

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM NAVIOS:  
ESTUDO DE CASO EM UM NAVIO PATRULHA DA MARINHA DO BRASIL

SUZANE CRUZ DE AQUINO

DM 22/2016

UFPA / ITEC / PPGEE Campus  
Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

SUZANE CRUZ DE AQUINO

AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM NAVIOS:  
ESTUDO DE CASO EM UM NAVIO PATRULHA DA MARINHA DO BRASIL

DM 22/2016

UFPA / ITEC / PPGEE Campus  
Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

SUZANE CRUZ DE AQUINO

AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM NAVIOS:  
ESTUDO DE CASO EM UM NAVIO PATRULHA DA MARINHA DO BRASIL

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Sistemas de Potência.

UFPA / ITEC / PPGEE Campus  
Universitário do Guamá  
Belém-Pará-Brasil  
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Aquino, Suzane Cruz de , 1990-

Ações de eficiência energética em navios: estudo de caso em um navio patrulha da marinha do Brasil / Suzane Cruz de Aquino. - 2016.

Orientadora: Maria Emília de Lima Tostes;

Coorientador: Hito Braga Moraes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2016.

1. Energia elétrica - consumo - aspectos econômicos. 2. Navios - consumo de energia. I. Título.

CDD 23. ed. 333.7932

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM NAVIOS:  
ESTUDO DE CASO EM UM NAVIO PATRULHA DA MARINHA DO BRASIL

AUTORA: SUZANE CRUZ DE AQUINO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE SISTEMAS DE POTÊNCIA.

APROVADA EM \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA:

---

Profa. Dra. Maria Emília de Lima Tostes  
(ORIENTADORA – UFPA)

---

Prof. Pós Dr. Hito Braga de Moraes  
(CO-ORIENTADOR – UFPA)

---

Prof. Dr. João Paulo Abreu Vieira  
(MEMBRO – INTERNO)

---

Profa. Dra. Carminda Célia Moura de Moura Carvalho  
(MEMBRO – EXTERNO)

VISTO:

---

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes  
(COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, por dar-me o dom da vida e sustentar-me a cada dia com a Sua infinita graça e amor me conduzir.

Agradeço aos meus pais, Jorge Luiz Carvalho de Aquino e Suzete Cruz de Aquino, por me nutrirem com bons momentos e ensinamentos passados, desde a infância no sítio até a vida adulta. Por torcerem pelo meu sucesso e me abençoarem com o seu amor incondicional.

À todos os meus familiares, em especial ao meu irmão Igor Cruz de Aquino, pelo carinho e cuidado no decorrer das nossas vidas.

Agradeço à minha querida noiva, Flavia Pessoa Monteiro, por todo o apoio, suporte e paciência que todos os dias me têm tão amorosamente expressado. À todos os seus familiares, por me incluírem tão docemente na família Pessoa Monteiro e mostrarem que também posso-lhes chamar de família.

À minha orientadora, Maria Emília de Lima Tostes e meu co-orientador Hito Braga de Moraes por acreditarem em mim e investirem tempo na minha formação.

Ao CEAMAZON e todos os seus integrantes, em especial para o professor Ubiratan Holanda Bezerra, por me acolherem desde a graduação.

Aos ilustres membros da banca examinadora professora Carminda Célia Moura de Moura Carvalho e o professor João Paulo Abreu Vieira por aceitarem participar deste importante momento da minha vida.

E às minhas amigas, que são as irmãs que a vida me permitiu escolher, Ágatha Cidral, Jéssica Nascimento, Evelin Cardoso, Ingrid Nascimento e Thayenny Cavalcante por todos os sorrisos e lágrimas compartilhadas.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	CONTEXTO HISTÓRICO.....	1
1.2	MOTIVAÇÃO DO ESTUDO.....	7
1.3	OBJETIVOS.....	11
1.3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.4	METODOLOGIA.....	12
1.5	ESCOPO DO TRABALHO.....	13
2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM NAVIOS.....	15
2.1	MÁQUINAS – GERAÇÃO DE ENERGIA.....	15
2.2	PROPULSÃO - CONJUNTO PROPULSOR E SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO..	17
2.3	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.....	18
2.4	LOGÍSTICA E ROTAS.....	19
3	ESTUDO DE CASO:.....	23
	NAVIO PATRULHA GUARUJÁ.....	23
3.1	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS.....	23
3.2	CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS.....	24
3.3	BD MOTOR.....	28
3.4	RETSCREEN.....	29
3.5	OBJETOS DE ESTUDO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	31
3.6	METODOLOGIA.....	45
4	AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:.....	47
	LÂMPADAS.....	47
4.1	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	48
4.1.1	INCANDESCENTES.....	52
4.1.2	HALÓGENA.....	55
4.1.3	FLUORESCENTES COMPACTAS.....	58
4.1.4	FLUORESCENTES TUBULARES – 15 W.....	61
4.1.5	FLUORESCENTE TUBULAR – 20 W.....	64
4.2	CONJUNTO DE LÂMPADAS AVALIADAS.....	67
5	AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:.....	74
	MOTORES ELÉTRICOS.....	74
5.1	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	75
5.1.1	MOTORES – BOMBAS CHILLWATER.....	75
5.1.2	MOTORES – VENTILADORES DOS CONDICIONADORES DE AR.....	80
5.1.3	MOTORES – COMPRESSORES DOS CONDICIONADORES DE AR.....	85
5.2	SISTEMA DE SALVAMENTO.....	90

5.3	GERADOR AUXILIAR - VENTILADOR.....	93
5.4	CÂMARA FRIGORÍFICA.....	95
5.4.1	VENTILADOR – CÂMARA FRIGORÍFICA.....	96
5.4.2	COMPRESSORES – CÂMARA FRIGORÍFICA.....	100
5.5	CONJUNTO DOS MOTORES VIÁVEIS AVALIADOS - RETSCREEN.....	105
6	CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES E.....	109
	RECOMENDAÇÕES.....	109
6.1	CONCLUSÕES.....	109
6.2	CONTRIBUIÇÕES.....	110
6.3	RECOMENDAÇÕES.....	111

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Titanic [2].....	2
<b>Figura 1.2.</b> Tráfego de embarcações pelo mundo [3].....	3
<b>Figura 1.3.</b> Cougar Ace adernado em aproximadamente 80° [5].....	4
<b>Figura 1.4.</b> Tabela de emissões Tier I, II e III [6].....	5
<b>Figura 1.5.</b> Áreas de Controle de Emissões (ECA – IMO) [7].....	6
<b>Figura 1.6.</b> Limites de SOx – MARPOL [1].....	7
<b>Figura 1.7.</b> Rotulagem individual [8].....	9
<b>Figura 3.1.</b> Navio Patrulha Guarujá.....	22
<b>Figura 3.2.</b> Casa de máquinas P-49.....	24
<b>Figura 3.3.</b> Coluna B.....	25
<b>Figura 3.4.</b> Desenho de luminárias incandescentes e fluorescentes presentes no manual técnico das luminárias do navio Guarujá feito em 1997.....	30
<b>Figura 3.5.</b> Unidade do Sistema de Refrigeração.....	31
<b>Figura 3.6.</b> Motor Chillwater em uso - BD Motor.....	33
<b>Figura 3.7.</b> Motor Chillwater novo - BD Motor.....	33
<b>Figura 3.8.</b> Motor Ventilador do Ar Condicionado em uso - BD Motor.....	35
<b>Figura 3.9.</b> Motor Ventilador do Ar Condicionado novo - BD Motor.....	35
<b>Figura 3.10.</b> Motor em uso Compressor do Ar Condicionado - BD Motor.....	37
<b>Figura 3.11.</b> Motor novo Compressor do Ar Condicionado - BD Motor.....	37
<b>Figura 3.12.</b> Bomba de incêndio do P-49.....	39
<b>Figura 3.13.</b> Motor em uso do Ventilador do Gerador Auxiliar - BD Motor.....	39
<b>Figura 3.14.</b> Motor novo do Ventilador do Gerador Auxiliar - BD Motor.....	40
<b>Figura 3.15.</b> Motor em uso dos Compressores da Câmara Frigorífica - BD Motor.....	41
<b>Figura 3.16.</b> Motor novo dos Compressores da Câmara Frigorífica - BD Motor.....	42
<b>Figura 5.1.</b> Análise BD Motor – Diesel – Bomba Chillwater.....	74
<b>Figura 5.2.</b> Análise BD Motor – SIN – Bomba Chillwater.....	75
<b>Figura 5.3.</b> Análise BD Motor – Diesel – Ventilador Ar Condicionado.....	79
<b>Figura 5.4.</b> Análise BD Motor – SIN – Ventiladores Ar Cond.....	79
<b>Figura 5.5.</b> Análise BD Motor – Diesel – Compressor Ar Condicionado.....	83
<b>Figura 5.6.</b> Análise BD Motor – SIN – Compressor Ar Cond.....	84
<b>Figura 5.7.</b> Análise BD Motor – Diesel – Bomba de Incêndio.....	88
<b>Figura 5.8.</b> Análise BD Motor – SIN – Bomba de Incêndio.....	89
<b>Figura 5.9.</b> Análise BD Motor – Diesel – Ventilador Ar Condicionado.....	92
<b>Figura 5.10.</b> Análise BD Motor – Diesel – Ventilador Câmara frigorífica.....	94
<b>Figura 5.11.</b> Análise BD Motor – SIN – Ventilador Câmara Frigorífica.....	95
<b>Figura 5.12.</b> Análise BD Motor – Diesel – Compressor Câmara Frigorífica.....	99
<b>Figura 5.13.</b> Análise BD Motor – SIN – Compressor Câmara Frigorífica.....	99

