070.000,00 + R\$ 123.000,00 \quad (G.8)$$

Com Azipod:

$$P_{VAZIPOD} = 10,00 * P_{aço} + R\$ 2750.000,00 \quad (G.9)$$

B) Custo de aquisição das barcas com duplo casco

Para determinar o custo de aquisição de uma chata apropriada para o transporte de álcool e derivados de petróleo dentro dos padrões exigidos pela Normam, realizou-se uma consulta a 1 estaleiro e 2 empresas de navegação da região amazônica que operam com este tipo de embarcação. Além disso, consultou-se uma classificadora para obter o custo da classificação de uma embarcação deste tipo e outras informações adicionais. Na região amazônica existem embarcações com características semelhantes as da hidrovía Tietê-Paraná.

Durante a investigação verificou-se que o custo de aquisição destas chatas é de aproximadamente R\$ 2.541.000,00 cada uma. Admitindo que o comboio padrão Tietê-Paraná é formado por 4 chatas o custo total é de R\$ 10.164.000. Apenas a título de exemplo, uma classificadora cobra, atualmente, para acompanhar a construção de uma chata deste tipo, cerca de R\$ 150.000,00.

G.2.2 – Custo de manutenção e reparo

Em relação aos custos de manutenção e reparo (M e R) estabeleceu-se que estes custos seriam calculados para o comboio. Para se obter os custos M e R do veículo fluvial diversos estudos foram analisados. Entretanto, grande parte deles apresentava formulações desenvolvidas para embarcações marítimas com grande potência instalada e com diversos tipos de equipamentos a bordo.

Garcia (2001), estabeleceu uma equação que calcula o custo de manutenção e reparo anual para embarcações fluviais. Esta equação foi determinada conforme os procedimentos estabelecidos pela NORMAM 02 e pelas sociedades classificadoras que estabelecem a periodicidade das inspeções e, conseqüentemente, a manutenção e reparo dos componentes danificados da instalação propulsora e dos outros elementos do navio.

Durante os contatos com o fornecedor do Azipod, não se obteve informações sobre custos anuais de M e R, o que limitou a pesquisa neste quesito. Entretanto, Padovezi (2003), explica que no caso de propulsores azimutais considera-se o valor de 6% do valor da embarcação nos custos de M e R. Assim, no caso do Azipod adotou-se este valor. Para as outras duas instalações admitiu-se os valores propostos por Garcia (2001). Deste modo, o custo de M e R pode ser obtido através da seguinte equação:

$$C_{MR} = K_{MR} * P_v \quad (G.10)$$

onde:

C_{MR} é o custo de manutenção e reparo, em R\$/ano;

K_{MR} é a constante de manutenção e reparo, com valores indicados abaixo:

$K_{MR,A} = 4,0\%$, para empurradores e autopropelidos com propulsão Diesel convencional e 6% para propulsores azimutais;

$K_{MR,C} = 2,5\%$, para chatas;

P_v é o preço do veículo novo, em R\$.

Nesses custos estão inclusas as despesas com manutenção e reparo de pequena monta, realizadas ao longo do ano operacional, até as docagens longas, realizadas quinquenalmente, conforme o tipo de embarcação.

G.2.3 - Custo de combustíveis e miscelâneas

Os custos com combustíveis e lubrificantes são os fatores que mais encarecem o frete em qualquer modal de transporte. Neste estudo, o custo com combustíveis e miscelâneas (filtros de ar, água bruta, aditivos para água de arrefecimento, estopas, detergente para limpeza da praça de máquinas entre outros), foi determinado em função das características de cada uma das instalações.

Novamente, a falta de informações, principalmente sobre os Diesel-geradores do sistema Azipod dificultou a investigação. Admite-se, neste estudo, que eles tenham características similares às dos motores fabricados no Brasil. Portanto, o consumo específico de combustível por hora dos motores destes geradores se baseou nos dados fornecidos pelos fabricantes nacionais. Considerou-se o Diesel-gerador Scania DI 16 com consumo de 205 g/kWh de óleo Diesel. Este valor de também foi adotado para a instalação Diesel-elétrica. No caso da instalação Diesel convencional adotou-se o valor de 160 g/HPh.

Os gastos com combustíveis para as instalações foram calculados a partir da equação proposta por Garcia (2001):

onde:

$$\text{COC} = \text{COD} * \text{PC} * \text{TOP} \quad (\text{G.11})$$

PC é o preço do óleo combustível, em R\$ 1,80/litro;

TOP é o tempo diário de operação da embarcação. Para cargueiros, o usual é 24 h/dia.

COD é o consumo de óleo combustível, para os motores em funcionamento expresso por:

$$\text{COD} = (\text{CEC} * \text{MFHP}) / \text{Do} \quad (\text{G.12})$$

em que:

CEC é o consumo específico de combustível, em g/(HP*h) ou g/(kW*h). Valores situados entre 150 e 170 para motores usuais em embarcações. O combustível usual é o óleo Diesel;

MFHP é a potência das máquinas em funcionamento durante a viagem. O usual são os motores de propulsão (MCP) e um motor auxiliar (MCA) para embarcações com propulsão Diesel convencional. Assim:

$$\text{MFHP} = \text{PMCP} + 1 * \text{PMCA} \quad (\text{G.13})$$

Do é a densidade do óleo combustível. Valor típico é 850 g/litro;

Adota-se 5% para representar o gasto com óleo lubrificante e filtro de óleo do carter, para motores usuais da Hidrovia Tietê-Paraná, tomando o volume de óleo, troca desse óleo e filtro a cada 250 horas (conforme recomendação dos fabricantes). Assim, a consideração de custo com lubrificantes faz-se multiplicando a expressão (G.11) por 1,05.

Os demais itens que entram em miscelâneas são estimados através de:

$$\text{Outros} = \text{KMIS} * \text{PMHP} / 1000 \quad (\text{G.14})$$

onde:

K_{MIS} é a constante de miscelânea. $K_{MIS} = \text{R\$ } 60,00/\text{dia}$ (para cada 1000 HP de potência instalada). Neste estudo, como mencionado anteriormente, este valor é atualizado em 25%;

PMHP é a potência das máquinas. $PMHP = P_{MCP} + P_{MCA}$ (somatório da potência dos motores principais e auxiliares de bordo);

1000 é o fator que considera unidade da constante de miscelânea.

Assim, o custo com combustíveis, lubrificantes e miscelânea, é dado por:

$$COL = C_{OD} * P_C * T_{OP} * 1,05 \quad (G.15)$$

$$CCL = C_{OD} * P_C * T_{OP} * 1,05 + K_{MIS} * PMHP / 1000 \quad (G.16)$$

onde:

COL é o custo com combustíveis e lubrificantes;

CCL é o custo com combustíveis, lubrificantes e miscelânea, em R\$/dia operacional;

Cabe ressaltar que, para as instalações Diesel-elétrica e Azipod o fator P_{MCA} é nulo, pois se considerou que não existem máquinas auxiliares nesta instalação.

G.2.4 – Custo com tripulação

Os custos de salários e benefícios da tripulação usados na avaliação econômica das instalações propulsoras refletem os valores atribuídos a operação e manutenção da instalação e todos os equipamentos sob jurisdição da seção de máquinas. A NORMAN 13 estabelece que a tripulação dos comboios fluviais deve ser composta pelos elementos mostrados na Tabela G.3. Durante a investigação foram realizados contatos com duas empresas que operam na hidrovia, e verificou-se que os valores dos salários dos

tripulantes apresentados por Garcia (2001) foram reajustados em 40%. Deste modo, os valores apresentados na Tabela G.3 foram reajustados em 40% em relação aos dados apresentados por (GARCIA, 2001).

Tabela G. 3 – Levantamento dos salários de tripulantes de comboios da Hidrovia Tietê-Paraná

Função	Designação (NORMAM 13)	Salário (em R\$)
Comandante	Capitão Fluvial (CFL)	2030,00
Imediato	Piloto Fluvial (PFL)	1750,00
Mestre	Mestre Fluvial (MFL)	1470,00
Oficial de máquinas	Supervisor maquinista – motorista fluvial	1470,00
Chefe de Máquinas	Condutor Maquinista Motorista Fluvial (CTF)	1330,00
Cozinheiro	Cozinheiro (CZA)	910,00
Marinheiro de Convés	Marinheiro Fluvial de Convés (MFC)	882,00
Marinheiro de Máquinas	Marinheiro Fluvial de Máquinas (MFM)	882,00

Por outro lado, verificou-se junto ao fabricante do sistema Azipod, quais os requisitos necessários para a tripulação de máquinas operar este sistema. O fabricante informou que, a tripulação de máquinas deve ser formada por 2 pessoas habilitadas, ou seja, 2 condutores maquinista motorista fluvial - CTF, e que todos devem ter um conhecimento básico sobre o funcionamento de motores elétricos, sendo necessário um tripulante para cada Azipod. Apenas o capitão da embarcação é treinado pelo próprio fabricante para apreender a operar o sistema diretamente da cabine de comando. Considerando as informações do fabricante e observando a Tabela G.3 elimina-se nos custos a figura do marinheiro de máquinas, neste tipo de instalação, considerando apenas 2 CTF, logo a tripulação considerada foi de apenas 7 tripulantes. No caso da instalação Diesel-elétrica considerou-se a mesma tripulação empregada na propulsão Diesel convencional com 8 tripulantes, pois o princípio de operação é bastante semelhante.

O custo anual com tripulação pode ser expresso por Garcia (2001):

$$C_{TR} = K_{HE} * Nt * SM * F_{ES} * 12 \quad (G.17)$$

onde:

C_{TR} é o custo de Tripulação, em R\$/ano;

K_{HE} é a constante de Horas Extras, relativas aos gastos com horas extras realizadas pela tripulação durante as viagens. A consideração do tempo de operação diária (até 24 horas/dia) e a prática do revezamento dos tripulantes em funções vitais (praça de máquinas e pilotagem) têm levado a operações seguras e número de tripulante adequado, sem necessidade de horas extras. Para o comboio típico, uma tripulação de 8 pessoas torna $K_{HE} = 1,0$;

Nt é o número de tripulantes a bordo, determinado pela NORMAM 13;

SM é o salário médio da tripulação. A Tabela G.3 mostra os valores de salários pagos na região, pelas empresas que operam na Hidrovia Tietê-Paraná;

F_{ES} é o fator de encargos sociais, para a legislação atual, $F_{ES} = 2,10$;

12 é o fator que considera esse custo como anual (número de meses/ano).

Embora, se saiba que quanto maior a complexidade da instalação maior é o salário dos operadores, considerou-se neste estudo o mesmo valor de salário para os três tipos de instalação.

Além dos salários e encargos, deve-se considerar ainda o custo de alimentação e hospedagem. As despesas com alimentação e hospedagem da tripulação são determinadas por:

$$C_A = Nt * D_A * 365 \quad (G.18)$$

onde:

C_A é o custo de alimentação, em R\$/ano;

Nt é o número de tripulantes;

D_A é a diária alimentícia. Na navegação fluvial dentro do Brasil, situa-se entre R\$ 8,00 e R\$ 9,00;

G.2.5 – Custo com seguro

Os seguros de proteção e indenização protegem o armador da embarcação contra processos de responsabilidade. Os custos com seguros variam consideravelmente de embarcação para embarcação. É intuitivo que o preço de seguro de uma embarcação areeira deve ser menor que o custo de um comboio fluvial que transporta cargas perigosas. Brinati (1981) cita que, em âmbito mundial, o seguro da instalação propulsora (seguro de casco e máquinas atribuído à instalação propulsora) é da ordem de 1,4% dos custos da aquisição da instalação propulsora. No entanto, Garcia (2001), mostra que, os valores praticados, desde há muito tempo na navegação fluvial são de 1,8 a 2,5% do valor do veículo novo, na vigência da vida útil do mesmo. O valor usual praticado é de 2%, referindo-se ao preço da embarcação nova. Ressalte-se que esse seguro não considera a carga transportada, devendo ser feito à parte.

Assim, o valor do seguro pode ser calculado como:

$$C_S = K_S * P_V \quad (G.18)$$

onde:

C_S é o Custo de Seguro, em R\$/ano;

K_S é a constante que considera a taxa de seguro; $K_S = 2,0\%$ é valor típico;

P_V é o preço do veículo (aquisição ou novo), em R\$.