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1.</b> Limites de SO <sub>x</sub> – MARPOL [1].....	6
<b>Tabela 1.2.</b> EEDI [8].....	8
<b>Tabela 3.1.</b> Relação das lâmpadas do navio P-49 analisadas.....	30
<b>Tabela 3.2.</b> Referências das Bombas Chillwater e de seus motores.....	32
<b>Tabela 3.3.</b> Dados técnicos dos Motores das bombas Chillwater encontrados no P-49.....	32
<b>Tabela 3.4.</b> Dados obtidos em teste no ato da compra dos motores das bombas Chillwater em 1997.....	32
<b>Tabela 4.1.</b> Relação dos custos mensais por lâmpada do navio.....	46
<b>Tabela 4.2.</b> Relação dos custos anuais por lâmpada LED.....	46
<b>Tabela 4.3.</b> Relação da vida útil por lâmpada.....	47
<b>Tabela 4.4.</b> Investimento das lâmpada de LED.....	47
<b>Tabela 4.5.</b> Tempo de retorno - economia de combustível.....	48
<b>Tabela 4.6.</b> Lâmpadas incandescentes – Diesel - RETScreen.....	49
<b>Tabela 4.7.</b> Lâmpadas incandescentes – SIN - RETScreen.....	50
<b>Tabela 4.8.</b> Resultados parciais – Incandescentes - RETScreen.....	51
<b>Tabela 4.9.</b> Lâmpada Halógena - RETScreen.....	52
<b>Tabela 4.10.</b> Lâmpada Halógena - RETScreen.....	52
<b>Tabela 4.11.</b> Resultados parciais – Halógena - RETScreen.....	55
<b>Tabela 4.12.</b> Lâmpadas Fluorescentes Compactas - RETScreen.....	55
<b>Tabela 4.13.</b> Lâmpadas Fluorescentes Compactas - RETScreen.....	56
<b>Tabela 4.14.</b> Resultados parciais – Fluorescentes Compactas - RETScreen.....	58
<b>Tabela 4.15.</b> Lâmpadas Fluorescentes Tubulares 15 W - Diesel - RETScreen. .	59
<b>Tabela 4.16.</b> Lâmpadas Fluorescentes Tubulares 15 W - RETScreen.....	60
<b>Tabela 4.17.</b> Resultados parciais – Fluorescentes Tubulares 15 W - RETScreen	61
<b>Tabela 4.18.</b> Lâmpadas Fluorescentes Tubulares 20 W - RETScreen.....	62
<b>Tabela 4.19.</b> Lâmpadas Fluorescentes Tubulares 20 W - RETScreen.....	63
<b>Tabela 4.20.</b> Resultados parciais – Fluorescentes Tubulares 20 W - RETScreen	64
<b>Tabela 4.21.</b> Conjunto de lâmpadas - Diesel- RETScreen.....	66
<b>Tabela 4.22.</b> Conjunto de lâmpadas – SIN - RETScreen.....	67
<b>Tabela 4.23.</b> Resultados para todas as lâmpadas - RETScreen.....	68
<b>Tabela 4.24.</b> Resultados para as lâmpadas viáveis - RETScreen.....	68
<b>Tabela 5.1.</b> Análise RETScreen – Diesel – Bomba Chillwater.....	75
<b>Tabela 5.2.</b> Análise RETScreen – SIN – Bomba Chillwater.....	76
<b>Tabela 5.3.</b> Tempo de retorno do investimento – Motor Bomba Chillwater.....	78
<b>Tabela 5.4.</b> Análise RETScreen – Diesel – Ventilador Ar Cond.....	80
<b>Tabela 5.5.</b> Análise RETScreen – SIN – Ventilador Ar Cond.....	81
<b>Tabela 5.6.</b> Tempo de retorno do investimento – Motor Ventilador Ar Cond.....	82
<b>Tabela 5.7.</b> Análise RETScreen – Diesel – Compressor Ar Cond.....	85
<b>Tabela 5.8.</b> Análise RETScreen – SIN – Compressor Ar Cond.....	86
<b>Tabela 5.9.</b> Tempo de retorno do investimento – Motor Compressor Ar Cond....	87
<b>Tabela 5.10.</b> Análise RETScreen – Diesel – Bomba de Incêndio.....	89
<b>Tabela 5.11.</b> Análise RETScreen – SIN – Bomba de Incêndio.....	90
<b>Tabela 5.12.</b> Análise RETScreen – Diesel – Ventilador Gerador Auxiliar.....	92
<b>Tabela 5.13.</b> Análise RETScreen – Diesel – Ventilador Câmara Frigorífica.....	95
<b>Tabela 5.14.</b> Análise RETScreen – SIN – Ventilador Câmara Frigorífica.....	96
<b>Tabela 5.15.</b> Tempo de retorno do investimento – Motor Ventilador Câmara frigorífica.....	98
<b>Tabela 5.16.</b> Análise RETScreen – Diesel – Compressor Câmara Frigorífica. .	100

<b>Tabela 5.17.</b> Análise RETScreen – SIN – Compressor Câmara Frigorífica.....	101
<b>Tabela 5.18.</b> Tempo de retorno do investimento – Motor Compressor Ar Cond.	102
<b>Tabela 5.19.</b> Conjunto de motores viáveis – Diesel - RETScreen.....	103
<b>Tabela 5.20.</b> Conjunto de motores viáveis – SIN - RETScreen.....	104
<b>Tabela 5.21.</b> Resultados – Motores Viáveis - RETScreen.....	104
<b>Tabela 5.22.</b> Resultados para os motores viáveis - RETScreen.....	105
<b>Tabela 6.1.</b> Economia e tempo de retorno dos equipamentos viáveis.....	108

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 3.1.</b> Dados dos motores analisados para a análise energética – Bombas Chillwater.....	34
<b>Gráfico 3.2.</b> Dados dos motores analisados – Ventilador do Ar Cond.....	36
<b>Gráfico 3.3.</b> Dados dos motores analisados para a análise energética – Compressor do Ar Condicionado.....	38
<b>Gráfico 3.4.</b> Dados dos motores analisados para a análise energética – Ventilador do Gerador Auxiliar.....	40
<b>Gráfico 3.5.</b> Dados dos motores analisados para a análise energética – Compressor da Câmara Frigorífica.....	42
<b>Gráfico 4.1.</b> Fluxo de caixa acumulado – Incandescentes - Diesel.....	49
<b>Gráfico 4.2.</b> Fluxo de caixa acumulado – Incandescentes - SIN.....	51
<b>Gráfico 4.3.</b> Gráfico 4.3 – Fluxo de caixa acumulado - Halógena.....	53
<b>Gráfico 4.4.</b> Fluxo de caixa acumulado – Halógena.....	54
<b>Gráfico 4.5.</b> Fluxo de caixa acumulado - Diesel – Fluorescente Compacta.....	56
<b>Gráfico 4.6.</b> Fluxo de caixa acumulado – SIN - Fluorescentes Compactas.....	57
<b>Gráfico 4.7.</b> Fluxo de caixa acumulado – Fluorescente Tubular 15 W.....	59
<b>Gráfico 4.8.</b> Fluxo de caixa acumulado – Fluorescente Tubular 15 W.....	60
<b>Gráfico 4.9.</b> Fluxo de caixa acumulado – Fluorescente Tubular 20 W.....	62
<b>Gráfico 4.10.</b> Fluxo de caixa acumulado – Fluorescente Tubular 20 W.....	64
<b>Gráfico 4.11.</b> Fluxo de caixa acumulado sem fatores econômicos – lâmpada fluorescente tubular 20 W.....	65
<b>Gráfico 4.12.</b> Fluxo de caixa acumulado - Conjunto de lâmpadas - Diesel- RETScreen.....	66
<b>Gráfico 4.13.</b> Fluxo de caixa acumulado - Conjunto de lâmpadas - SIN- RETScreen.....	67
<b>Gráfico 4.14.</b> Gráficos de Fluxos de caixa (a) diesel e (b) SIN.....	69
<b>Gráfico 4.15.</b> Fluxo de caixa 'Diesel' (a) e 'SIN' (b) sem inflação nem reajuste de combustível – Conjunto de lâmpadas Conjunto de lâmpadas.....	70
<b>Gráfico 4.16.</b> Reduções das emissões por lâmpada estudada.....	71
<b>Gráfico 5.1.</b> Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Motor Bomba Chillwater.....	76
<b>Gráfico 5.2.</b> Fluxo de caixa acumulado – SIN – Motor Bomba Chillwater.....	77
<b>Gráfico 5.3.</b> Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Ventilador Ar Cond.....	80
<b>Gráfico 5.4.</b> Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Ventilador Ar Cond.....	81
<b>Gráfico 5.5.</b> Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Compressor Ar Cond.....	85
<b>Gráfico 5.6.</b> Fluxo de caixa acumulado – SIN– Compressor Ar Cond.....	86
<b>Gráfico 5.7.</b> Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Motor Bomba de incêndio.....	90
<b>Gráfico 5.8.</b> Fluxo de caixa acumulado – SIN – Motor Bomba de Incêndio.....	91
<b>Gráfico 5.9.</b> Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Ventilador Gerador Auxiliar.....	93
<b>Gráfico 5.10.</b> Fluxo de caixa acumulado - Diesel - Ventilador Câmara Frigorífica..	96
<b>Gráfico 5.11.</b> Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Ventilador Câmara Frigorífica	97
<b>Gráfico 5.12.</b> Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Compressor Câmara Frigorífica.....	100
<b>Gráfico 5.13.</b> Fluxo de caixa acumulado – SIN – Compressor Câmara Frigorífica.....	101
<b>Gráfico 5.14.</b> Fluxo de caixa acumulado – Motores Viáveis – Diesel – RETScreen.....	103
<b>Gráfico 5.15.</b> Fluxo de caixa acumulado – Motores Viáveis – SIN – RETScreen.	104
<b>Gráfico 5.16.</b> Reduções das emissões por motor viável.....	106

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>EE</b>	Eficiência Energética
<b>IMO</b>	International Maritime Organization
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>SOLAS</b>	International Convention for the Safety Of Life At Sea
<b>COLREG</b>	Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea
<b>STCW</b>	International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers
<b>MARPOL</b>	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
<b>EIAPR</b>	Engine Internacional Air Pollution Prevention
<b>ECA</b>	Emission Control Areas
<b>MFO</b>	Heavy Fuel Oil
<b>EEDI</b>	Energy Efficiency Design Index
<b>EEIO</b>	Energy Efficiency Operational Index
<b>SEEMP</b>	Ship Energy Efficiency Management Plan
<b>EVDI</b>	Existing Vessel Design Index
<b>CBDR</b>	Common But Differentiated Responsibilities
<b>ANTAQ</b>	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
<b>SEP/PR</b>	Secretaria de Portos da Presidência da República
<b>CONIT</b>	Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte
<b>PNLT</b>	Plano Nacional de Logística e Transportes
<b>SINAVAL</b>	Sindicato Nacional da Indústria de Construção e Reparação Naval e Offshore
<b>LED</b>	Light Emitting Diode
<b>USV</b>	Unmanned Surface Vehicle
<b>LNG</b>	Liquified Natural Gas
<b>WHRS</b>	Waste Heat Recovery System
<b>HED</b>	Derived Hybrid Electric Drive
<b>INACE</b>	Industria Naval do Ceará S/A
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>PCA</b>	Painel de Controle Auxiliar
<b>MCP</b>	Motor de Combustão Principal
<b>CLP</b>	Controlador Lógico Programável

## GLOSSÁRIO

Estabilidade	Capacidade da embarcação de voltar à posição de equilíbrio inicial quando perturbada temporariamente (movimento da carga, rajada ou onda), ou atingir a uma nova condição de equilíbrio final aceitável quando perturbada continuamente (vento, avaria, etc)
Catamarã	Embarcação leve formada por dois cascos independentes e paralelos, ligados entre si por peças transversais, formando estrutura sobre a qual se monta uma plataforma que pode conter uma cabine; pode ser a vela ou a motor.
Porta-Container	concebido especificamente para o transporte de contentores, os porões são equipados com guias ou celas, para receber e estivar os contentores "à medida", agilizando as operações de carga e descarga
Comprimento total	Distância entre as partes salientes dos elementos do navio que se estendam para a vante ou a ré do casco,
Comprimento entre perpendiculares	Distância medida na linha de água entre as perpendiculares a vante e a ré;
Boca moldada	Largura do navio;
Pontal moldado	Distância vertical entre o convés (linha reta do vau) e a quilha;
Calado carregado	Distância vertical entre a linha de água e a face inferior da quilha ou do apêndice do navio que se prolonga mais abaixo da linha de água;
Cavernas	Peças curvas que se fixam na quilha em direção perpendicular a ela e que servem para dar forma ao casco e sustentar o chapeamento exterior. (Arte Naval) Centro de carena, de empuxo, ou de volume: (CC) É o centro de gravidade do volume da água deslocado por um navio. É o ponto de aplicação da força chamada empuxo. Quando o navio estiver aprumado este ponto encontra-se na linha definida pela intersecção do plano diametral com o plano transversal da embarcação. O centro de carena estará num ponto desta linha, sempre abaixo da linha d'água.
Deslocamento	Deslocamento carregado mas sem o peso correspondente a metade das dotações de combustível e de água de reserva das caldeiras;

## RESUMO

Devido à crescente preocupação com o meio ambiente, a IMO (International Maritime Organization), através da MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), criou a primeira norma obrigatória do setor sobre a eficiência energética dos navios, buscando a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e de custos relacionados ao consumo de energia. Esta dissertação tem como objetivo propor uma metodologia de medidas de eficiência energética em navios, aplicando-a a um navio patrulha da Marinha do Brasil. O navio analisado, o P-49 ou Guarujá, é uma embarcação de 19 anos, sendo também a idade de quase todos os equipamentos que o compõem. O Guarujá possui o sistema de propulsão totalmente isolado eletricamente da geração de energia elétrica, então, os sistemas alvo dessa pesquisa foram aqueles com maior demanda de energia elétrica: o sistema de iluminação, de refrigeração, de geração de energia elétrica, de salvamento e as câmaras frigoríficas. No entanto, as informações disponíveis dos sistemas acima citados se mostraram escassas, assim, explorou-se apenas as lâmpadas e alguns motores elétricos de bombas, compressores e ventiladores. As ações propostas para os equipamentos disponíveis a verificação foram 1 - a troca das lâmpadas do caso referência por lâmpadas LED; e 2 - a substituição dos motores elétricos por exemplares similares de maior rendimento. As medidas foram analisadas financeira e ambientalmente através do software RETScreen, importante ferramenta para estudos em eficiência energética e fontes renováveis desenvolvida pelo Governo do Canadá; com auxílio do simulador do PROCEL, o BD Motor, promovendo maior enfoque sobre os motores devido a sua complexidade e importância no ótimo funcionamento dos sistemas do navio. As ações se mostraram viáveis, com o tempo de retorno total de 2 anos, diminuindo a emissão de 164 toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera em 20 anos e economizando cerca de R\$ 352.974,80 ao fim da vida do projeto, justificando, assim, a sua execução.

**PALAVRAS-CHAVES:** Eficiência Energética, LED, Motores Elétricos, Navios.

## ABSTRACT

Due to growing concern about the environment, the IMO (International Maritime Organization), through MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), has developed the first mandatory regulation of the area about the energy efficiency of ships aiming the reduction of greenhouse gases emissions and costs related to energy consumption. This dissertation proposes a methodology of energy efficiency measures in a patrol ship of the Navy of Brazil. The analyzed ship, the P-49 or Guarujá, is a 19 years old vessel just as almost all its equipments. The Guarujá is electrically a isolated propulsion system from the power generation, then the target of this research were those systems with the highest electricity demand: the lighting system, cooling, electric power generation, saving and cold storages. However, the information available above those systems have proven scarce, thus it was exploited only the bulbs and some compressors and fan motors. The actions proposed to equipment available verification were 1. the exchange of the reference case bulbs with LED lamps; and 2. replacing the engines with similar specimens of higher yield. They were analyzed financially and environmentally by RETScreen software, an important tool for energy efficiency and renewable sources studies developed by the Government of Canada; with the aid of PROCEL simulator, BD Motor, promoting greater focus on the engines due to its complexity and significance in the optimal functioning of the ship's systems. The actions proved viable, with the total turnaround time of two years, reducing emissions by 164 tCO<sub>2</sub> in 20 years and saving about R\$ 352,974.80 at the end of the project time, thus justifying their implementation.

**KEYWORDS:** Energy Efficiency, LED Lamps, Electric Motors, Vessels.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

A preocupação com as fontes energéticas teve início na década de 70, com a crise do petróleo. A partir deste momento, a natureza finita da energia de origem fóssil foi apresentada ao mundo, ocasionando altas nos preços do petróleo e, conseqüentemente, instabilidade econômica. Paralelamente, em 1972, foi realizada a primeira reunião sobre o clima e o meio ambiente, em Estocolmo na Suécia, onde foi o início da formulação do conceito de Desenvolvimento Sustentável.

O rápido crescimento do consumo energético, suas conseqüências ambientais e a natureza finita das principais fontes da matriz energética mundial forçaram os governos e a comunidade científica a desenvolver estratégias alternativas às fontes fósseis para garantir o atendimento da demanda de energia mundial. Surgiram em pauta, então, o conceito de Eficiência Energética (EE) e o uso consciente da energia.

As ações em eficiência energética propõem a utilização da energia de modo racional, mantendo os níveis de conforto e a qualidade dos produtos e serviços com o mínimo consumo de energia e, portanto, menor agressão ao meio ambiente. Assim, as ações de EE compreendem modificações ou aperfeiçoamentos tecnológicos ao longo da cadeia, desde a geração de energia até a entrega do produto ou serviço final, mas podem também resultar de uma melhor organização, conservação e gestão energética por parte das fases e entidades que a compõem.

A Eficiência Energética deve, portanto, estar presente em todas as áreas de atuação da sociedade, desde o comércio até a prestação de serviços, principalmente pelos diversos setores industriais.