G.2.6 – Custo de capital

Garcia (2001), explica que, uma vez estimado o preço da embarcação, é possível relacioná-lo aos diferentes itens de custo. Assim, o custo de capital, que representa a recuperação do capital investido para aquisição do veículo de transporte, pode ser obtido através da seguinte equação:

$$C_C = P_V * FRC(i, n) - V_r * FFC(1, n) \quad (G.19)$$

em que:

C_C é o custo de capital, em R\$/ano;

P_V é o preço do veículo hidroviário;

V_r é o valor residual do veículo, sendo neste caso assumido como valor da residual da instalação propulsora; é normalmente tomado como zero, pois o desgaste do equipamento após 20 anos de uso é muito grande.

$FRC(i, n)$ é o fator de recuperação de capital; $FRC(i, n) = \frac{i * (1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]}$;

$FFC(i, n)$ é o fator de formação de capital; $FFC(i, n) = \frac{i}{[(1+i)^n - 1]}$;

i – valor de remuneração de capital. Deve-se considerar valores praticados no mercado de capital; na atualidade são comuns valores entre 10 e 12% a.a., ou a taxa de financiamento, quando a aquisição for financiada, sendo comuns valores de 6 a 8% a.a. que é praticada pelo BNDES;

n é o período de tempo (em anos) para recuperar o capital. É normal para embarcações de carga o uso de 20 anos. Para empurradores e auto-propelidos esse valor se aproxima da vida útil (N), adotada, normalmente, como 20 anos. Embora o fabricante do Azipod informe que com o sistema ocorre um aumento da vida útil da embarcação, considerou-se a vida de 20 anos para este sistema.

G.2.7 - Custo de Administração

Garcia (2001) explica que este custo refere-se, basicamente, às atividades realizadas em terra, consistindo em:

- **peçoal de escritório:** contabilidade, compras de materiais de consumo (óleo combustível; óleo lubrificante; graxas; tintas; sobressalentes de pequena monta: lâmpadas, filtros, parafusos, etc); recursos humanos (pessoas que realizam a seleção, contratação e treinamento da tripulação e do próprio peçoal de escritório) e instalações;
- **vendas:** peçoal destinado a angariar cargas e divulgar serviços prestados pela empresa (“marketing”). No caso fluvial são pessoas que contatam os clientes atuais e clientes potenciais para realizarem contratos para transportes. No longo curso, são empresas espalhadas pelas localidades portuárias atendidas pelo navio;
- **técnico:** peçoal que vistoria a embarcação e controla consumo de materiais, execução das manutenções rotineiras de bordo pela tripulação, contrata e fiscaliza trabalhos de manutenção não realizados pela tripulação. Serviço de manutenção e reparo, normalmente, é terceirizado.

O custo de administração pode ser determinado por:

$$C_{AD} = K_{AD} \cdot (C_{TR} + C_A + C_{MR}) \quad (G.20)$$

onde:

C_{AD} é o custo de administração, em R\$/ano

K_{AD} é a constante de administração, tomada como 35%. Notou-se uma tendência de busca para patamares inferiores para esse custo, indicando maior eficiência operacional e administrativa da empresa transportadora;

C_{MR} é o custo de manutenção e reparo;

C_{TR} é o custo de tripulação;

C_A é o custo de alimentação.

G.2.8 - Custo de Portos e Terminais

Na navegação interior, é muito comum cada empresa transportadora dispor de terminal próprio, devendo incluir, no custo de transporte, esse item de forma adequada. O custo de portos e terminais representa, então, o retorno do capital investido nas instalações portuárias (cais, área de acostagem, outros), equipamentos de transbordo, armazéns, vias internas, instalações para alfândega, etc. Durante a investigação observou-se que no caso de graneis líquidos a tarifa praticada pelo porto de Santos é de R\$ 1,42 / m³, sendo este o valor adotado neste estudo.

A determinação desse item de custo será feita por:

$$C_{PT} = K_B \cdot (W/C_{HE} + W/C_{HD}) + (K_{TE} \cdot W + K_{TD} \cdot W) + N_{HR} \cdot K_{EMP} + K_{OU} \quad (G.21)$$

onde:

C_{PT} é o custo de portos e terminais, em R\$/viagem redonda

K_B é a constante devida ao uso de berço de atracação; Garcia (2001) cita que este valor é calculado em função do comprimento do Comboio típico do Rio Tietê (137 metros). Admitindo R\$ 0,15/(metro linear*hora) pode-se estabelecer que: $K_B = 0,15 \cdot 137 \Rightarrow K_B = \text{R\$21/hora}$.

W é a quantidade de carga transbordada, em toneladas. $W = f \cdot DWTC$;

f é o fator de ocupação do veículo. f varia entre 0 e 100%, com casos típicos acima de 75%;

C_{HE} é a cadência horária de enchimento, em tonelada/hora;

C_{HD} é a cadência horária de descarregamento, em tonelada/hora;

K_{TD} é a constante de taxa de transbordo no descarregamento, em R\$/tonelada;

K_{TE} é a constante de taxa de transbordo no carregamento, em R\$/tonelada;

N_{HR} é o número de horas de serviço de rebocadores usados na viagem, tanto na origem como no destino, em horas;

K_{EMP} é a constante custo horário de rebocador. Esse valor é tabelado pela Capitania dos Portos como função da tração estática (“bollard-pull”). Para rebocadores pequenos, mesmo porte dos empurradores da Hidrovia Tietê-Paraná, tem-se: $K_{EMP} = R\$400,00/hora$;

K_{OU} são os custos devidos ao uso de outros serviços, como, despacho de Capitania dos Portos, alfândega, etc. Valores sem referência, devido à navegação ocorrer ainda somente em território brasileiro.

G.3 - Tempos em Operação e Parado durante a viagem

O tempo de operação (navegação) considera o tempo gasto em viagem e também o tempo gasto em eventuais eclusagens, em que a embarcação permanece com motores ligados e desacoplados. Pelo fato do tempo de eclusagem ser bem menor que o de viagem, considera-se que o consumo de combustível seja constante durante a operação. Garcia (2001), não encontrou indícios de que essa hipótese seja inválida. Assim:

$$T_N = (d/V_S + d/V_D + T_{ECLS} + T_{ECLD} + T_{DF})/24 \quad (G.22)$$

onde:

T_N é o tempo gasto em viagem, entre origem e destino, em dias;

d é a distância entre origem e destino, em km;

V_S é a velocidade de subida (contra eventual correnteza), em km/h. $V_S = V - \Delta V$;

V é a velocidade de operação da embarcação, em km/h;

ΔV é a variação de velocidade devido à ação da correnteza, em km/h, valor adotado como constante, tanto na subida como na descida.

V_D é a velocidade de descida (a favor da correnteza), em km/h. $V_D = V + \Delta V$;

T_{ECLS} é o tempo declusagens na subida, em horas. Determinado por: $T_{ECLS} = N_{ECL} * T_{IECL}$;

N_{ECL} – quantidade declusas no trecho navegado;

T_{IECL} é o tempo gasto em umaclusagem, em horas. O tempo médio porclusa pode ser tomado como igual a 1 hora. Paraclusas duplas (Nova Avandava e Três Irmãos), 2 horas;

T_{ECLD} é o tempo declusagens na descida, em horas. $T_{ECLD} = N_{ECL} * T_{IECL}$;

T_{DF} é o tempo gasto para desmembramento,clusagem e formação do comboio, quando se opera com quatro chatas, formação duas a duas. Como ainda não existe empurrador de apoio nasclusas para essa finalidade, todas as operações são realizadas com o próprio empurrador; em geral varia de 3 a 5 horas porclusa. Neste estudo será admitido que o tempo declusagem é de 4 horas;

O tempo parado pode ser determinado pela seguinte equação:

$$T_P = [T_{ESP} + (W/C_{HE} + W/C_{HD}) + N_{HR} + T_{FOP}]/24 \quad (G.23)$$

onde:

T_P é o tempo total parado em portos e/ou fundeado, em dias;

T_{ESP} é o tempo de espera nos portos e terminais, tanto na origem como no destino, em horas;

W , C_{HE} , C_{HD} , N_{HR} são termos definidos na expressão (G.21);

T_{FOP} é o tempo fora de operação, quando a operação diária não é realizada durante 24 horas/dia.

G.4 – Custo de viagem redonda

Para determinar a influência de cada instalação no custo de frete final praticado pelo comboio é necessário determinar o custo de viagem de redonda do comboio. Neste estudo, será admitido que o comboio fluvial transportará carga nos dois sentidos da via. O custo total por viagem considera todos os itens de custos que ocorrem na realização de uma viagem redonda. Há custos que ocorrem tanto com o veículo viajando como parado. Há custos que ocorrem somente quando em viagem, outros somente quando parado. Os custos em viagem e parado são: capital, seguro, tripulação, alimentação, manutenção e reparo; em viagem são: combustível e lubrificantes e uso da via; os custos para o comboio parado e em porto são: portos e terminais. Para determinação dos custos de viagem redonda do comboio foram consideradas as rotas de interesse mostradas na Tabela G.4.

Tabela G. 4 - Rotas de interesse e respectivas distâncias

Terminal	Rota	N. Eclusas	D. hidroviária
			Cidade até Conchas
Presidente Epitácio	1	9	733 km
Araçatuba	2	5	446 km
Jaú	3	1	140 km
São Simão (GO)	4	5	790 km

Baseando em Garcia (2001), o custo de viagem redonda foi determinado pela seguinte equação:

$$C_{TV} = [(C_{VP} + C_{OL} * F_{TOP} + \text{outros}) * T_N + C_{UV}] + \{(C_{VP} + \text{outros}) * T_P + C_{CP} + C_{PT}\} \quad (G.24)$$

onde:

C_{TV} é o custo total por viagem redonda, em R\$/viagem redonda;

C_{VP} são os custos que ocorrem tanto em viagem como parado, em R\$/dia;

$$C_{VP} = [(C_C + C_S + C_{TR} + C_A + C_{MR} + C_{AD})/A_{OP}];$$

onde:

C_{MR} é o custo de manutenção e reparo;

C_{TR} é o custo de tripulação;

C_A é o custo de alimentação;

C_S é o custo de seguro;

C_C é o custo de capital;

C_{AD} é o custo de administração;

A_{OP} é o ano operacional; é definido em função da existência de carga e realização de manutenção e reparo do veículo; no longo curso e na navegação fluvial as cargas estão disponíveis durante o ano todo; adota-se um ano operacional de 350 dias, sendo que os outros 15 são acumulados ao longo de 5 anos para docagens e manutenção de grande porte;

C_{OL} é o custo de combustível e lubrificantes;

F_{TOP} é o fator de tempo de operação. Leva em consideração o fato da operação não ser realizada durante 24 h/dia;

Outros se refere aos custos com miscelânea;

T_N é o tempo em viagem ou navegando;

C_{UV} é o custo de uso da via, como não são cobradas taxas pelo uso da hidrovía este valor será considerado nulo;

T_P é o tempo parado;

C_{PT} é o custo de Portos e Terminais.

A parcela entre colchetes representa os custos navegando e a entre chaves, parado.

A capacidade de carga do comboio foi determinada em função das restrições impostas pela Normam para embarcações duplo casco apresentadas no trabalho de (PEREIRA *et al.* 2006). Considera-se que o comboio, com chatas de casco duplo, tem capacidade de transportar aproximadamente 5000 m³ ou 4100 t de álcool e derivados de petróleo como óleo Diesel.

G.5 – Frete

O frete representa o preço do serviço de transporte, devendo cobrir os custos envolvidos e mais uma parcela de lucro. Neste contexto, analisou-se a influência do custo de aquisição das 3 instalações propulsoras no custo total de frete.

Os custos de fretes para os comboios foram obtidos através da equação proposta por Garcia (2001):

$$F = (1 + L_U) * [C_{TV} / (d * W)] \quad (G.25)$$

onde:

F é o frete praticado, em R\$/ (t*km);

L_U é a taxa de lucro, admitida entre 0 (zero) e 10%, dependendo da demanda e da concorrência;

C_{TV} é o custo total por viagem redonda;

d é a distância entre origem e destino, em km;

W é a quantidade de carga transportada no veículo, em tonelada.

G.6 – Aplicação do modelo

São apresentados, a seguir, em forma de tabelas os valores utilizados para o cálculo e os respectivos resultados referentes aos custos operacionais dos comboios. A Tabela G.5 mostra o custo de aquisição para as 3 alternativas.