Na indústria naval, a principal entidade reguladora é a IMO (International

Maritime Orgazation), um organismo da Organização das Nações Unidas (ONU) formado com o intuito de se ocupar exclusivamente de assuntos marítimos, promovendo a segurança na navegação e a prevenção da poluição marítima. É de responsabilidade da IMO, portanto, assegurar a manutenção dos níveis de qualidade no meio ambiente marinho, preocupando-se com os dejetos sólidos, líquidos e gasosos nas áreas de tráfego naval. A IMO está presente no cotidiano marítimo para navios através das convenções SOLAS, COLREG, Load Line, STCW e MARPOL.

- **SOLAS**

De todas as convenções internacionais sobre a segurança marítima, a mais importante e respeitada é a International Convention for the Safety Of Life At Sea (SOLAS) ou Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar, cujo propósito é de ditar padrões mínimos para a construção de navios, a dotação de equipamentos de segurança e proteção e os procedimentos de emergência, a fim de assegurar a segurança do homem no ambiente marinho [1].

A convenção SOLAS é também a convenção internacional mais antiga sobre esse tema, tendo a sua primeira versão adotada depois do acidente marítimo mais conhecido do mundo, aquele ocorrido como Titanic, onde houve a perda de mais de 1500 vidas, ilustrado na Figura 1.1.

Figura 1.1 Titanic [2].



Fonte: Wikipédia, 2016

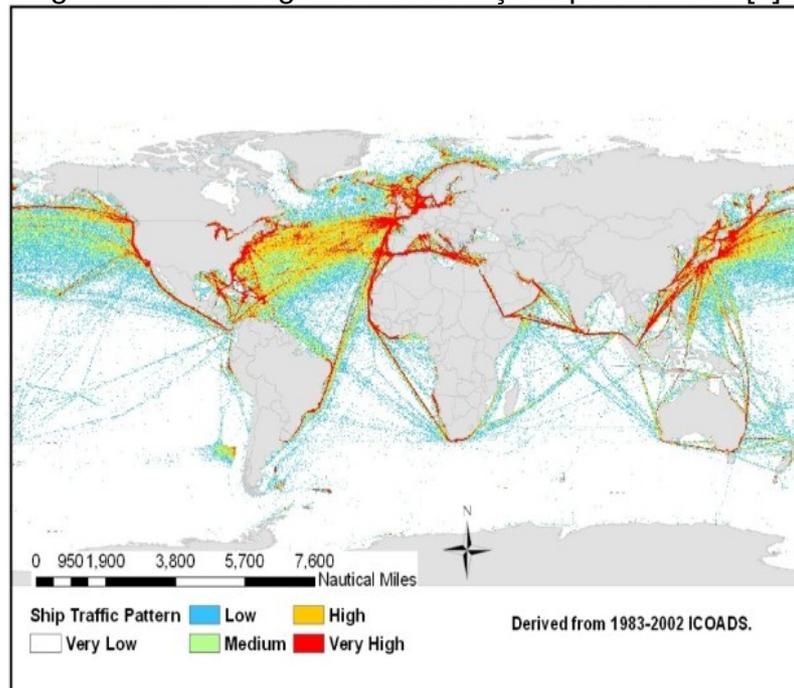
- **COLREG**

A Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at

Sea (COLREGs) foi adotada paralelamente à SOLAS em 1972 e, como o próprio nome indica, regulamenta o tráfego marítimo a fim de prevenir contra choques e colisões em alto-mar.

A COLREGS determina os esquemas de separação de tráfego, dando orientação sobre a velocidade de segurança, o risco de colisão e a conduta dos navios que operam dentro ou perto de áreas de tráfego marítimo intenso, apresentado na Figura 1.2.

Figura 1.2 – Tráfego de embarcações pelo mundo [3].



Fonte: VAGSLID, 2010

- **LOAD LINE**

A International Convention on Load Lines aborda as questões e limitações de carregamento dos navios, pois este fator contribui significativamente para a estabilidade e, logo, a segurança dos mesmos, onde a estabilidade é capacidade da embarcação de voltar à posição de equilíbrio inicial quando perturbada temporariamente (movimento da carga, rajada ou onda), ou atingir a uma nova condição de equilíbrio final aceitável quando perturbada continuamente (vento, avaria, etc) [4]. A Figura 1.3 mostra uma situação de perda da estabilidade.

Figura 1.3 – Cougar Ace adernado em aproximadamente 80° [5].



Fonte: UFRJ, 2008

- **STCW**

A International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW) tem como principal objetivo promover a segurança de pessoas e bens nos ambientes marinhos, através do estabelecimento de padrões internacionais de formação, certificação e rotinas/direitos da tripulação.

Entre os itens atendidos pela convenção estão as horas máximas de trabalho e descanso da tripulação, prevenção do abuso de drogas e álcool, normas médicas, a formação da consciência do ambiente marinho, formação em liderança e trabalho em equipe, formação de segurança marítima, treinamento para o caso de ataque por “piratas”, metodologia de treinamento moderno, etc.

- **MARPOL**

A International Convention for the Prevention of Pollution from Ships ou simplesmente MARPOL é a principal convenção abrangendo a prevenção do ambiente marinho da poluição oriunda de navios por causas operacionais ou acidentais.

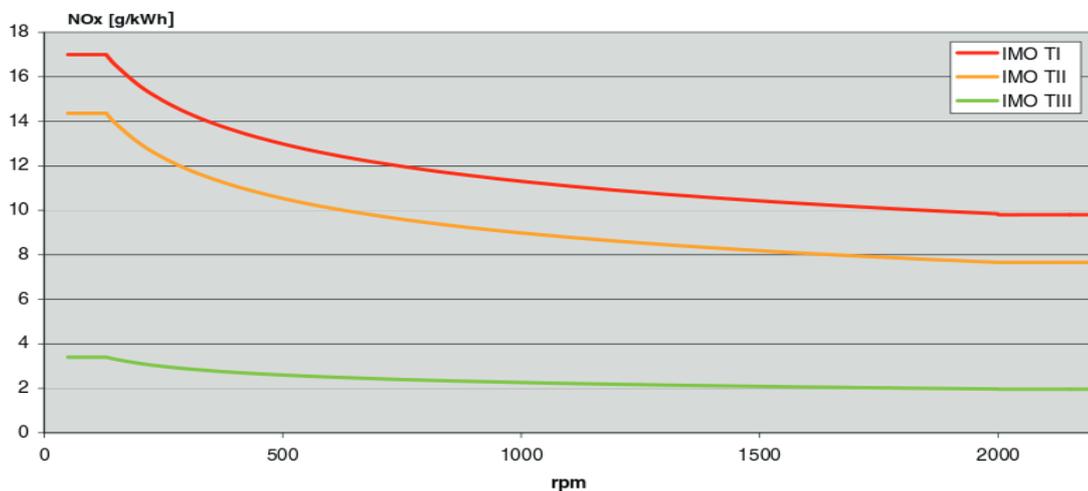
A MARPOL entende por substâncias nocivas: "qualquer substância que, se despejada no mar, é capaz de gerar riscos para a saúde humana, danificar os recursos biológicos e a vida marinha, prejudicar as atividades recreativas ou interferir com outras utilizações legítimas do mar e inclui toda substância sujeita a controle pela presente convenção" [1]. Regulamentando, portanto, através de anexos a prevenção de poluição por óleo combustível, a prevenção de poluição por carga nociva, a prevenção de poluição por esgoto, o descarte de lixo dos navios e a prevenção de poluição do ar por navios.

O anexo VI da MARPOL estabelece os limites para as emissões de NOx e

SOx de escapamentos de navios e proíbe a emissão deliberada de substâncias que destroem a camada de ozônio, além de tornar mandatório o índice de eficiência energética Energy Efficiency Design Index (EEDI) para novos navios, o Indicador Operacional de Eficiência Energética (EEIO) e o Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) para àqueles anteriores a Janeiro de 2011.

O controle das emissões de NOx de motores marítimos a diesel é feito através dos requisitos de vistoria do cumprimento do serviço em conformidade com os requisitos obrigatórios dos limiares e certificação, onde o certificado Engine International Air Pollution Prevention (EIAPP) classifica os motores em Tier I, II e III, conforme a Figura 1.4.

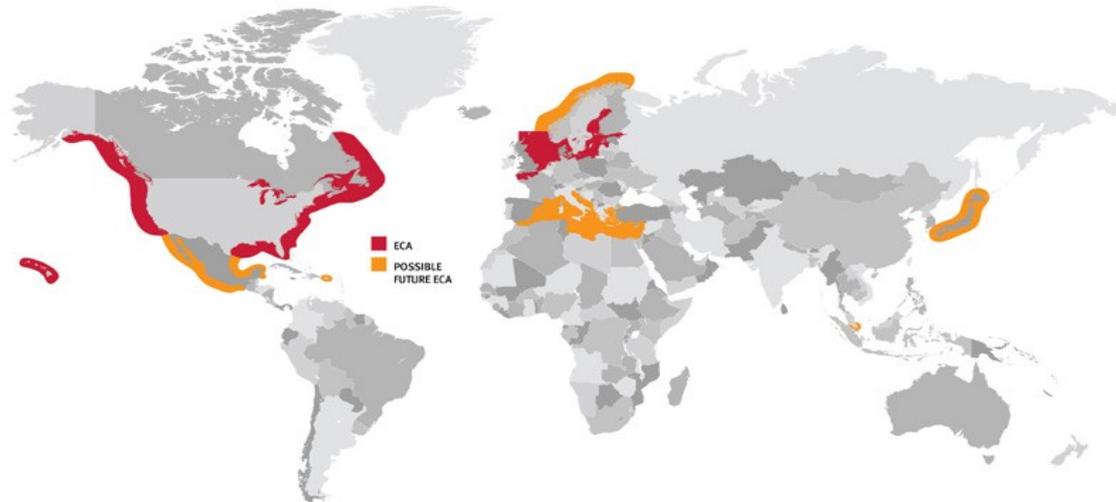
Figura 1.4 – Tabela de emissões Tier I, II e III [6].