Tabela G. 5 – Custo de aquisição dos veículos

Descrição		Diesel	Diesel-elétrico	Azipod
Preço de veículos Hidroviários (R\$)	Pv	R\$ 11.362.433,61	R\$ 12.685.017,00	R\$ 13.435.017,00
Empurrador/Autopropelido	-	R\$ 1.198.433,61	R\$ 2.521.017,00	R\$ 3.271.017,00
Constante (para casco)	Ke	0,14	0,14	0,14
Constante (para casaria)	Ke	0,07	0,07	0,07
Comprimento (m)	L	17	17	17
Boca (m)	B	7	7	7
Pontal (m)	D	2,5	2,5	2,5
Comprimento da casaria (m)	4,5	10	10	10
Boca da casaria (m)	3,8	5,4	5,4	5,4
Pontal da casaria (m)	2,1	2,1	2,1	2,1
Potência de MCP (CV)	430	860	860	860
Quantidade de MCP	2			
Potência de MCA (CV)	51	102	102	102
Quantidade de MCA	2			
Peso de aço = $Ke \cdot L \cdot B \cdot D$ (do casco)	Paço	41,65	41,65	41,65
Peso de aço = $Ke \cdot L \cdot B \cdot D$ (das casarias)	Paço	7,938	7,938	7,938
Preço de aço = $10 \cdot Paço$	3,84	521017		
Preço Maquinaria = Pr MCP + Pr MCA	-	R\$ 677.416,61	R\$ 2000.000,00	R\$ 2.750.000,00
Obs.: outro convés de casaria: 4,5x3,8x2,1	-	2,5137		
Chatas-				
Constante (para casco)	Ke	0,11	0,11	0,11
Comprimento (m)	L	60	60	60
Boca (m)	B	11	11	11
Pontal (m)	D	3,5	3,5	3,5
Peso de aço = $Ke \cdot L \cdot B \cdot D$ (do casco)	Paço	254,1	254,1	254,1
Quantidade de chatas	4	R\$ 10.164.000,00		

A Tabela G.6 indica os custos operacionais das 3 alternativas.

Tabela G. 6 – Custos operacionais dos comboios

Custo de Capital	Cc	Diesel	Diesel-elétrico	Azipod
Tempo para Retorno do Capital (anos)	n	R\$ 1.334.627,19	R\$ 1.489.977,34	R\$ 1.578.072,06
Taxa de Juros Usada (a.a.)	i	20	20	20
Fator de Recuperação do Capital	FRC(i,n)	10%	10%	10%
Fator de Formação do Capital	FFC(i,n)	0,117459625	0,117459625	0,117459625
Valor Residual	VR	0,017459625	0,017459625	0,017459625
Custo de Seguro		R\$ 227.248,67	R\$ 253.700,34	R\$ 268.700,34
Constante de Seguro		2%		
Custo de Tripulação	Ct	R\$ 270.144,00	R\$ 270.144,00	R\$ 236.376,00
Número de Tripulantes	Nt	8	8	7
Salário Médio da Tripulação (R\$)	SM	R\$ 1.340,00	1340	1406
Fator de encargos Sociais	Fes	2,1	2,1	2,1
Constante de horas extras	Khe	1	1	1
Custo de Alimentação	Ca	R\$ 26.280,00	R\$ 26.280,00	R\$ 22.995,00
Diária Alimentícia (R\$)	Da	R\$ 9,00	R\$ 9,00	R\$ 9,00
Dias do ano		365	365	365
Custo total de tripulação		R\$ 296.424,00	R\$ 296.424,00	R\$ 259.371,00
Custo de Manutenção e Reparo	Cmr	R\$ 302.037,34	R\$ 354.940,68	R\$ 450.361,02
Constante de Manutenção e Reparo (Autopr)	Kmr,a	0,04	0,04	0,06
Constante de Manutenção e Reparo (Chatas)	Kmr,c	0,025	0,025	0,025
Custo de Administração	Cad	R\$ 209.461,47	R\$ 227.977,64	R\$ 248.406,21
Constante de Administração	Kad	0,35	0,35	0,35
Custo de Combustível e Lubrificante	Ccl	R\$ 7.850,59	R\$ 8.492,49	R\$ 8.492,49
Custo de Óleos	Col	R\$ 7.778,44	R\$ 8.435,34	R\$ 8.435,34
Consumo do óleo Diesel (litros/hora)	Cod	171	186	186
Consumo Específico de Combustível (g/HP*h e g/kW*h)	CEC	160	205	205
Potência das Máquinas em Funcionamento (HP e kW)	MFHP	911	762	762
Preço do óleo Combustível (R\$/L)	PC	R\$ 1,80		
Densidade do Combustível (g/L)	D	850	840	840
Tempo de Operação/dia (horas/dia)	top	24	24	24
Considerações Óleo Lubrificante		1,05	1,05	1,05
Outros (graxas, estopa, etc) = Kmis*MHP/1000		72	57,15	57,15
Constante de miscelânea	Kmis	75		
Custo do Uso da Via	CUV	0	0	0
Número de Pontos de Taxação	Np	0		
Constante Custo Financeiro dos pontos	Kp	0		
Capacidade de Carga por chata (DWTc)	DWTC	1025	1025	1025

Custo de Porto e Terminal	Cpt	R\$ 1.588,54	R\$ 1.588,54	R\$ 1.588,54
Custo de Transbordo (R\$)		0		
Quantidade de Carga Tranp. (W=f*DWTc)	W	4100		
Fator de Ocupação do Veículo	f	100%		
Cadência Horária de Embarque (t/h)	Che	406		
Cadência horária de desembarque (t/h)	Chd	406		
Taxa da Tonelada Transbordada	Kt	0,14		
Custo de uso de empurrador (R\$)		0		
Número de Horas de Rebocador (h)	Nhr	0		
Custo horário do Rebocador (R\$/h)	Kemp	400		
Custo de uso do cais (R\$)		0		
Constante Preço de uso do berço (R\$/h)	Kb	21		
Tempo de uso de cais = tempo de transbordo (h)		20		
Rotas de interesse – Tempo total de viagens (dias)	1	2	3	4
	9,95	6,22	2,34	9,09
Tempo Navegando ou Viajando (horas) - Rotas	238,8	149,28	56,16	217,92
Velocidade de Operação (Km/h)	10			
Rotas de interesse	1	2	3	4
Distância (Km)	733	446	140	790
Número de Eclusas	9	5	1	5
Tempo de Eclusagem (horas)	4			
Tempo em Porto e Parado (dias)	Tp	0,84		
Tempo de espera	Tesp	0		
Tempo fora de operação	Tfop	0		
Tempo de carregamento (h)		10		
Tempo de descarregamento (h)		10		
Custo Total por Viagem (Cn+Cp)	Rota 1	R\$ 92.230,48	R\$ 99.340,80	R\$ 99.860,48
	Rota 2	R\$ 62.987,03	R\$ 67.706,27	R\$ 68.225,96
	Rota 3	R\$ 32.500,57	R\$ 34.727,10	R\$ 35.246,79
	Rota 4	R\$ 85.492,05	R\$ 92.051,41	R\$ 92.571,10
Custo Navegando (Cn)=(C "fixos"+ Col*Ftop)*tn+Cuv	Rota 1	R\$ 84.883,25	R\$ 91.993,57	R\$ 92.513,26
	Rota 2	R\$ 55.639,81	R\$ 60.359,05	R\$ 60.878,73
	Rota 3	R\$ 25.153,35	R\$ 27.379,88	R\$ 27.899,57
	Rota 4	R\$ 78.144,83	R\$ 84.704,19	R\$ 85.223,87
Custo "fixos"= (Cc+Cs+Ctr+Ca+ Cad+Cmr)/Aop		R\$ 6.770,85	R\$ 7.494,34	R\$ 8.014,03
Ano Operacional (dias/ano)	Aop	350		
Fator de tempo de operação	Ftop	1		
Custo Parado=(C "fixos"+Outros)* Tp+Ccp+Cpt	Cp	R\$ 7.347,22		
Custo de combustível parado	Ccp	0	0	0
	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4

Número de Viagens por ano = Aop/Tt	38	65	233	42
Frete		R\$/t*km	R\$/t*km	R\$/t*km
Lucro	10%	Diesel	Diesel-elétrico	Azipod
Frete = $(1+L)*[C_{tv}/(d*W)]$ (R\$/t*km))	Rota 1	R\$ 0,0338	R\$ 0,0364	R\$ 0,0366
	Rota 2	R\$ 0,0379	R\$ 0,0407	R\$ 0,0410
	Rota 3	R\$ 0,0623	R\$ 0,0666	R\$ 0,0675
	Rota 4	R\$ 0,0290	R\$ 0,0313	R\$ 0,0314

Faz-se necessário, aqui, tecer algumas considerações sobre os custos apresentados acima. Em relação ao custo de uso da via este valor foi considerado igual a 0, pois na hidrovia Tietê-Paraná não é cobrada nenhuma taxa para o tráfego de embarcações, diferentemente, do que ocorre em outros países, como por exemplo, os europeus. Considerou-se, por outro lado, que sempre existe carga no sistema de embarque nos terminais, portanto, não existe tempo de espera. Admitiu-se, também neste estudo, com base no trabalho de Garcia (2001), que, enquanto a embarcação está parada no porto ou terminal ela é provida de energia elétrica externa, assim o consumo de combustível quando parada é nulo. Esta parcela não foi considerada neste estudo devida à falta de informações sobre este custo.

Observa-se que, os valores de fretes apresentados encontram-se dentro dos praticados no cenário hidroviário brasileiro considerando as devidas atualizações nos custos dos equipamentos e dos materiais de construção. Chama-se a atenção apenas para a Rota 3 que, devido à pequena distância, apresenta um aumento do custo de frete.

ANEXO H

AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Este Anexo apresenta as considerações utilizadas tanto para a avaliação qualitativa das instalações propulsoras (Anexo I) quanto para avaliar os aspectos de segurança do transporte influenciados pelos sistemas propulsores (Anexo J). São apresentados, aqui, os procedimentos utilizados no processo de avaliação qualitativa das instalações propulsoras.

H.1 – Considerações gerais

A maioria das atividades de projeto, assim como, também a avaliação das soluções não tem uma regra simples de aplicação. Se houvesse um único critério de julgamento, a escolha seria fácil na medida em que fosse estabelecida a preferência de uma solução em relação às demais.

Porém, na maioria dos projetos de engenharia deve-se empregar diversos critérios para avaliação das soluções propostas. Nesta situação, a decisão sobre a alternativa a ser escolhida torna-se difícil, a não ser que uma solução seja melhor que as demais de acordo com todos os critérios.

Uma avaliação baseada em aspectos quantitativos é mais fácil de ser conduzida quando se dispõem dos dados necessários. Entretanto, uma avaliação qualitativa leva em conta aspectos que não são considerados na análise quantitativa. Geralmente, estes aspectos contêm certo grau de subjetividade, pois eles são avaliados em função do conhecimento, experiência e sensibilidade do avaliador em relação à determinada solução.

Uma forma relativamente simples de avaliar os aspectos qualitativos de soluções é o estabelecimento de uma matriz de decisão.

H.2 – Matriz de decisão

A matriz de decisão é um auxílio visual de um problema de decisão, que permite juntar os elementos comuns do problema (YBARRA, 2007). Este método baseia-se na atribuição de pesos e notas para cada um dos critérios e atributos considerados no problema. A melhor alternativa é determinada pela maior média ponderada das notas. Assim, coloca-se em uma tabela, de um lado, as soluções propostas, em geral, ao longo da primeira linha. Na primeira coluna, listam-se os critérios de avaliação. Pode-se reservar a 2^a. coluna para atribuir os pesos aos critérios. Os demais espaços da tabela são utilizados para a atribuição de notas a cada um dos atributos segundo os critérios adotados. A Tabela H.1 apresenta um modelo de uma matriz de decisão.

Tabela H.1 – Modelo da matriz de decisão

Critérios	Pesos	Tipos de instalação		
		Diesel (d)	Diesel-elétrica (de)	Azipod (a)
Confiabilidade	α	d1	de1	a1
Manobrabilidade	β	d2	de2	a2
Vibração e ruído	γ	d3	de3	a3
Nota ponderada		$d1 \alpha + d2 \beta + d3 \gamma$	$de1 \alpha + de2 \beta + de3 \gamma$	$a1 \alpha + a2 \beta + a3 \gamma$

Fonte: Brinati (1981)

Embora se trate de um procedimento aparentemente simples e objetivo, deve-se atentar para o fato que atribuir uma lista de pesos para os critérios envolvidos em um projeto de engenharia não é uma tarefa fácil e implica, via de regra uma avaliação subjetiva. Nestas circunstâncias, é necessário considerar o que é mais importante para avaliador dentro dos critérios de análise pré-estabelecidos. Os pesos assumidos para os

critérios devem refletir esta posição e não simplesmente a opinião do engenheiro. Por outro lado, a atribuição de notas às soluções para cada critério exige um conhecimento relativamente preciso do problema que normalmente só é possível para um especialista.