Fonte: Cummis, 2011

O Tier II apresenta 20% de redução nos níveis de emissões de NOx comparado ao Tier I e o Tier III, cerca de 74% de redução em comparação ao Tier II. Comumente referidas como Tier I, Tier II e Tier III, essas normas de emissão da MARPOL/IMO foram definidas separadamente: as normas Tier I foram definidas na versão do Anexo VI em 1997, enquanto as normas Tier II / III foram introduzidas por alterações Anexo VI adotadas em 2008, todas protocolando os motores superiores a 130 kW instalados. A MARPOL/IMO também define algumas zonas como Emission Control Areas (ECA), apresentadas na Figura 1.5.

Figura 1.5 – Áreas de Controle de Emissões (ECA – IMO) [7].



Fonte: Fuel Trade, 2016

Atualmente é obrigatória a certificação do Tier III nas regiões de ECA. Nas regiões fora das ECA's a regulamentação prevê que os navios contruídos a partir de Janeiro de 2011 tenham o Tier II e os anteriores a esta data, ainda o Tier I.

A Regulamentação do Anexo VI da MARPOL também incluem limiares de emissão de SOx e de matéria sob a forma de partícula regulando o teor de enxofre do óleo combustível. Existem disposições especiais para a qualidade dos combustíveis das emissões de SOx discriminando os níveis nas ECA e o uso global. Os limites de enxofre e datas de aplicação estão listados na Tabela 1.1 e ilustrados na Figura 1.6 [2].

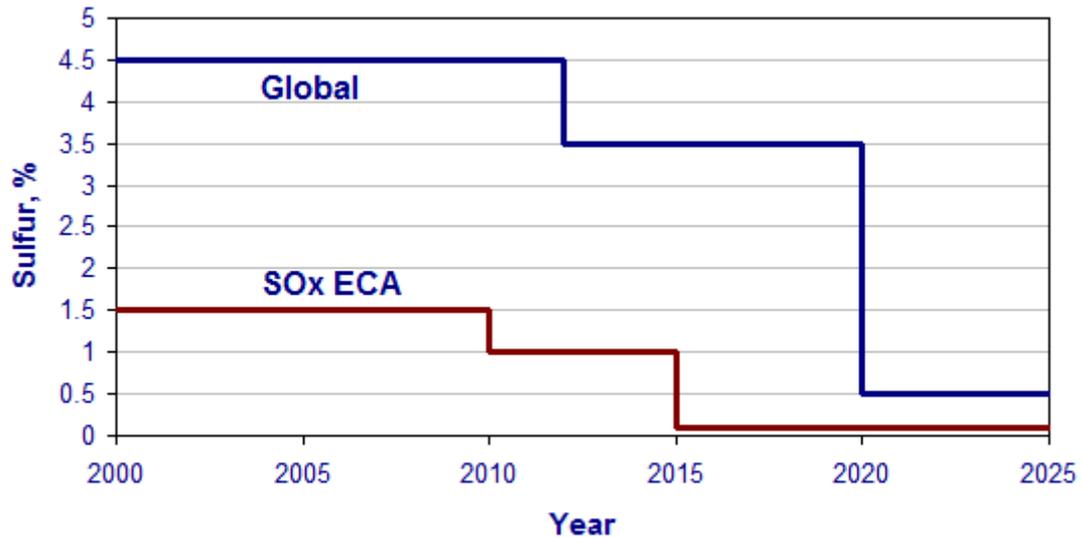
Tabela 1.1– Limites de SOx – MARPOL [1].

DATA	LIMITE DE SOx NO COMBUSTÍVEL (% m/m)	
	ECA	GLOBAL
2000	1,5%	4,5%
2010.07	1,0%	
2012	0,1%	3,5%
2015		
2020*		0,5%

\* A data alternativa é 2025, sendo decidida em uma revisão em 2018

Fonte: IMO, 2016

Figura 1.6 – Limites de SOx – MARPOL [1].



Fonte: IMO, 2016

O uso do Heavy Fuel Oil (HFO) ainda é permitido, desde que cumpra o limite de enxofre aplicável. São também permitidas medidas alternativas para reduzir as emissões de enxofre, como através do uso de purificadores. Por exemplo, em vez de usar o combustível S 1,5% em ECAs SOx, os navios podem encaixar um sistema de limpeza dos gases de escape ou utilizar qualquer outro método tecnológico para limitar as emissões de SOx para  $\leq 6$  g / kWh, já que os combustíveis menos refinados são geralmente mais baratos.

## 1.2 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO

A IMO, através da convenção MARPOL criou novas regras tornando obrigatória a utilização do Indicador Operacional de Eficiência Energética em Navios (EEDI – Energy-Efficiency Design Index), o Indicador Operacional de Eficiência Energética (EEIO - The Energy Efficiency Operational Index) e o Plano de Gestão de Eficiência Energética (SEEMP - Ship Energy Efficiency Management Plan) a contar de Janeiro de 2011, medidas para garantir a utilização eficiente do combustível utilizado nos navios, unindo os conceitos de qualidade e eficiência energética para atender estes usuários e seus sistemas isolados.

O EEDI foi aprovado em julho de 2011 e é considerado a medida mais

importante em termos de eficiência energética naval, sendo a primeira medida obrigatória da história no setor com o propósito de reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Esse índice requer um nível mínimo de eficiência energética por distância feita pelo navio em milhas, de acordo com o tipo e tamanho do navio.

Em vigor desde 1 de Janeiro de 2013, o índice exige um limiar mínimo de EE para navios encomendados a partir dessa data, tornando-se mais rigorosas a cada 5 anos. Assim, a IMO espera continuar estimulando as inovações técnicas e tecnológicas de desenvolvimento de todos os componentes da cadeia do setor naval. Em vigência estão as diretrizes de acordo com a Tabela 1.2 [8].

Tabela 1.2 – EEDI [8].

DATA DE CONSTRUÇÃO	MELHORIA GLOBAL
2015 - 2019	10%
2020 - 2024	15 - 20%
A partir de 2024	30%

Fonte: Sardinha, 2013

A aplicação do EEDI será feita em todos os países-membros da IMO e cobrados em toda a área de controle global para todos os tipos de embarcações, podendo ser renunciadas por alguns governos com o tempo limitado de quatro anos após a entrada em vigor do regulamento. Outra maneira de incentivar o uso do índice é a desvalorização do navio sem a certificação e a alta competitividade no mercado que deve contratar primeiramente os navios certificados.

O Indicador Operacional de Eficiência Energética (EEIO) pode ser definido como um meio de informação em eficiência energética que permite aos operadores de navios compararem a eficiência de consumo de combustível dos navios, liberando valores de referência neste assunto.

O Plano de Gestão de Eficiência Energética do navio (SEEMP) registra as medidas operacionais e as melhorias em equipamentos que podem ser ou são aplicadas para melhorar a eficiência energética do navio comparativamente a valores de referência (EEOI).

Estas não são as únicas rotulações em eficiência energética na indústria naval. Há também as ações de empresas e organismos particulares, como a *Danish Eco Council*, a *Shipping Efficiency* e a *Right Ship*, que defendem a introdução de uma rotulagem individual para os navios, como hoje já existe para carros, eletrodomésticos e edificações. Um exemplo de rotulagem individual naval

é o Existing Vessel Design Index (EVDI) [8].

O Índice de Design de Navios Existentes (EVDI), assim como o EEDI, mede a taxa de emissão do gás carbônico e a eficiência energética nas embarcações e é calculado de acordo com algumas características do navio, como a capacidade de carga, potência do motor principal, velocidade de cruzeiro, consumo de combustível, entre outros. E então, o seu desempenho é apresentado na escala europeia normalizada de A a G, sendo A o mais eficiente e G o menos eficiente, conforme a Figura 1.7.

Figura 1.7 – Rotulagem individual [8].



Fonte: Sardinha, 2013

O Brasil é um país-membro da IMO, mas por ser um país em desenvolvimento tem alguns diferenciais. O EEDI estabelece responsabilidades menos severas para esses casos, a política CBDR (Common But Differentiated Responsibilities), ou seja, responsabilidades comuns, mas diferenciadas. Por outro lado, a indústria naval brasileira está se reerguendo no cenário mundial.

O correspondente brasileiro na IMO é a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), responsável por regular, supervisionar e fiscalizar as atividades de prestação de serviços de transporte aquaviário e de exploração da infraestrutura portuária e aquaviária dedicando-se à movimentação mais econômica e segura de pessoas e bens pelas vias marítimas e fluviais brasileiras, visando eficiência, segurança, conforto, regularidade, pontualidade e modicidade nos fretes e tarifas.

A ANTAQ é uma entidade brasileira de ordem da Administração Federal indireta que trabalha na implementação das políticas públicas e fiscalização das mesmas no setor naval, atuando tanto em portos como em navios.