H.2.1 – Critérios utilizados na matriz de decisão

A Tabela H.2 estabelece uma relação entre o nível de importância (vantagem e desvantagem) de um critério (alto, médio e baixo) em relação a um outro e as notas a serem aplicadas a cada um dos atributos relativos aos critérios. Este procedimento foi utilizado para elaboração das matrizes de decisão apresentada nos Anexos I e J.

Tabela H. 2 – Critérios de notas utilizadas na matriz de decisão

Preferência relativa de importância	Nota relativa
Vantagem / desvantagem (alta)	3
Vantagem / desvantagem (média)	2
Vantagem / desvantagem (baixa)	1

A partir destes dados, constrói-se uma tabela em que são listados todos os critérios. Dentro de cada critério são listados vários atributos onde a comparação é feita entre todos eles, considerando as vantagens e desvantagens para cada atributo. Em seguida, para cada critério analisado é estabelecida uma nota através da diferença entre sua vantagem e desvantagem. Após definida a nota final para o critério, insere-se este valor na matriz de decisão.

Uma vez estabelecida à hierarquização dos critérios e efetuada a avaliação das soluções segundo cada peso atribuído para cada critério, pode-se calcular a nota ponderada de cada alternativa. Por exemplo, para o caso da instalação Diesel-elétrica, mostrada na Tabela H.1, obtém-se:

$$\text{Nota ponderada} = de1 \alpha + de2 \beta + de2 \gamma$$

em que:

de1, 2 e 3 são as notas atribuídas aos critérios;

α , β e γ são os pesos.

ANEXO I

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS INSTALAÇÕES

Este Anexo apresenta uma análise qualitativa das instalações propulsoras baseando-se nas informações coletadas ao longo da investigação.

I.1. Introdução

Ao longo da investigação notou-se que a principal preocupação dos armadores recai sobre o custo de aquisição do sistema propulsor. Entretanto, geralmente, quando se escolhe uma instalação propulsora baseando-se apenas na questão econômica, corre-se o risco de escolher uma instalação que não contemple todos os aspectos de segurança e confiabilidade necessários para uma operação segura.

Deste modo, neste trabalho, buscou-se considerar tanto os aspectos quantitativos quanto os qualitativos das instalações propulsoras, aqui, propostas. No que tange aos aspectos qualitativos, a pesquisa limitou-se apenas a uma aglutinação dos principais critérios e atributos levantados durante a pesquisa, que interferem na escolha da instalação. Para cada atributo foram atribuídas notas em função do tipo instalação. Cabe frisar que, trata-se de uma visão subjetiva, ou seja, as notas foram atribuídas com base na opinião do autor deste trabalho.

I.2- Matriz de decisão

A análise econômica das instalações propulsoras está fundamentada na avaliação de fatores chamados quantitativos. Neste estudo não são levados em conta fatores como confiabilidade, ruído e vibração, manobrabilidade, embora eles sejam de grande importância para a escolha da instalação.

Por outro lado, é possível quantificar os efeitos dos fatores qualitativos através do emprego de uma matriz de decisão, conforme apresentado no Anexo G.

I.2.1 - Estruturação da matriz de decisão

Para estruturar a matriz de decisão consideraram-se as seguintes variáveis de decisão: confiabilidade, manobrabilidade, vibração e ruído, espaço ocupado pela maquinaria e modularidade de alocação das máquinas. Todas estas variáveis foram determinadas em função do perfil da missão de um empurrador na hidrovia.

Para os cinco critérios de decisão considerados foram selecionados 24 atributos importantes relacionados ao desempenho do comboio ou das instalações. Posteriormente, é efetuada uma comparação entre as alternativas para cada um dos atributos. Por exemplo, a instalação Diesel apresenta maior vantagem ou desvantagem em relação às outras duas instalações no fator eficiência de transmissão? Para determinar estas vantagens e desvantagens entre as instalações foram atribuídas notas a cada uma delas, conforme mostrado no Anexo H. Admitiu-se que, as notas seriam atribuídas para a vantagem ou desvantagem não considerando ambas as condições. A Tabela I.1 apresenta as notas atribuídas para cada um dos atributos que compõe a matriz de decisão.

Tabela I. 1 - Tabela de notas atribuídas aos fatores qualitativos das instalações

Critérios	Atributos	Diesel		Diesel elétrica		Azipod	
		1	2	1	2	1	2
Confiabilidade	Eficiência de transmissão	3			2		2
	Ponto de operação do motor		2	3		3	
	Frequência de manutenção		2	2		3	
	Tempo de manutenção	3			2		3
	Mão-de-obra de reparo especializada	3			2		3
	Requisito de serviço	2		3		3	
	Acionamento por controles elétricos e remoto		2	3		3	
	Engrenagem redutora		3	3		3	
	Tripulação	3			2		2
	Operação em caso de pane do motor	2			2		2
Total		16	9	14	10	15	12
Fator		7		4		3	
Manobrabilidade	Distância de parada brusca	1		2		3	
	Tempo de parada	1		2		3	
	Raio de giro	1		2		3	
	Tempo de reversão dos motores		2	3		3	
	Torque em baixa velocidade	1		2		3	
	Operação em águas e canais restritos	1		2		3	
	Tempo de operação	1		2		2	
Total		6	2	15		20	
Fator		4		15		20	
Vibração e ruído	Vibração torcional no eixo propulsor	1		2		3	
	Ruído durante operação	1		2		3	
Total		2		4		6	
Fator		2		4		6	

Espaço	Espaço ocupado pela maquinaria	1		2		3	
	Espaço disponível para acomodações	1		2		3	
Total		2		4		6	
Fator		2		4		6	
Modularidade	Alocação de máquinas no navio internas	1		2		3	
	Alocação de máquinas no navio internas externa	1		2		3	
Total		2		4		6	
Fator		2		4		6	

Para cada critério foi determinado um fator através da diferença das notas atribuídas para as vantagens e desvantagens das instalações. Através deste fator foi possível estabelecer a matriz de decisão. Na matriz decisão, os pesos para os critérios foram definidos em função da sua importância, em que a soma dos valores considerados seja igual a 1. Os pesos foram definidos pelo autor do trabalho, pois julgou-se que dentre os aspectos classificados acima, a confiabilidade e a manobrabilidade do comboio são os principais requisitos operacionais para o cumprimento da missão da embarcação, portanto, ambos tiveram maior peso. A Tabela I.2 mostra a matriz de decisão.

Tabela I. 2 - Matriz de decisão

Crítérios	Pesos	Tipos de instalação		
		Diesel	Diesel-elétrica	Azipod
Confiabilidade	0,35	7	4	3
Manobrabilidade	0,35	4	15	20
Vibração e ruído	0,1	2	4	6
Espaço ocupado	0,12	2	4	6
Modularidade	0,08	2	4	6
Total		4,45	7,85	9,85

Observa-se que, adotando este critério, o sistema Azipod apresenta o maior valor dentre os aspectos qualitativos para escolha da instalação propulsora. É importante analisar que, durante a investigação notou-se que existia uma tendência que de as vantagens da instalação Azipod fossem similares às apresentadas na matriz. Isto porque, a instalação Diesel-elétrica apresenta algumas vantagens significativas em relação a Diesel convencional, entretanto, em é um sistema fixo de propulsão, enquanto que, o Azipod é um sistema azimutal, que confere melhores vantagens de manobrabilidade e governo.

Entretanto, deve-se considerar que, no aspecto confiabilidade, o Azipod apresenta uma condição insatisfatória, principalmente nos fatores relacionados com manutenção e reparo e mão-de-obra especializada. Para o julgamento destes fatores consideram-se os aspectos relacionados com o tempo de reposição das peças e custo de manutenção e reparo, que é alto quando comparado com as outras instalações. Além disso, uma falha neste sistema pode comprometer toda a operacionalidade da embarcação, por um longo período de tempo, o que não ocorre com a instalação Diesel convencional e a Diesel-elétrica.

ANEXO J

ASPECTOS RELACIONADOS COM A SEGURANÇA DAS INSTALAÇÕES PROPULSORAS

Este Anexo analisa os aspectos relacionados com a segurança do transporte que são influenciados pelas características das instalações propulsoras. Os dados pertinentes foram coletados levantados para três condições de operação das embarcações: navegação plena (maior parte do trecho e do tempo), parada brusca e manobra de giro.

J.1 - Considerações gerais

As autoridades nacionais e internacionais buscam encontrar alternativas para melhorar a segurança das embarcações fluviais. De fato, embarcações adaptadas à via e equipadas com sistemas eficientes de manobra e governo aumentam a segurança do transporte, o que é de primordial importância principalmente quando se opera com cargas perigosas. Há registro de diversas embarcações que não atendem este critério e provocam acidentes que geram custos tanto para o armador quanto para o administrador da via.

A título de exemplo, nos Estados Unidos, anualmente, para um conjunto de 600 barcas, os armadores gastam aproximadamente US\$600.000 com reparos, devido aos pequenos acidentes que ocorrem envolvendo estas embarcações. Grande parte destes acidentes deve-se às falhas dos equipamentos de manobra, e em alguns casos, estas falhas podem provocar acidentes com maior gravidade que, conseqüentemente, geram custos altíssimos para o armador. Um estudo realizado pela Mainland High School –

CCTT (2007) mostra os custos gerados pelos acidentes em função das falhas no sistema de manobra dos comboios americanos. Durante o estudo eles relacionaram os custos dos acidentes envolvendo colisões e os custos isolados de cada acidente ocorrido independentemente do tipo. A Figura J.1 apresenta os custos anuais decorrentes dos acidentes envolvendo falhas no sistema de manobra do comboio durante o período de 1993 a 2003.

Figura J. 1 - Custos anuais gerados por acidentes com comboios provenientes de falhas no sistema de manobra

Fonte: Mainland C High School - CCTT, (2007)

Na mesma linha de pesquisa, Awal (2006), estudou as principais causas de acidentes nas hidrovias de Bangladesh. O autor examinou os acidentes ocorridos com embarcações em dois períodos, de 1995 a 1999 e de 2000 a 2005. O resultado da investigação foi que, dos acidentes ocorridos, aproximadamente 36% e 30% deles, respectivamente, estavam relacionados com falhas no sistema de manobra e descuido da tripulação das embarcações. Parte destes acidentes geraram custos altíssimos e causaram perda de vidas humanas.

Na mesma linha de pesquisa, Awal (2006), estudou as principais causas de acidentes nas hidrovias de Bangladesh. O autor examinou os acidentes ocorridos com embarcações em dois períodos, de 1995 a 1999 e de 2000 a 2005. O resultado da

investigação foi que, dos acidentes ocorridos, aproximadamente 36% e 30% deles, respectivamente, estavam relacionados com falhas no sistema de manobra e descuido da tripulação das embarcações. Parte destes acidentes geraram custos altíssimos e causaram perda de vidas humanas.

O autor define que os principais acidentes decorrentes de falhas no sistema de manobra são: deriva, alisões (um navio colide com objeto fixo), desprendimento das barcas devido a uma manobra brusca, colisão (contato com outra embarcação em movimento), explosão e fogo.

No caso da hidrovia Tietê-Paraná constatou-se a mesma tendência no que diz respeito às questões de manobrabilidade. Muitos acidentes ocorreram na hidrovia na década passada e geraram custos altíssimos para o governo e conseqüentemente para o armador. Um acidente marcante com comboios fluviais na hidrovia ocorreu em 1996, quando um comboio colidiu com o pilar da ponte São José dos Dourados, que exigiu a reconstrução da ponte. Nos dias de hoje, um acidente desta magnitude custaria ao responsável aproximadamente R\$ 7 milhões, somente para a reconstrução da ponte. Além disso, ocorrem freqüentemente outros acidentes na via tais como: colisão com protetor de pilar de ponte, bóias sinalizadoras, muros guia de eclusa, porta de eclusa e com as margens do canal. Um protetor de pilar de 50 t custa, hoje, aproximadamente R\$ 500.000,00 e, em média, o custo de seu reparo fica em torno de 10% do valor total. Este custo depende, é claro, do impacto, pois geralmente são substituídas as defensas e os reforços estruturais danificados. Em casos mais graves os protetores são retirados dos locais onde estão instalados e docados em um estaleiro para realização do reparo.

Uma colisão com um protetor gera outros custos tais como: contratação de guindaste para reposicionamento das poitas, substituição das amarras, contratação de mergulhadores e etc. Quando um comboio colide com uma bóia flutuante, ela geralmente fica totalmente danificada e precisa ser substituída, além do que, sua ausência compromete toda segurança da navegação naquele trecho, pois outras embarcações podem sair da rota e colidir com pedras no fundo do canal ou até mesmo encalhar. Além disso, é necessário mobilizar uma equipe para substituição e remoção da bóia que gera custos para a administração da hidrovia.