O Ministério dos Transportes - em cooperação com o Ministério da Defesa – desenvolveu o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), representando a

retomada do processo de planejamento no setor de transporte, dotando-o de estrutura permanente de gestão, com base em sistema de informações regionais e georeferenciadas, contendo os principais dados de interesse do setor, tanto na oferta quanto na demanda. Também destacam-se os seguintes objetivos, de grande relevância na consecução das metas econômicas, sociais e ecológicas do país, de médio a longo prazo, objetivando o desenvolvimento sustentado [10]:

a) identificação, otimização e racionalização dos custos envolvidos em toda a cadeia logística adotada entre a origem e o destino dos fluxos de transportes;

b) adequação da atual matriz de transportes de cargas no país buscando a permanente utilização das modalidades de maior eficiência produtiva.

Assim, o PNLT prevê a efetiva mudança da atual matriz de transporte de cargas do país, priorizando os modais ferroviário e aquaviário, pois esses possibilitam maior produtividade e eficiência energética/ambiental, estimulando e incentivando a implantação de meios de transporte de massa. O PNLT também promove a racionalização do consumo de energia no setor de transportes através de políticas e incentivos ao desenvolvimento dos modais hidroviários, dutoviários e ferroviários, promovendo ações de eficiência energética nos modais acima existentes.

O quadro atual da eficiência energética no setor de transportes pode ser, portanto, resumido nos seguintes desafios [11]:

- Superar limites da infraestrutura de transportes;
- Ampliar a cobertura geográfica da infraestrutura de transportes;
- Assegurar que a infraestrutura de transportes seja fator indutor e catalisador do desenvolvimento;
- Reduzir o predomínio do modal rodoviário na matriz de transportes brasileira, através do uso intensivo e adequado das modalidades ferroviária e aquaviária, tirando partido de sua maior produtividade e eficiências energética/ambiental.

Estas políticas públicas do Ministério dos Transportes acrescido das

descobertas e avanços da exploração de petróleo na superfície marinha ajudam a aquecer o setor da construção naval, pois antecipam o crescimento dos transportes aquaviários e sua infraestrutura, amparando principalmente a indústria naval brasileira que, em março de 2014, chegou a ocupar o 4<sup>a</sup> lugar no ranking mundial de construção naval divulgado pela empresa Clarksons Shipping Intelligence.

Desta maneira, a Indústria da construção naval do Brasil já gerou mais de 80 mil empregos desde a sua intensificação e cresce em torno de 19,5% ao ano desde 2004 [9]. Segundo o SINAVAL (Sindicato Nacional da Indústria de Construção e Reparação Naval e Offshore), no primeiro semestre de 2014, os estaleiros brasileiros tiveram como encomenda 381 navios, entre eles petroleiros, gaseiros, sondas de perfuração, navios porta-containers, submarinos e navios e barcas para navegação fluvial.

A SINAVAL tem 50 estaleiros associados e cinco em implantação, trabalhando em 9 segmentos da construção naval: plataformas de produção offshore (termo da língua inglesa relacionado com a atividade de exploração petrolífera em alto mar), sondas de perfuração, navios de apoio marítimo, petroleiros, porta-containers, graneleiros, barcas e empurradores, rebocadores portuários e embarcações militares, competindo diretamente com multinacionais estrangeiras, mas com subsídio do governo para o caso de elementos e navios ligados à exploração de petróleo em águas brasileiras.

A região Norte conta com dois polos navais, o Polo Naval do Pará e o Polo Naval do Amazonas. Um polo naval é definido pela existência de estaleiros e uma estrutura de serviços e fornecedores operando de forma contínua. No Pará estão localizados dois estaleiros de médio porte associados à SINAVAL especializados em barcas e empurradores fluviais, e no Amazonas outro também de médio porte especializado no mesmo ramo, devido às características da região amazônica, rica em rios, apresentando o potencial do mercado de eficiência energética em navios na região amazônica.

A indústria naval brasileira precisa, então, intensificar seus esforços em medidas de aperfeiçoamento desde suas condições de produção até a manutenção e operação do seu produto final através, principalmente, de ações em eficiência energética, fator crucial no desenvolvimento de novas tecnologias embarcadas. Já que o navio trabalha como sistema elétrico isolado, quanto mais energia disponível no atendimento das cargas especializadas a bordo, mais

aplicações terá o navio, logo, mais funcionalidades e maior competitividade no mercado internacional.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação é apresentar uma metodologia para ações de eficiência energética em navios utilizando o software já consolidado RETScreen e o simulador BD Motor no planejamento da substituição de motores presentes no navio por motores de maior rendimento e, em seu sistema de iluminação, com a substituição de suas lâmpadas por lâmpadas LED. Utilizar esta metodologia em um Estudo de Caso – Navio Patrulha Guarujá P-49, navio da Marinha do Brasil.

#### 1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar a aplicabilidade do software RETScreen 4 em medidas de eficiência energética em navios, devido as características particulares deste tipo de sistema, comparando, ainda, seus resultados sobre os motores elétricos e com os do Simulador do Procel BD Motor.

Analisar o potencial ambiental e financeiro das medidas eficientizadoras sobre o sistema de iluminação dos navios, assim como dos motores elétricos em termos de redução de consumo de combustível em navios.

Comparar as respostas dos equipamentos elétricos presentes no navio estudo de caso e as propostas através de pesquisa de mercado, apresentando a viabilidade e impactos sobre o consumo de combustível com o auxílio dos softwares competentes.

### 1.4 METODOLOGIA

A pesquisa a ser realizada nesta dissertação pode ser classificada como pesquisa documental com abordagem indireta, pois parte dos dados fundamentais às análises propostas foram obtidos após intensa investigação de documentos técnicos da Marinha do Brasil e a outra parte foi suposta com a ajuda do simulador

do PROCEL e grande banco de dados sobre motores, o BD Motor.

Quanto ao método, esta dissertação faz a opção pelo comparativo, justificando-se pela possibilidade de relacionar o cenário de referência e o proposto, ponderando seus gargalos e benefícios.

Enquanto procedimento utilizou-se o BD Motor e seu banco de dados de motores fabricados entre 1996 e 2006 como ferramenta para estudar e adotar alguns valores dos motores presentes no P-49 essenciais aos cálculos de viabilidade não obtidos através da observação dos documentos técnicos da Marinha do Brasil. Os motores selecionados como caso proposto precisaram ser adicionados ao banco de dados do simulador do PROCEL. O BD Motor ainda comparará os motores antigos e os novos, baseando-se nos seus rendimentos a plena carga, na porcentagem de perda de rendimento de 1% devido ao tempo de uso dos motores antigos, no próprio tempo de uso em horas por ano de ambos os motores e no investimento na compra do motor novo, resultando na economia anual relacionado ao consumo ativo dos motores.

O RETScreen, como instrumento de análise de eficiência energética, é muito mais amplo, avaliando financeira e ambientalmente medidas em vários equipamentos e sistemas. As ações propostas para o caso em questão são: a troca das lâmpadas do navio Guarujá por LED's correspondentes e a troca dos motores disponíveis ao estudo por exemplares de alto rendimento similares.

O estudo comparativo realizado, bem como, suas respectivas análises serão organizadas e dispostas nos Capítulos 4 e 5 desta dissertação, apresentando, de mesmo modo, os resultados e sugestões técnicas envolvidas no problema.

## 1.5 ESCOPO DO TRABALHO

Quanto à estrutura, o desenvolvimento deste trabalho encontra-se distribuído em 6 capítulos, na seguinte forma:

**Capítulo 1: Introdução.** Apresenta o panorama mundial do setor marítimo, mostrando seus principais órgãos regulamentadores e suas principais normas. O mercado naval mundial e depois o brasileiro, mostrando seu potencial de crescimento, dificuldades e alvos, bem como a importância da efficientização das embarcações.

**Capítulo 2: Eficiência Energética em Navios.** Mostra o estudo da arte de

eficiência energética mundial para os navios mercantes, os principais focos de pesquisa e melhorias, suas principais características e componentes.

**Capítulo 3: Estudo de Caso: Navio Patrulha Guarujá.** Exibe as características básicas do navio Patrulha P-49, explanando um pouco sobre o seu histórico, seu quadro de distribuição elétrico principal e seus sistemas embarcados, apresentando, ainda os softwares utilizados na análise, o RETScreen e o BD Motor, focando em cada sistema e seus elementos.

**Capítulo 4: Ações de Eficiência Energética: Lâmpadas.** Análise dos resultados financeiros e ambientais das ações propostas de eficiência energética sobre as lâmpadas do sistema de iluminação descritas no capítulo 3 pelo software RETScreen, descrevendo cada equipamento individualmente a fim de mostrar tanto os viáveis quanto os inviáveis e suas respectivas reduções nas emissões de gases de efeito estufa.

**Capítulo 5: Ações de Eficiência Energética: Motores Elétricos.** Análise dos resultados financeiros e ambientais das ações propostas de eficiência energética sobre os motores descritos também no capítulo 3 no RETScreen e no BD Motor, descrevendo cada equipamento individualmente a fim de mostrar os viáveis e os inviáveis, assim como, as suas respectivas reduções nas emissões em toneladas de CO<sub>2</sub>.

Por fim, no **Capítulo 6: Conclusão.** apresentam-se as considerações finais que resultaram no desenvolvimento deste trabalho e as propostas de trabalhos futuros.

## 2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM NAVIOS

Este capítulo é dedicado aos estudos e pesquisas desenvolvidas para promover algumas ações de eficiência energética pelo mundo marítimo e naval, usando desenvolvimentos técnicos e inovações tanto para navios novos quanto aos já existentes.