Neste contexto, a Mainland High School – CCTT (2007) enfatiza que melhorias nos sistemas de propulsão e manobra dos comboios podem gerar uma grande redução nos custos relacionados com acidentes, pois existe uma grande tendência deles diminuírem com esta providência.

Padovezi (2003) esclarece que, quando um comboio dispõe de boa manobrabilidade, pode-se reduzir a quantidade de desmembramento em regiões críticas da hidrovia, minimizando assim os tempos de viagem. Além disso, equipamentos de manobras adequados compensam os efeitos de forças externas (ondas, ventos, corrente) permitindo controle eficiente do rumo da embarcação durante a navegação.

J.2 – Procedimento para avaliação da segurança

Utilizou-se para avaliação da segurança o procedimento apresentado no Anexo G. Neste caso foram estabelecidos três critérios de análise sendo: navegação plena (maior parte do tempo), parada brusca e manobra de giro. No total foram examinados 18 atributos que podem influenciar na segurança do comboio. Através da matriz de decisão buscou-se comparar as instalações propulsoras. Cabe salientar que, as notas atribuídas para cada um dos atributos foram definidas pelo autor do trabalho.

A Tabela J.1 apresenta as notas atribuídas para cada um dos atributos definidos.

Tabela J. 1 – Tabela de notas dos atributos

Classificação	Fatores	Diesel		Diesel-elétrica		Azipod	
		Vantagem	Desvantagem	Vantagem	Desvantagem	Vantagem	Desvantagem
Navegação plena	Chata vazia	1		2		3	
	Chata carregada	1		2		3	
	Forças externas	1		2		3	
	Acesso e manobra em eclusas	2		2		3	
	Passagem sob pontes	1		2		3	
	Condições de tempo desfavoráveis	1		2		3	
	Trechos com baixa profundidade	1		2		3	
	Choques com o fundo do canal	3		3			3
	Trechos com alta velocidades de correnteza	1		2		3	
	Troncos de arvores flutuantes	3		3			3
	Desmembramento	1		2		3	
	Qualificação da tripulação	1		1		3	
Total		17		25		30	6
Fator		17		25		24	
Parada Brusca	Chata vazia	1		2		3	
	Chata carregada	2		2		3	
	Colisão com outras embarcações	1		2		3	
	Colisão com objetos flutuantes bóias de sinalização	1		2		3	
	Colisão objetos fixos pilares de pontes, protetores de pilar	1		2		3	
Total		6		10		15	
Fator		6		10		15	
Diâmetro de giro	Colisão com margens	1		2		3	
	Curvas fechadas	1		2		3	
Total		2		4		6	
Fator		2		4		6	

Em relação à atribuição de notas, cabe aqui uma consideração. Em se tratando da instalação Azipod observa-se que, no atributo, choque com o fundo do canal, esta instalação apresenta uma desvantagem alta em relação às outras duas. Isto porque, como se trata de um equipamento importado, um choque com o fundo do canal pode danificar seriamente o sistema, fazendo com que a embarcação pare de operar colocando o comboio em risco. Outra desvantagem atribuída a este sistema, refere-se à colisão de objetos flutuantes. Sabe-se que em toda hidrovia existem objetos em suspensão como, por exemplo, os troncos de arvores que podem danificar seriamente os hélices. Deste modo, uma falha neste sistema pode comprometer seriamente o governo da embarcação, pois como eles substituem os lemes, em caso de falha, eles tendem deixar a embarcação à deriva.

Os fatores determinados na Tabela J.1, foram inseridos na matriz de decisão, conforme apresentado na Tabela J.2.

Tabela J. 2 - Matriz de decisão

Crítérios	Pesos	Diesel	Diesel-elétrica	Azipod
Navegação normal	0,15	17	25	24
Parada Brusca	0,6	6	10	15
Diâmetro de giro	0,25	3	4	6
Total		6,9	10,75	14,1

Os pesos dos critérios foram atribuídos pelo autor, baseando-se nas análises realizadas nos trabalhos de Padovezi (2003), Ferreira (2000), Awal (2006), que fazem grandes menções sobre os aspectos de segurança durante a navegação com embarcações fluviais. Nestes trabalhos os autores chamam a atenção para os requisitos de segurança, que as instalações propulsoras devem fornecer principalmente na condição de parada brusca. Deste modo, verifica-se que o maior peso foi estabelecido para a condição de parada brusca, pois esta condição significa que a embarcação encontra-se em risco eminente de colisão, o que exige uma melhor resposta do sistema de propulsivo. Em segundo lugar, considera-se que na hidrovia Tietê-Paraná, existam vários trechos sinuosos, com raios de curvatura estreitos, assim, os sistemas propulsão e governo devem oferecer uma boa resposta nestas condições. Em condições normais ou plena de navegação, julgou-se que o peso de segurança da instalação deve ser um pouco menor em relação aos outros, pois se admite que qualquer instalação deva garantir o mínimo de segurança nesta condição.

Observa-se que o sistema Azipod dentre os aspectos considerados, apresenta melhor resposta a condição de segurança do comboio. Contudo, é importante frisar que, esta é uma análise subjetiva, ou seja, os pesos e notas foram atribuídas em função de dados encontrados durante a investigação e da percepção do autor em relação ao

problema estudado. Na pratica é necessário realizar ensaios com comboios fluviais para quantificar estas vantagens apresentadas pelo sistema Azipod.

ANEXO K

REPRESENTAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Este Anexo apresenta o modelo apresentado pelos autores Iqbal & Hasegawa (2000), Iqbal & Hasegawa (2001) e Iqbal & Shil (2005) citados no Capítulo 7, e os resultados dos impactos ambientais estimados através da aplicação destes modelos.

K.1 - O modelo

No primeiro trabalho os autores comparam o impacto ambiental anual causado por uma frota de 458 caminhões com aquele produzido por 3 navios fluviais dentro de uma rota de interesse no Japão. Cada caminhão tinha a capacidade de transportar 11 t de carga e um consumo específico de combustível – cec de 4 km/l. Já o navio fluvial tinha capacidade de transporte 5000 t e um cec de 160 g/hp-h. No segundo trabalho os autores complementaram o estudo, analisando os impactos em mais 8 rotas para o mesmo transporte de carga. No terceiro, eles estudaram os impactos ambientais causados por uma frota de ônibus e 3 navios fluviais, empregados no transporte de passageiros num trecho de aproximadamente 50 km entre as cidades de Narayanganj e Dhaka em Bangladesh.

Os seguintes impactos ambientais foram analisados nestes trabalhos: consumo de combustíveis fósseis, aquecimento local, aquecimento global, chuva acida, eutrofização da água e poluição do ar.

O procedimento utilizado foi relacionar os impactos ambientais em função das substâncias e componentes gerados durante o processo da queima do combustível fóssil. Em seguida, eles quantificaram os valores destas substâncias em MJ/ton-km para a

energia consumida e radiação solar, e kg/ton-km para as demais substâncias. Para este cálculo os autores recorreram à consultas em livros, artigos, sites pela Internet e softwares com indicadores ambientais para os dois modais; os resultados estão mostrados na Tabela K.1.

Tabela K. 1 – Inventário dos componentes e substâncias emitidas durante o transporte

Componente ou substância	Unidade	Caminhão	Navio fluvial
Energia consumida	MJ/ton-km	2.88	0.499
Radiação Solar	MJ/kg fuel	42.7	40.7
Emissão de CO ₂	kg/ton-km	0.228	3.95×10^{-2}
Emissão de Nox	kg/ton-km	4.10×10^{-3}	7.11×10^{-4}
Emissão de SO _x	kg/ton-km	3.43×10^{-4}	5.95×10^{-5}
Emissão de N ₂ O	kg/ton-km	5.50×10^{-4}	9.54×10^{-7}
Emissão de Metano	kg/ton-km	2.77×10^{-4}	4.81×10^{-5}
Emissão de Amônia	kg/ton-km	6.19×10^{-9}	1.07×10^{-9}
Emissão de HCl	kg/ton-km	4.66×10^{-7}	8.07×10^{-8}
Emissão de HF	kg/ton-km	4.87×10^{-8}	8.44×10^{-9}
Emissão de C _x H _y	kg/ton-km	1.36×10^{-6}	2.37×10^{-7}
Emissão de Benzeno	kg/ton-km	8.18×10^{-6}	1.42×10^{-6}
Emissão de partículas em suspensão (PM)	kg/ton-km	9.39×10^{-5}	1.63×10^{-5}

Após relacionar quais destas emissões contribuíam para um determinado impacto, os autores, definiram um fator de caracterização para cada uma delas. Estes valores foram obtidos através de consulta a uma base de dados denominada Eco-indicator 95⁷. Apenas para o caso da radiação solar que impacta na categoria aquecimento global foi admitido o valor 1. Os fatores de caracterização estão apresentados na Tabela K.2.

⁷ Eco-indicator 95: é um número que indica o impacto ambiental de um material ou processo. Um indicador alto significa um grande impacto ambiental. Estes dados podem ser obtidos através do programa Simapro.

Tabela K. 2 - Fator de caracterização para várias categorias de impacto

Categoria do impacto	Substância ou componente responsável	Fator de caracterização	Unidade
Esgotamento do combustíveis fósseis	Energia consumida	1	MJ
Aquecimento local	Radiação solar	1	MJ
Aquecimento global	CO ₂	1	kg
	N ₂ O	270	kg
	CH ₄	11	kg
Chuva Ácida	Amônia	1.88	kg
	HCl	0.88	kg
	HF	1.6	kg
	NO _x	0.7	kg
	SO _x	1	kg
Eutrofização	NO _x	0.13	kg
	Amônia	0.33	kg
Poluição do Ar	Partícula de suspensão	1	kg
	SO _x	1	kg
	C _x H _y	0.398	kg
	C ₆ H ₆	0.189	kg

O fator de caracterização indica qual o nível de gravidade associado à substância ou componente no impacto ambiental da categoria *j*. Assim, os cálculos dos impactos gerados são estimados multiplicando a quantidade de emissão pelo fator de caracterização apresentado na Tabela K.2. Este cálculo é realizado através da seguinte equação:

$$EP(j) = \sum (Q_i * EF(j)_i) \quad (K.1)$$

em que:

$EP(j)$ é a soma da contribuição potencial do impacto ambiental de cada categoria;

Q_i é a produção de cada componente ou substância;

$EF(j)_i$ é o fator de caracterização do componente *i* relacionado com a categoria *j*.

Em seguida, eles determinaram um índice de destruição ambiental em função dos impactos gerados pelos modais rodoviário e hidroviário multiplicando-os pelo fator de peso específico para cada categoria de impacto, conforme apresentado na seguinte equação:

$$IE = \sum w_j \frac{(EP(j)_{\text{caminhão}})}{(EP(j)_{\text{comboio}})} \quad (K.2)$$

onde:

w_j é o fator de peso para o impacto ambiental na categoria j .

Este índice busca apresentar qual a influência do impacto proveniente do modal rodoviário em relação ao hidroviário durante o transporte.

O fator de peso do impacto aplicado na equação (K.2) foi obtido através das respostas de alguns questionários que foram enviados para pesquisadores e profissionais das áreas de engenharia naval e ambiental dos seguintes países: Japão, Bangladesh, Paquistão, Indonésia, Nepal, Austrália e Canadá pelos autores do estudo. No total eles foram respondidos por 112 pessoas. Estes fatores obtidos através da aplicação do método AHP. Os fatores de peso para os vários impactos ambientais estão apresentados na Tabela K.3.

Tabela K. 3 - Fatores de peso para várias categorias de impacto ambiental

Categoria do impacto	Fator de peso
Esgotamento de combustíveis fósseis	0.143
Aquecimento local	0.105
Aquecimento global	0.271
Chuva ácida	0.165
Eutrofização	0.096
Poluição do ar	0.22

O modelo acima descrito foi adotado para o cálculo dos índices de destruição ambiental para as rotas de interesse para os dois modais considerados para o transporte de álcool e derivados de petróleo no entorno da hidrovia Tietê-Paraná.

K.2 - Aplicação do modelo

Para aplicação do modelo são usados os dados apresentados na Tabela K.4. No que tange ao volume de emissão em função do consumo de combustível, a título de exemplo, estudou-se a rota Presidente Epitácio até Conchas. Nesta rota, 1 caminhão-tanque com capacidade de 16 t tem a capacidade de transportar aproximadamente 218 t de álcool no tempo de viagem requerido pelo comboio. Para transportar a mesma quantidade que um comboio são necessários aproximadamente 18 caminhões. Durante uma viagem redonda 1 caminhão consome aproximadamente 252 litros de óleo Diesel e, ao longo do período de tempo correlato à viagem do comboio, ele consome cerca de 3.444 litros de óleo Diesel. Considerando que, para transportar a mesma quantidade que um comboio aproximadamente 4100 t de álcool são necessários 18 caminhões nesta rota, o consumo total de combustível é de 63.125 litros. Entretanto, para o comboio com propulsão Diesel convencional, a quantidade total de combustível consumida durante a viagem é de aproximadamente 40.949 litros de óleo Diesel. Numa primeira análise, conclui-se que, o impacto ambiental gerado pelos caminhões para realizar apenas uma viagem é muito superior ao comboio.