Como parte integrante das iniciativas é possível implementar e avaliar soluções técnicas, como estudos de caso, a fim de empurrar a inovação dita verde para a indústria marítima, visando sempre a redução de emissões atrelada à viabilidade comercial industrial.

Os focos das pesquisas em eficiência energética em navios podem ser divididos em:

1. Maquinário: geração e consumo de energia;
2. Propulsão: conjunto propulsor e sistema de distribuição;
3. Operação e manutenção;
4. Logística e rotas.

### 2.1 MÁQUINAS – GERAÇÃO DE ENERGIA

Os estudos em eficiência energética sobre a geração elétrica concentram-se na cogeração devido a grande demanda de energia dos navios.

Há iniciativas de introdução de células a combustível na geração de energia em navios desde 2000 e em 2015 foi publicado o artigo “Design of a Fuel-Cell-Powered Catamaran-Type Unmanned Surface Vehicle” desenvolvido na parceria de pesquisadores da Korea Advanced Institute of Science and Technology e da Technical University Berlin, dos senhores Seok-In Sohn, Jung-Hwan Oh, Yeon-Seung Lee, Dae-Hwan Park e Il-Kwon Oh. Neste estudo foi criado um veículo de superfície não tripulado, *Unmanned Surface Vehicle* (USV), do tipo catamarã

alimentado por uma célula de combustível de hidrogênio e baterias de polímeros de lítio. Além de simulações hidrodinâmicas para desenvolver um casco catamarã ótimo, o projeto ainda investigou as variações de carga e suas respectivas respostas transientes na célula de combustível, determinando um algoritmo de controle de potência [11].

O artigo “*Electric Ship Technologies*” escrito em dezembro de 2015 por Steinar J Dale, PhD. em engenharia elétrica e física de alta tensão na Universidade de Strathclyde, Robert E. Hebner, Ph.D. em física pela Universidade de Missouri, Rolla, EUA, e Giorgio Sulligoi, Ph.D. em engenharia elétrica pela Universidade de Padova, Itália, apresenta o panorama atual dos navios elétricos, passando pelos sistemas de distribuição, sistemas de controle e maquinário mais utilizados. Este artigo planifica, de igual modo, a tendência da utilização de *Liquefied Natural Gas* (LNG) em navios de cruzeiros e naqueles cujo sistema de posicionamento dinâmico é muito valorizado, pois a energia pode ser gerada a qualquer tempo e com um ótimo funcionamento dos motores principais [12].

Energia solar a partir de módulos fotovoltaicos ainda são estudados. O artigo “*Design of Electric Vessel Based on Concentrated Photovoltaic for Density Energy Source*”, de Li e Cheng da *Hong Kong Polytechnic University* propõe uma embarcação elétrica modificada com base em um novo sistema de geração de energia fotovoltaico, onde um motor move com dois graus de liberdade o módulo fotovoltaico para rastrear a melhor posição da luz solar para um sistema de geração de energia fotovoltaica concentrada [13].

Através de fontes residuais de fluxo de calor e temperatura, a energia dos gases de escape do motor principal é a mais atrativa na transformação da energia térmica em eletricidade. Os gases de escape passam por um sistema composto por turbinas a vapor tornando possível a geração de um sinal elétrico em alternadores com, aproximadamente, 11% da potência do motor principal. O TCC (trabalho de conclusão de curso) “Geração e Uso da Energia Elétrica em Navios Auxiliares Offshore” escrito pela autora desta dissertação em 2014 explana um pouco da tecnologia *Waste Heat Recovery System* (WHRS) de recuperação de energia elétrica a partir do calor dos gases de escapamento dos motores principais.

## 2.2 PROPULSÃO - CONJUNTO PROPULSOR E SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

As medidas de eficiência energética pesquisadas sobre o sistema de propulsão estão focadas predominantemente nos motores e nos veículos híbridos, os quais trabalham com diversas formas de energia além da queima de combustíveis fósseis para o deslocamento da embarcação.

Um artigo que trata dos sistemas híbridos de propulsão é o “*Commercially Derived Hybrid Electric Drive (HED) Systems for Efficiency and Power Generation on Naval Ships*”, do Dr. Timothy J. McCoy, consultor da McCoy Consulting, e de Aydin Mohtashamian, diretor executivo (Leesburg) em Sistemas Marítimos L3, expondo um pouco mais dos sistemas híbridos e dividindo os sistemas de propulsão hoje existentes em integrados ou segregados, mostrando ainda que a arquitetura híbrida abrange aspectos de ambos os tipos de sistemas [14].

Explicando os diferentes e mais 'convencionais' tipos de navios com propulsão do tipo híbrida, o M.s Michael J. Roa, Engenheiro Principal e Gerente Sênior da American Bureau of Ship, no seu artigo “*Application of Classification Rules to Hybrid Marine Electrical Propulsion Plants*” publicado em 2014, trata ainda do PTO/PTI (Power Take-off/Power Take-In) como tipo comum de planta nos navios para aplicações Offshore. O PTO/PTI é um conjunto de engrenagens localizadas próximas aos motores e eixos principais de propulsão que ou recuperam a energia mecânica gerada pelo motor principal e transformam em energia elétrica, ou transformam a energia elétrica em mecânica, agindo em ambas: geração de energia e segurança dos navios em caso de sinistros [15].

Vittorio Bucci da University of Trieste publicou em 2015 o artigo “*Inland Waterway Ggas-Fuelled Vessels: an Innovative Proposal of a Hybrid Ship for the European network*” que avalia um barco híbrido com o sistema de propulsão baseado em motores movidos a LNG (*Liquefied Natural Gas*) e PTO/PTI ligados por um elemento chave, o PMS (Power Management System), que administra as fontes de energia para alcançar valores mínimos de performance [16].

Outra vertente da pesquisa das embarcações híbridas está no controle estratégico no gerenciamento da energia, onde a distância entre os equipamentos e máquinas em conjunto com o arranjo destes na praça de máquina vai resultar em economia ou desperdício de energia.

O engenheiro Ole Christian Nebb, formado pela Norwegian University of Science and Technology, no seu artigo "*Increase Fuel Efficiency in Ships LVDC Power Distribution Systems*" publicado em 2012 pela IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference em Seoul, Korea, se utiliza de um sistema de distribuição de energia em Corrente Contínua, interligando tanto as fontes (motores a diesel e baterias) como as cargas em sete diferentes modos operacionais de carregamento por 24 horas. No artigo foi usado um método de programação não-linear para identificar um critério de compartilhamento de potência ótimo e uma rotina no Matlab® para simular um controle estratégico baseado no nível de carregamento dos motores a diesel, em seguida, foi feita a comparação por um contador posicionado antes e depois de usar o banco de baterias. Os resultados mostraram que o método de controle estratégico das fontes de energia pode diminuir o consumo de combustível, pois o banco de baterias pode suprir a flutuação normal das cargas, diminuindo, assim, gastos operacionais com pequenas sub e sobretensões [17].

## 2.3 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

As medidas de operação e manutenção são as mais abrangentes, englobando rotinas processuais, equipamentos e máquinas mais eficientes, controles das diversas variáveis pertinentes a combustível e consumo do navio, melhorias no conforto ambiental tanto marítimo quanto a bordo das embarcações, etc.

O relatório do desenvolvimento sustentável, Rapport de Développement Durable, de 2014 do Groupe CSL, um dos maiores agentes mundiais de navios de auto-descarga, abrange diversos melhoramentos em equipamentos elétricos utilizados em ambientes marinhos, como bombas de incêndio, condensadores e compressores mais eficientes, sugerindo ainda a utilização de inversores de frequência em propulsores, bombas e ventiladores para aumentar a eficiência operacional.

Heeju Choi, no seu artigo "*Novel Permanent Magnet Systems for High Efficiency Electric Ships*" publicado 2015, dedica seus estudos nas vantagens da utilização de ímãs de Sm-Co em sistemas de propulsão em navios elétricos,

podendo ser aplicados em motores e mancais magnéticos de alta temperatura e em motores de alta velocidade. O calor indesejável gerado durante o funcionamento das cargas alojadas na casa de máquinas diminui seus desempenhos e eficiência, assim há um interesse crescente em motores e atuadores com capacidade de suportar maiores temperaturas a fim de minimizar os danos e desperdícios advindos das altas temperaturas nas praças de máquinas [18].

Outra ação sobre a operação e manutenção é a utilização de lubrificantes menos insalubres ao meio ambiente marinho, publicada na revista 37 da L'Info-Alliance de setembro de 2014. Geralmente, mais pesados do que a água, esses lubrificantes dissolvem-se completamente sem deixar nenhum risco na superfície da água em caso de acidentes e adversidades. Esta medida não tem impacto significativo na redução no consumo de energia nos navios, mas é relevante pelas normas internacionais de controle de dejetos e poluição do ambiente marinho, reduzindo os danos ambientais, portanto, significativa como medida eficientizadora do navio.

O sistema de iluminação também é alvo de pesquisa em eficiência energética em navios devido ao tempo de utilização das lâmpadas nos ambientes fechados e sem iluminação natural dos cômodos das embarcações. O artigo “Energy-Efficient Electronic Light Sources for Marine Vessels” trata exatamente disso, avaliando as relações luminotécnicas adequadas para as salas de máquina e para uso marítimo [19].