Tabela K. 4 - Dados utilizados nos cálculos dos índices de destruição ambiental

Terminal	Rotas	Distância. Hidroviária até Conchas (km)	Distância Rodoviária até Conchas (km)	Nº. de viagens por caminhão	Caminhões necessários
Presidente Epitácio	Rota 1	733	505	14	18
Araçatuba	Rota 2	446	346	12	20

Jaú	Rota 3	140	131	11	22
São Simão (GO)	Rota 4	790	530	12	21

Deste modo, aplicando o modelo apresentado, pode-se estimar em função do consumo de combustível os índices de destruição ambiental para todas as rotas de interesse. Os resultados estão apresentados nas Tabelas K.5, K.6 e K.7.

Tabela K. 5 - Índices de destruição ambiental para Rota 2

Rota 2								
Componente	Componente	Unidade	Caminhão	Comboio	EP(j)	W _j	IE	IE por efeito
Esgotamento dos combustíveis fósseis	Energia consumida	MJ/ton-km	4.085.568,00	912.471,40	4,48	0,143	0,64	0,64
Aquecimento local	Radiação Solar	MJ/kg	1.609.002,72	1.042.432,99	1,54	0,105	0,16	0,16
Aquecimento global	Emissão de CO ₂	kg/ton-km	73.744,50	16.468,37	4,48	0,271	1,21	1,21
	Emissão de N ₂ O	kg/ton-km	2.106,62	471,01	4,47		1,21	
	Emissão de Metano	kg/ton-km	4.322,47	967,51	4,47		1,21	
Chuva acida	Emissão de Nox	kg/ton-km	10.934,57	2.444,25	4,47	0,165	0,74	0,74
	Emissão de SO _x	kg/ton-km	428,19	95,75	4,47		0,74	
	Emissão de Amônia	kg/ton-km	0,01	0,0031	4,49		0,74	
	Emissão de HCl	kg/ton-km	0,46	0,10	4,48		0,74	
	Emissão de HF	kg/ton-km	0,07	0,02	4,48		0,74	
Eutrofização	Emissão de Nox	kg/ton-km	756,11	169,02	4,47	0,096	0,43	0,43
	Emissão de Amônia	kg/ton-km	0,00	0,00	4,49		0,43	
Poluição do ar	Emissão de C _x H _y	kg/ton-km	1,93	0,43	4,45	0,22	0,98	0,98
	Emissão de Benzênio	kg/ton-km	11,60	2,60	4,47		0,98	
	Emissão de partículas em suspensão (PM)	kg/ton-km	53,02	11,86	4,47		0,98	

Tabela K. 7 - Índices de destruição ambiental para Rota 4

Rota 4								
Componente	Componente	Unidade	Caminhão	Comboio	EP(j)	W _j	IE	IE por efeito
Esgotamento dos combustíveis fósseis	Energia consumida	MJ/ton-km	6.258.240,00	1.616.261,00	3,87	0,143	0,55	0,55
Aquecimento local	Radiação Solar	MJ/kg	2.464.657,34	1.522.611,02	1,62	0,105	0,17	0,17
Aquecimento global	Emissão de CO2	kg/ton-km	112.961,23	29.170,43	3,87	0,271	1,05	1,05
	Emissão de N2O	kg/ton-km	3.226,91	834,30	3,87		1,05	
	Emissão de Metano	kg/ton-km	6.621,13	1.713,75	3,86		1,05	
Chuva acida	Emissão de Nox	kg/ton-km	16.749,48	4.329,51	3,87	0,165	0,64	0,64
	Emissão de SOx	kg/ton-km	655,90	169,59	3,87		0,64	
	Emissão de Amônia	kg/ton-km	0,02	0,01	3,88		0,64	
	Emisão de HCl	kg/ton-km	0,71	0,18	3,87		0,64	
	Emissão de HF	kg/ton-km	0,11	0,03	3,87		0,64	
Eutrofização	Emissão de Nox	kg/ton-km	1.158,21	299,38	3,87	0,096	0,37	0,37
	Emissão de Amônia	kg/ton-km	0,00444	0,0011437	3,88		0,37	
Poluição do ar	Emissão de CxHy	kg/ton-km	2,96	0,77	3,85	0,22	0,85	0,85
	Emissão de Benzênio	kg/ton-km	17,78	4,60	3,86		0,85	
	Emissão de partículas em suspensão (PM)	kg/ton-km	81,21	21,01	3,86		0,85	
	Emissão de SOx	kg/ton-km	140,87	36,42	3,87		0,85	
Total								3,63

ANEXO L

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DAS INSTALAÇÕES PROPULSORAS PELO MÉTODO AHP

Neste anexo são apresentadas as análises das instalações propulsoras considerando a incorporação dos dados quantitativos apresentados no Capítulo 7.

L.1. - Incorporação dos dados quantitativos

Os valores de frete definidos na Tabela 7.5, das emissões de CO definidas na Tabela 7.8 para rota 1 e, das distâncias de parada brusca e dos diâmetros de giro aglutinados na Tabela 7.9 apresentados no Capítulo 7 são incorporados na matriz de decisão para avaliar sua influência na seleção da instalação propulsora. O procedimento utilizado é determinar a proporcionalidade destes valores e depois normalizá-los. Para realização deste processo basta dividir 1 pelos valores destas tabelas para definir a proporcionalidade e depois dividir este valor pela soma dos valores da coluna de proporcionalidade. Este procedimento está apresentado nas Tabelas L.1, L.2, L.3 e L.4.

Tabela L.1 - Normalização dos valores de frete

	Valor de frete	Proporcionalidade	Normalização
I1	R\$ 24,74	0,04042037	0,351
I2	R\$ 26,65	0,0375235	0,326
I3	R\$ 26,79	0,03732736	0,324

Totais	0,11527118	1
---------------	------------	----------

Tabela L.2 - Normalização dos valores de emissões de CO

Emissões de CO		Proporcionalidade	Normalização
I1	982	0,00102	0,338
I2	1002	0,00100	0,331
I3	1002	0,00100	0,331
Totais		0,00301	1

Tabela L.3 - Normalização dos valores de Parada Brusca

Parada Brusca		Proporcionalidade	Normalização
I1	2,6	0,384615385	0,247933884
I2	2	0,5	0,32231405
I3	1,5	0,666666667	0,429752066
Totais		1,551282051	1

Tabela L.4 - Normalização dos valores do diâmetro de giro

Diâmetro de giro		Proporcionalidade	Normalização
I1	4,95	0,202020202	0,195121951
I2	3	0,333333333	0,32195122
I3	2	0,5	0,482926829
Totais		1,035353535	

Após a normalização dos valores, constrói-se a matriz de preferência das alternativas. Inserem-se os valores normalizados na matriz e, em seguida, multiplicam-se os valores desta matriz com os pesos determinados na matriz de comparação, obtendo-se, assim, a melhor instalação considerando os aspectos quantitativos. A Tabela L.5 apresenta a matriz de consolidação incorporando todos os valores exceto o diâmetro de giro.

Tabela L.5 – Matriz de consolidação com valores quantitativos

Critérios	C1	C2	C3	X	pesos	=	Classificação
Alternativas							
I1	0,351	0,338	0,247		0,778		33,779%
I2	0,326	0,331	0,322		0,111		32,581%
I3	0,324	0,331	0,429		0,111		33,640%

Verifica-se que a instalação Diesel é a indicada pelo método AHP com **33,779%** da preferência, em segundo lugar a instalação Diesel com 33,640%, uma pequena diferente em relação à instalação Diesel e, na terceira posição, a Diesel-elétrica com 32,581%. Entretanto, agora se deve construir uma nova matriz considerando o diâmetro de giro das instalações. A Tabela L.6 mostra a matriz que considera os valores do diâmetro de giro.

Tabela L.6 - – Matriz de consolidação com valores quantitativos considerando o diâmetro de giro

Critérios	C1	C2	C3	X	pesos	=	Classificação
Alternativas							
I1	0,351	0,338	0,195		0,778		33,193%

I2	0,326	0,331	0,321	0,111	32,577%
I3	0,324	0,331	0,482	0,111	34,230%

Nesta condição, a instalação indica é a Azipod. Nota-se que o maior peso atribuído à segurança (coluna C3 x linha I3) foi determinante na classificação da instalação Azipod. Observa-se que os fatores de segurança atribuídos à instalação Azipod têm um peso considerável na matriz de decisão. Verifica-se que com a inserção dos valores quantitativos ocorre uma grande mudança nas preferências em relação às preferências apresentada na Tabela L.5, que considerava apenas os julgamentos do avaliador. Isto mostra que uma análise apenas subjetiva pode ser tendenciosa e apresentar discrepâncias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ – *Caderno de navegação*.
Ministérios dos transportes. São Paulo. 2003. Disponível em:
<<http://www.ahrana.gov.br>> Acesso em: 18/03/2006.

ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ – AHRANA, *Hidrovia do Rio Paraná. Dados e informações gerais*. São Paulo. 2005. Disponível em:
<<http://www.ahrana.gov.br>> Acesso em: 18/03/2006.

ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA DA AMAZÔNIA OCIDENTAL – AHRANA,
Hidrovia do Rio Madeira. Disponível em: <<http://www.ahimoc.com.br>> Acesso
em: 18/03/2006.

ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DO TOCANTINS ARAGUAIA – AHITAR,
Hidrovia Tocantins Araguaia. Disponível em: <[http:// http://www.ahitar.com.br/](http://www.ahitar.com.br/)>
Acesso em: 18/02/2007.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP (2006) *Petróleo e Derivados*.
Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>> Acesso em 10/02/2006.

ALMEIDA, P.P., *Aplicação do Método AHP – Processo Analítico Hierárquico – à Seleção de Helicópteros para Apoio Logístico à Exploração e Produção de Petróleo “Offshore”*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro. 2002.

AMERICAN WEST STEAMBOAT COMPANY, *Empress of the North*. Disponível em: <<http://www.americanweststeamboat.com>> Acesso em: 10/05/2006.

ANDRADE, L.E., *Um estudo sobre terminais intermodais para granéis sólidos*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. 2003.

ARPIAINEN, M.; JUURMAA, K.; LAUKIA, K.; NIINI, M.; JARVINEN, K., NOBLE, P., *Naval Architecture of Electric Ships – Past, Present and Future*, SNAME Transactions, Vol. 101, pp. 583-607, 1993.

ASEA BROWN BOVERI – ABB, *Reliable marine propulsion*. 3BFV000245R01 REV E © ABB Oy, Marine and Turbocharging, ADAMS OY/F.G. Lönnberg. 2002. Disponível em: <www.abb.com/marine> Acesso em: 23/05/2006.

ASEA BROWN BOVERI - ABB, *The CRP Azipod® Propulsion Concept* - REV B ABB Marine and Turbocharging, ADMS, 2002. Disponível em: <www.abb.com/marine> Acesso em: 23/05/2006.

ASEA BROWN BOVERI – ABB, *Project Guide for Compact Azipod Propulsion Systems*. ABB OY Marine & Turbocharging. 2004.

ASEA BROWN BOVERI - ABB, *The CRP Azipod® Propulsion Concept* 3BFV000388R01 REV B © ABB Industry Oy, Marine Group, ADAMS OY/ 2004. Disponível em: <www.abb.com/marine> Acesso em: 23/05/2006.

ATLAS 2800 DA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ DA ILHA SOLTEIRA A BARRA BONITA. 1ª Edição. Publicado no Rio de Janeiro. Diretoria de hidrografia e navegação marinha do Brasil. 1997

- AWAL, Z.I., *A study on inland water transport accidents in bangladesh: experience of a decade (1995-2005)*. Bangladesh University of Engineering & Technology, Bangladesh. 2006.
- BRINATI, H.L., *Instalações propulsoras*. Notas de aula. Departamento de Engenharia Naval da USP. Vol. 1. São Paulo. 1981.
- BLOKLAND, A.J., EBLING, G.H., *Protection of an integrated energy system*. The Institute of Marine Engineers, Paper 17, Electric Propulsion The Effective Solution?, October, 1995.
- BORMAN, J.B., SHARMAN, B.P., Electric propulsion – a view from a classification society. The Institute of Marine Engineers, Paper 11, Electric Propulsion The Effective Solution?, October, 1995.
- BUREAU COLOMBO SOCIEDADE CLASSIFICADORA, *Regras para construção de embarcações que transportam combustíveis líquidos inflamáveis derivados de petróleo e álcool, a granel, na navegação interior*. Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: <www.bcolombo.com.br>. Acesso em: 12/01/2005.
- BUSHKOVSKY, V.A., PUSTOSHNY, A.V., VASILJEV, A.V., VEIKONHEIMO, T., *A crash-stop study for an Azipod-propelled vessel*. FAST 2003, Naples, Italy, Vol. 2. p.1-6. 2003.
- CARUSO, R.C., *Análise da Oferta e Demanda de Açúcar no Estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, da Universidade de São Paulo. Departamento de Economia Aplicada. São Paulo. 2002.
- CARVALHO, E.P., *Demanda Externa de Etanol. Seminário BNDES. “Álcool : potencial gerador de divisas e emprego”*. União da agroindústria canavieira do estado de São Paulo. 2003.

CESP, *Estudo de implementação de navegação no médio Tietê. Vol. 1 – Embarcações*. Companhia Energética do Estado de São Paulo. IPT. São Paulo, Março.1978.

CESP, *Estudo de implementação de navegação no médio Tietê. Vol. 5 – Embarcações*. Companhia Energética do Estado de São Paulo. IPT. São Paulo, Março.1978.

CESP, *Hidrovia Tietê-Paraná – Embarcações Tipo – Características e Dimensões*. Companhia Energética do Estado de São Paulo. São Paulo, 1995.

CHRISTOPOULOS, B., LATORRE, R., *River towboat hull and propulsion. Marine Technology*. SNAME, Vol. 20, Nº 3, pp. 209-226. July. 1983.

COMSTOCK, H.E., *Principles of naval architecture*. New York, SNAME, 1957. v.2.

CREATING INLAND NAVIGATION, *Fuel cell technology in inland navigation*. Technical report in the framework of EUA project creating (M06.02). 2006.

DARIO, G.B. *Análise hidrodinâmica de embarcações fluviais*. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. São Paulo, 1999.

DARIO, G.B., *A voz do cliente no desenvolvimento de projetos de cascos de chatas para o transporte fluvial a granel*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. São Paulo, 2004.

DEPARTAMENTO DE INFRA-ESTRUTURAS DE TRANSPORTES – DNIT –
Hidroviário. Disponível em:
<www1.dnit.gov.br/imprensa/download/Hidroviario.doc> Acesso em: 18/02/2007.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING UNITED STATES NAVAL ACADEMY, *Marine electric drive overview*. Disponível em: < http://www.usna.edu/EE/ee331/Handouts/Electric_Drive.pdf>. Acesso em: 23/06/2006.

ELLINGSEN, H., FET, A.M., AANONDSSEN, S., *Tool for environmental efficient ship design*. Disponível em: < <http://www.iot.ntnu.no/users/fet/Publi-Forfatterskap/publikasjoner/Ensus-ellingsen-fet-2002.pdf>>. Acesso em: 12/10/2006.

EUROPEAN STRATEGIES TO PROMOTE INLAND NAVIGATION. *Innovative transport vehicles on the Danube and its tributaries*. Working Paper. 2004.

FERREIRA, A.N. *Estudo do efeito de acidentes na hidrovia Tietê-Paraná: Aspectos Preventivos*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. 2000

FIGUEIRA, S.R., *Os programas de álcool como combustível nos EUA, no Japão e na União Européia e as possibilidades de exportação do Brasil*. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, da Universidade de São Paulo. Departamento de Economia Aplicada. São Paulo. 2005.

FKI – INDUSTRIAL SYSTEMS – *Drives power novel electric trimaran warship*. Disponível em: < <http://www.engineeringtalk.com/>>. Acesso em: 30/07/2006.

FONSECA, M. M. *Arte Naval*. Rio de Janeiro. 6ª ed, 23 – 24. 2002.

FREIRE, P.E.M., FERREIRA, C.L., *Propulsão Elétrica – Histórico e Perspectivas Futuras*. 20º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore, 2004.

- FREIRIA, J., *Determinación de solitaciones em amarras para tren de barcazas y empujador*. Anais do 3º Seminário de Transporte Hidroviários Interior, Corumbá, Mato Grosso do Sul, 2003.
- GARBER, M.F., *Estruturas flutuantes para a exploração de campos de petroleo no mar (FPSO): apoio a decisão na escolha do sistema*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. 2002.
- GARCIA, H.A., *Análise dos procedimentos de projeto e desenvolvimento de método para determinização de custos de construção e operação de embarcações fluviais*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. São Paulo, 2001.
- GRAGEN, U., ANDERSEN, P., *New type of permament field machines for Diesel electric propulsion systems*. Proceedings of AES'97 (All Electric Ship), Paris, March, 1997.
- GUIMARÃES, L.S., *Sintese de doutrina de segurança para projeto e operação de submarinos nucleares*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. São Paulo, 1999.
- GUENEST, T., *Modern concepts in the design of vessels for inland waters*. Anais do 4o. Seminário de Transportes e Desenvolvimento Hidroviário Interior. SOBENA, Belém, 2005.
- HANSEN, J.F.; LYSEBO, R., *Electric Propulsion for LNG Carriers*. LNG Journal, pp. 12, Setembro, 2004.
- HARRINGTON, R.L., *Reliability and mantainability analyses of shipboard systems*. In Marine Technology. Society of Naval Architects ans Marine Engineers SNAME. New York, EUA. 1970.

HEINKE, C., HEINKE, H., *Investigations about the use of podded drives for fast ships*. FAST 2003. Ischia. Italia. 2003.

HIRATA. K., PADOVEZI, C.D., GONÇAVES, A.L., *Projeto hidrodinâmico de chatas*. 14º Congresso nacional de transportes marítimos e construção naval, Sobena, Rio de Janeiro, 1992.

INBISHIP, *New opportunities for inland waterway transport*. Disponível em: <<http://www.vbd.uni-duisburg.de/projekte/projekte/inbship/home.htm>> Acesso em: 22/05/2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC, 2000, *Emissions Scenarios*. A Special Report of IPCC Working Group III. 2000.

IQBAL, K. S., HASEGAWA, K., *Inland Transportation System Planning by Life Cycle Impact Assessment: a case study*. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 5, no. 1, pp. 1-8, 2000.

IQBAL, K. S., HASEGAWA, K., *Inland transportation system planning by life-cycle impact assessment: a case study 2nd report: single comparison index*. Journal of Marine Science and Technology. Volume 6, Number 2 / December. 2001.

IQBAL, K.S., SHIL, S.K., *A comparative study of two passenger transportation systems between two Bangladeshi cities*. Journal of Marine Science and Technology. December. 2005. Disponível em: < <http://jname.8m.net>>. Acesso em: 25/10/2006.

IRVING SHUIPBUILDING INC, *Canadian company capabilities*. Disponível em: < <http://strategis.ic.gc.ca>>. Acesso em: 23/08/2006.

INTERNATIONAL TOWING TANK CONFERENCE - ITTC, *The specialist committee on azimuthing podded propulsion*. Final Report and Recommendations to the 24th ITTC. 2005. Disponível em: <<http://ittc.sname.org>>. Acesso em: 23/06/2006.

JASEN, L.K.C., SHIMIZU, T., JASEN, J.U., *Uma análise de investimentos considerando fatores intangíveis*. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de novembro de 2004.

KOSKELA, M., KOUKKARI, J., KUUSKOSKI, J., *Designing an electric propulsion system and power plant for optimum safety*. The Institute of Marine Engineers, Paper 15, Electric Propulsion The Effective Solution?, October, 1995.

KRUIJT, W.J., *An integrated approach to an all-electric cruise vessel*. Shipbuilding & Repair. Business Briefing: Global Cruise. 2004.

KURIMO, R., *Sea trials experience of first passenger cruiser with podded propulsors*. PRADS 1998. Hague, Netherlands, p. 743-748.

LAUKIA, K., *The Azipod System – Operational Experience and Designs for the Future*. The Institute of Marine Engineers, Paper 5, Electric Propulsion The Effective Solution?, October, 1995.

LUNA PRESERVATION SOCIETY, *Classic american design with a twist*. Disponível em: <<http://www.tugboatluna.org/>>. Acesso em: 12/05/2006.

LUTRA, G., *Effect of profile thickness and angle of attack of flanking rudders in pusher tugs on thrust deduction and propulsion power*. Schiff Und Hafen, Heft. pp. 55-74 .10/1979. English translation. Latorre *et al.* (1982).

MAILAND HIGH SCHOOL - CCTT, *Barge accidents*. Disponível em: <<http://mainland.cctt.org/istf2006/>>. Acesso em 12/01/2007.

MALIGO, C., *Modelo para simulação da operação de carregamento de caminhões-tanque em uma base de distribuição de combustíveis automotivos*. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Mestrado Profissional em Logística da PUCRio . Rio de Janeiro. 2005.

MARINHA DO BRASIL CAPITANIA FLUVIAL DO TIETÊ-PARANÁ, *Aviso aos navegantes N/R 11/2006 Hidrovia Tietê-Paraná, ATLAS 2800*. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/cftp/avisos/aviso_2006/011.htm> Acesso em: Fev. 2006.

MCCOY, T. J., *Trends in ship electric propulsion*. U.S. Government work, 2003.

MEZGER, A.; VERHAART, A., *Building The First Dutch Military All Electric Ship*, Proceedings of AES'97 (All Electric Ship), Paris, March, 1997.

MISHRA, B., *Prediction of performance of podded propulsors via coupling of a vortex – lattice method with an Euler or a RANS solver*. *Environmental and Water Resources Engineering*. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering. The University of Texas at Austin. 2005.

MORISHITA, H.M., *Estudo de controlador adaptativo para uma instalação propulsora marítima*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. São Paulo, 1985

NATIONAL CORNS GROWERS ASSOCIATION NCGA, *Missouri river annual operation plan and flexible criteria*. 2005. Disponível em: <<http://www.http://www.ncga.com/letters/PDFS/MORiver2005-2006AOP.pdf>> Acesso em 05/04/2006.

NORMAS DE TRÁFEGO NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ E SEUS CANAIS – NTHTPC, 3ª Revisão – cancela e substitui a anterior. AHRANA. Set. 2005.

NORMAN 02, *Normas da Autoridade Marítima do Brasil. Embarcações empregadas na navegação interior*. Capítulo 6, Seção II, Item 0613. 2003.

NURMI, J., *The electric concept*. The Institute of Marine Engineers, Paper 9, Electric Propulsion The Effective Solution?, October, 1995.

PADOVEZI, C.D., *Aplicação de resultados de escala real no projeto de hélices de embarcações fluviais*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. 1997.

PADOVEZI, C.D., CALTABELOTI, O., *Sistemas flutuante de proteção de pilares de pontes junto a rotas de navegação*. 2º Seminário de transporte hidrovia interior. SOBENA, 2001.

PADOVEZI, C.D., VICTORIA JUNIOR, P., *Pontes sobre a hidrovia Tietê-Paraná: Questões relacionadas à segurança da navegação*. 2º Seminário de transporte hidrovia interior. SOBENA, 2001.

PADOVEZI, C.D., *Conceito de embarcações adaptadas à via aplicado à navegação fluvial no Brasil*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. São Paulo, 2003.

PAMPLONA, E.O., *Avaliação qualitativa de cost drivers pelo método AHP*. VI ABCustos. São Paulo, SP, Julho de 1999.

PÊGO, J., LIENHART, H., DURST, F. BRADRAN, O., *Construction of a test facility for the research of ship propulsion systems*. Emirates Journal for Engineering Research, 10 (2), 1-8. 2005.

PEREIRA, N. N.; BRINATI, H. L., CHIES, L., *Aspectos Ambientais Relacionados com o Transporte de Álcool Destinado à Exportação por Rodovia e Hidrovia na Região Centro-Oeste do Estado de São Paulo*. Artigo aceito para publicação. 2º Congresso Luso Brasileiro - Pluris, 2006.

PEREIRA, N. N.; BRINATI, H. L., OLIVEIRA, S. C., *Análise do impacto ambiental na operação de embarcações e caminhões na área de influência da hidrovia Tietê-Paraná no transporte de álcool destinado a exportação*. Environmental and Health World Congress - EHWC 2006. Santos. pp. 569-573. 2006.

PEREIRA, N. N.; BRINATI, H. L., *Propulsão Diesel-elétrica uma ferramenta para redução de gases lançados à atmosfera oriundos de embarcações marítimas*. Environmental and Health World Congress - EHWC 2006. Santos. pp. 543-547. 2006.

PEREIRA, N. N.; SAMPAIO, C. M. P. *Proposta de implantação de transporte de álcool pela hidrovia Tietê-Paraná*. Anais do 4o. Seminário de Transportes e Desenvolvimento Hidroviário Interior. SOBENA, Belém, 2005.

PERMANENT INTERNACIONAL ASSOCIATION OF NAVIGATION CONGRESSES – PIANC, *Canadian Coast Guard*. Disponível em: <http://www.ccg-gcc.gc.ca/mns-snm/pubs/waterguide1201/index_e.htm> Acesso em: 20/03/2006.

PETRY, B., *Hidrovias interiores e sua sustentabilidade – Questões conceituais atuais*. Anais do 3o. Seminário de Transportes e Desenvolvimento Hidroviário Interior. SOBENA, Corumbá, 2003.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, *Alternative motor fuels today and tomorrow*. IFP Research and Development, Training and Information for Sustainable development in the fields of energy, transport and environment. France. 2006.

RIVA, J. C. T., *Sobrelarguras de vias navegáveis*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. 1983.

RIVA, J. C. T., *Intermodalidade de Transporte Hidrovia – Ferrovia: Opção Obrigatória para o Desenvolvimento Brasileiro*. Revista Portos e Navios. Março. 1990.

RIVA, J. C. T., *Considerações técnicas e operacionais sobre a potência propulsiva e condições de governo e manobra de comboios fluviais*. Relatório técnico. CESP, 2000.

ROCHA, M.T., *Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT*. Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, da Universidade de São Paulo. Departamento de Economia Aplicada. São Paulo. 2003.

SAATY, T. L., *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill International Book Company, USA, 1980.

SANTANA, W.A.; *Avaliação do potencial de transporte da hidrovia Tietê-Paraná*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. 2002.

SANTANA, W.A.; TACHIBANA, T., *Propostas de metodologias técnico-ambientais para o desenvolvimento do transporte comercial de derivados de petróleo e GLP*

nas hidrovias brasileiras. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES., Florianópolis, 2005.

SANTANA, W.A., TACHINABANA, T., *Propostas de metodologias técnico-ambientais para o transporte comercial de cargas nas hidrovias brasileiras*. Anais do 3º Seminário de Transporte Hidroviários Interior, Corumbá, Mato Grosso do Sul, 2003.

SCANDIFFIO, M.I.G., *Análise prospectiva do alcool combustivel no Brasil - cenarios 2004-2024*. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas . Faculdade de Engenharia Mecânica. São Paulo. 2005.

SHIP AND BOAT INTERNATIONAL. *Europe yards show variety. But can it last?*. The royal Institution of Naval Architects. July/August. 2003

SHMAKOV, M.G., *Steering equipment of inland waterway vessels*. SUDOSTROENIYE, Nº 5, May. pp. 21-27. 1973. English translation. Latorre *et al.* (1982).

SIMPSON, R.R., *Full electric propulsion system selection for minimum cost of ownership*. Proceedings of AES'97 (All Electric Ship), Paris, Março, 1997.

SOLER, A.L.R.; MIRANDA, S. L. C., *Sistema Elétrico de Propulsão Naval*. Relatório Final, EPUSP, 1997.

SASAKI, N., LAPIO, J., FARGERSTROM, B., JUURMAA, K., *Model test of ice going acting Aframax tanker*. Proc. Of 7th Canadian Marine Hydrodynamics and Structure Conference. Vancouver, Canadá.

TASCHETTO, A. S., *O impacto dos gases estufa nas variáveis de superfície ar-mar através de um modelo acoplado de circulação geral*. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico. Departamento de Oceanografia Física. São Paulo, 2001.

TACHINABANA, T., CALTABELOTI O., GARCIA, F.C.V. *Integrated system for inland transportation in Tietê-Paraná waterway*. The six international symposium on practical design of ships and mobile units. Set. 17-22. pp. 2.1501-2.1513. 1995.

UEDA, N., OSHIMA, A., UNSEKI, T., FUJITA, S., TAKEDA, S., KITAMURA, T., *The first hybrid CRP-POD driven fast ROPAX ferry in the world*. Disponível em: <<http://www.mhi.co.jp/tech/pdf/e416/e416338.pdf>> Acesso em: 30/05/2006.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO – ÚNICA, *Informação Única*. São Paulo, Jan. 2006.

U.S. COAST GUARD, *Bush Bluff Light Vessel [No. 97] - Lighthouse Service Bulletin II*. 15 March. pp. 65-66. 1919. Disponível em: <<http://www.uscg.mil>>. Acesso em: 10/05/2006.

VACON, *Vacon propulsion on Airbus A380 inland waterway RO-RO vessel*. Disponível em: < http://www.marine.vacon.com/_FileRoot/265707.pdf> Acesso em: 20/05/2006.

VASCONCELOS, L.A. *Avaliação do derramamento de óleo de chatas-tanque através do método probabilístico*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. 2005.

WILGENHOF, J.D., STAPERSMA, D., *Savings in installed power, fuel consumption and emissions with electric propulsion*. Proceedings of AES'97 (All Electric Ship), Paris, Março, 1997.

WOODWARD, M.D., CLARKE, D., ATLAR, M. WEEDE, H., TRÄGARDH, P., KANAR, J., HELASHARJU, H., LAAMANEN, T., VAROMA, M., VAN BERLEKOM, W., HANSSON, H., MAGNUSSON, K., ALLENSTÖM, B., *Final Non-Confidential report on safety and risk analysis*. University of Newcastle, EU RTD FP5 OPTIPOD. 2002.

WOODWARD, M.D., ALTAR, M., *Pods – Guidance for the practicing Naval Architect*. Proc. ImarEST, J. of Marine Design and Operation N° B9 2005/6 ISSN 1476-1556. 2005.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES

ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA SÃO FRANCISCO - AHSFRA, *Impacto Ambiental*. Disponível em: <<http://ahsfra.gov.br>> Acesso em 10/02/2006.

ANDRADE, D.A., *Controle eletrônico de motores*. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de engenharia elétrica. Programa de pós-graduação em engenharia elétrica. pp. 1-44. 2006.

ANDRADE, D.A., *Acionamento de máquinas elétricas*. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de engenharia elétrica. Programa de pós-graduação em engenharia elétrica. pp. 1-7. 2006.

ANDRADE, D.A., *Sistemas de controle*. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de engenharia elétrica. Programa de pós-graduação em engenharia elétrica. pp. 1-15. 2006.

ANDRADE, D.A., *Introdução à máquina síncrona*. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de engenharia elétrica. Programa de pós-graduação em engenharia elétrica. pp. 1-14. 2006.

BALAU, J.A.C., *Comboios fluviais integrados – método de cálculo de potência do empurrador*. Divisão de engenharia e oceânica. Agrupamento de projeto naval. IPT. São Paulo. 1983.

BALAU, J.A.C., STANDERSKI, N.B., SCIEDLARCZYK, A.S., *Programa de economia de combustível para comboios fluviais*. Divisão de engenharia e oceânica. Agrupamento de projeto naval. IPT. São Paulo. 1983.

BALDAUF, M., BENEDICT K., FELSENSTEIN C., KIRCHHOFF M., HERBERG S., *Example for inland waterway design investigations with wind impact in shiphandling simulator and computer-based assessment of the results*. Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek. 2004. Disponível em: <http://watlab.lin.vlaanderen.be/imsf/papers/paper12_benedict.pdf> Acesso em: 200/03/2006.

BELCHIOR, C.R.P., *Um estudo sobre vibrações torcionais em instalações propulsoras e auxiliares marítimas*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo. São Paulo, 1982.

BUSHKOVSKY, V.A., FROLOVA, I.G., KAPRANTSEV, S.V., PUSTOSHNY, A.V., VASILJEV, A.V., JAKOVLEV, A.J., VEIKONHEIMO, T., *On the Design of a Shafted Propeller Plus Electric thruster Contra-Rotating Propulsor Complex*, 1st TPOD, Newcastle upon Tyne, UK. 2004.

BRINATI, M. A., BOTTER, R. C.; ROQUE, J. R. R; SOUZA, C. L. S. P. *Modelo de Simulação para Avaliação de um Sistema Integrado de Transporte de Álcool e Óleo Diesel na Região de Influência da Hidrovia Tietê-Paraná*. Anais do Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, SOBENA, Rio de Janeiro. 1988.

CARR, R., *Ninety Years of Engineering The Story Of Davey, Paxman & CO LTD*. Disponível em: [http:// www.nelmes.fsnet.co.uk](http://www.nelmes.fsnet.co.uk). Acesso em: 15/05/2006.

CARUSO, R. C., *Análise da Oferta e Demanda de Açúcar no Estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, da Universidade de São Paulo. Departamento de Economia Aplicada. São Paulo. São Paulo. 2002.

CINCO COMPANHIA INTERAMERICANA DE NAVEGAÇÃO E COMÉRCIO,
*Seminário internacional de infra-estrutura multimodal hidrovias Paraguai-Paraná
 tecnologia de navegação*. Cárceres, 2005.

COSTA, L.S.S., *As hidrovias interiores no Brasil*. Fundação de Estudos do Mar –
 FEMAR, 2º ed. pág. 195-139, 2001.

GODOY, Z. A.L., *Agronegócio e estrutura de governança no caso de um terminal
 hidroviário da região de fronteira*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal
 de Mato Grosso do Sul, Universidade de Brasília e a Universidade Federal de Goiás.
 Mato Grosso do Sul, Brasília, Goiás, 2005.

HADLER, J.B., MORGAN, W.B., MEYERS, K.A., *Advanced propeller propulsion for
 high – powered single-screw ships*. Transactions of the society of naval architects
 and marine engineers. 1964.

HIRATA. K., PADOVEZI, C.D., *Escolha e projeto de propulsores*. Congresso nacional
 de transportes marítimos e construção naval, Sobena, Rio de Janeiro, 1983.

HIRATA. K., *Hidrodinâmica do Navio I.: Notas de aulas*. FATEC-JH. 1991.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC *Anticipated
 Climate Changes in a High-CO₂ World: Implications for Long-Term Planning*.
 Seminário USGCRP. Setembro. 1997.

KING, B. W., *Propulsion system*. ELLIOTT BAY DESIGN GROUP, April. pp. 1-9.
 1998.

MARBURY, F., *Least-energy operation of river shipping*. Marine Technology, Vol. 16,
 Nº, 2. April, pp.136-155. 1979.

- MARJOTTA-MAISTRO, M. C., *Ajustes Mercados de Álcool e Gasolina no Processo de Desregulamentação*. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, da Universidade de São Paulo. Departamento de Economia Aplicada. São Paulo. São Paulo. 2002.
- MAYNORD, S.T., *Power Speed for shallow draft navigation*. *Jornal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*. March/April. pp. 103-106. 2000.
- PADOVEZI, C.D., *Propulsores de embarcações fluviais de carga*. 15º Congresso nacional de transportes marítimos e construção naval. Rio de Janeiro. Set.1994.
- POLIMIO, J.A., *Eletrônica de potência*. Cap. 10. Apostila de pós-graduação. UNICAMP/FEEC/DSCE. 2006. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/>>. Acesso em: 22/05/2006.
- Radan, D., *Power Electronic Converter for Ship Propulsion Electro Motors*, Tech. Report, Department of Marine Technology, project: Energy-Efficient All Electric Ship, NTNU, Trondheim, Norway, 2004.
- REZENDE, J.H., ZONZINI F.R., *Gestão ambiental em empreendimentos hidroviários e náuticos: ferramenta de apoio à decisão*. Anais do 4o. Seminário de Transportes e Desenvolvimento Hidroviário Interior. SOBENA, Belém, 2005.
- RIVA, J. C. T., *Cálculo de potência*. Escola Politécnica da USP. Departamento de engenharia naval . Notas de aulas. Março. 1980.
- ROORDA, E.M.N., *Small seagoing craft and vessels for inland navigation*. Tech. publ. Company. Holland. 1957.

SAUER, I., *Usos finais de energia. Tecnologia, processos e tendências*. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

SAUNDERS, H.E., *Hydrodynamics in ship design*. New York, SNAME, 1957. v.2. 1975.

VARIS, J., *CRP AZIPOD Propulsion Operational. Experience*. Conference Papers of The Motor Ship's 27th Annual Marine Propulsion Conference, Bilbao, p. 57-70. 2005.

YBARRA, L.A.C., *Pesquisa Operacional; conceitos básicos e definições*. Disponível em: < <http://phpmetar.incubadora.fapesp.br/>>. Acesso em: 20/01/2007.