## 2.4 LOGÍSTICA E ROTAS

A velocidade é um importante fator da logística para a eficiência energética. É sabido que a redução da velocidade tem impacto positivo tanto econômico quanto ambiental na redução do consumo de combustível, pois diminui o volume da carga sobre os motores principais dos navios. Meyer, em seu artigo “*Slow Steaming in Container Shipping*” explana o potencial de economia a partir da redução da velocidade de um porta-container. O autor mostra, ainda, um gráfico da relação entre a potência requerida dos motores e a velocidade em nós, onde os motores principais do navio estudo de caso precisavam de quase 60 000 kW para operar a 25 nós e aproximadamente 10 000 kW a 15 nós. Paralelamente, o

consumo caia de 260 kg/nm (quilos de combustível por milhas náuticas) a 25 nós para 110 kg/nm. É necessário analisar esse quesito de forma sensata, pois, em determinadas situações, as altas velocidades fazem parte do serviço ou função do navio, justificando, assim, a importância da otimização deste fator para o melhoramento das embarcações futuras [20].

Então, buscando a economia de combustível combinada com a segurança na navegação, o artigo “*Advanced Route Optimization in Ship Navigation*” de Ei-ichi Kobayashi da *Graduate School of Maritime Sciences*, Kobe University - Japão, propõe uma tecnologia de otimização de rota que considera tanto fatores internos ao navio quanto ambientais, monitorando consumo de combustível a partir das variações de vento, corrente, ondas, etc. O modelo foi testado em um navio container entre Yokohama, no Japão, e São Francisco, nos Estados Unidos, analisando a rota antes da otimização e duas rotas otimizadas pelo modelo: a *east bound* e a *west bound*. Apesar de percorrer um caminho maior, ambas foram mais rápidas e tiveram menor consumo. O consumo do óleo combustível para as rotas otimizadas foi de 2,0 t (*east bound*) e 24,5 t (*west bound*) menor do que a rota típica, minimizando os custos e as emissões de gases de efeito estufa da viagem. O método ainda está sendo aprimorado com a verificação e estudo da aplicabilidade em outros navios e rotas [21].

As medidas de eficiência energética também devem estar voltadas para os portos, pois, apesar de os navios utilizarem a energia do porto oriunda da rede interligada nacional quando atracados, este é um tempo onde os navios não estão efetivamente exercendo sua função de transporte. Há várias ações sobre os portos que resultam na efficientização dos processos, como: a melhor gestão administrativa, reduzindo a burocracia de atracamento e, assim, diminuindo o tempo gasto pelos navios nos portos e a gerência ótima de carga e descarga dos porta-containers.

Os porta-containers são navios adaptados para transportar somente containers, ou seja, caixas de ferro com as dimensões padronizadas. Cada container tem peso, tipo de carga e porto de destinação diferentes. O problema enfrentado é que a cada porto de carga e descarga o navio precisa realinhar sua estabilidade, ou seja, ter pesos equivalentes a cada lado oposto para manter o equilíbrio, preocupando-se, ainda, com a posição dos containers do próximo porto. Parte da tese “*Operations Management at Container Terminals Using Advanced*

*Information Technologies*” da dra. Elisabeth Zehendner formada por l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne abordou o problema da realocação dos containers, transportando os containers do porto remetente até o de destinação em uma determinada sequência, visando um número mínimo de realocações “parasitas” [22].

### 3 ESTUDO DE CASO: NAVIO PATRULHA GUARUJÁ

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

O Navio Patrulha Guarujá P-49, o “Águia do Norte”, é um navio de guerra da Marinha do Brasil que foi encomendado em 1995 como parte do 5º lote de duas unidades da classe Grajaú no estaleiro INACE – Industria Naval do Ceará S/A, em Fortaleza. O navio é o segundo a fazer uso do nome Guarujá na Marinha do Brasil, o qual faz homenagem à cidade homônima localizada no litoral de São Paulo. Sua construção foi feita segundo o projeto da Vosper-QAF, de Singapura. A cerimônia de batimento de sua quilha, a qual marca o início de sua construção, foi feita pelo Governador do Ceará, Tasso Jereisatti, em 22 de abril de 1996; seu lançamento ao mar foi feito em 24 de abril de 1998 e incorporado pela Marinha em 30 de novembro de 1999 (MD/MB, 2015). A Figura 3.1 apresenta o Águia do Norte.

Figura 3.1 - Navio Patrulha Guarujá.



Fonte: MD/MB [23], 2015

O P-49 está subordinado ao 4º Distrito Naval e integra o Grupamento Naval

do Norte (GrupNNorte). Sua área de atuação engloba os litorais dos estados do Amapá, Maranhão, Pará e também os rios da Amazônia, operando a partir da Base Naval de Val-de-Cães. O P-49, além das atividades de patrulhas fluvial e costeira, também participa de operação em conjunto com outros órgãos do governo, como o Ibama, e missões de resgate de navios, tendo sido agraciado com o Prêmio de "Navio Socorro do Ano" e "Navio Socorro Distrital" referente ao ano de 2007.

O Navio Patrulha Guarujá P-49 apresenta as seguintes dimensões [23]:

- Comprimento total: 46,5 metros;
- Comprimento entre perpendiculares: 42,5 metros;
- Boca moldada: 7,5 metros;
- Pontal moldado: 4,68 metros;
- Calado carregado: 1,76 metros;
- Espaçamento entre cavernas: 1 metro;
- Deslocamento: 197 ton (padrão), 217 ton (carregado);

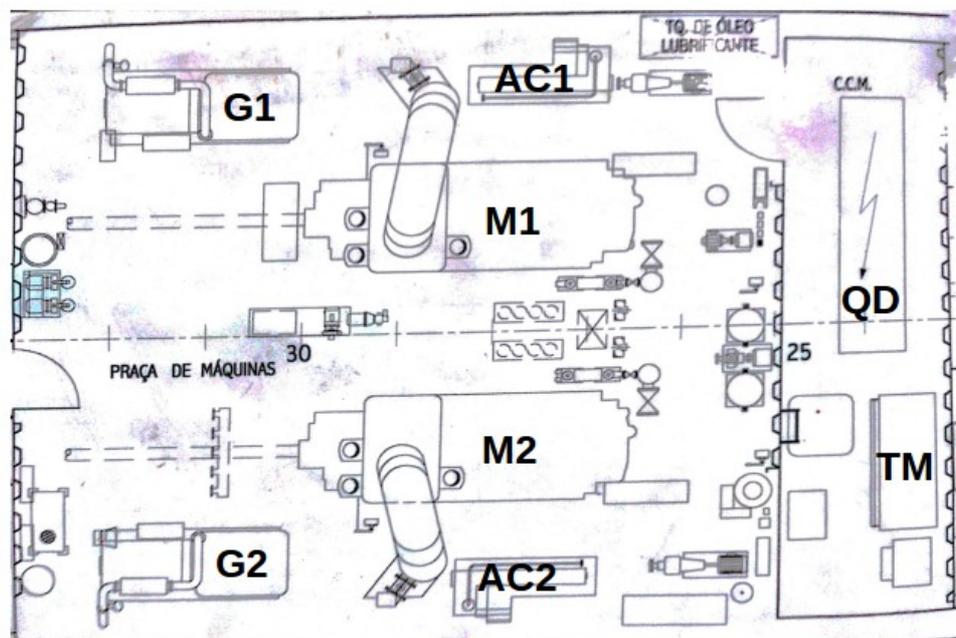
O P-49 conta com uma tripulação de 27 homens e seu tanque de combustível comporta até 23 toneladas de diesel marítimo, dando autonomia de 10 dias em operação contínua ou 4.000 km a 12 nós.

A velocidade máxima alcançada é de 26 nós, proporcionada pelo torque de propulsão de dois motores a diesel MTU de 16 válvulas com 2.740 bhp cada (bhp, é a potência do motor antes de passar pela caixa de engrenagens).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

A energia elétrica do Guarujá é provida por três motores a diesel de 100 kW (2 principais e 1 auxiliar), trabalhando em 2 níveis de tensão - 440 V e 127V - a 60 Hz. A assistência do gerador auxiliar, assim como o seu posicionamento fora da casa de máquinas é uma medida de segurança para os tripulantes, pois, em caso de sinistros na praça de máquinas, estes poderiam se comunicar e ainda se deslocar, mantendo um nível mínimo de conforto. A Figura 3.2 apresenta uma planta da casa de máquinas do Guarujá.

Figura 3.2 – Casa de máquinas P-49



<b>AC1 – Ar Cond 1</b>	<b>QD – Quadro de Distribuição</b>
<b>AC2 – Ar Cond 2</b>	<b>TM – Telecomando do motor</b>
<b>G1 – Gerador 1</b>	<b>M1 – Motor 1</b>
<b>G2 – Gerador 2</b>	<b>M2 – Motor 2</b>

Fonte: Autora.

O Quadro de Distribuição e o Sistema de Telecomando do Motor Bombordo/Boreste estão alocados em uma sala isolada ao lado da praça de máquinas. O Quadro de Distribuição é dividido em 8 colunas nomeadas com letras, onde estas acomodam 2 módulos, o Painel de Controle Principal (PCP) e o Painel de Controle Auxiliar (PCA).

- **COLUNA A:**

A **Seção de Distribuição A 440V - PCP** carrega algumas cargas: bomba de esgoto e incêndio, máquina do leme 1, unidade de tratamento de água servida, ventilador da praça de máquina 1, bomba de transferência de água servida 1, gerador de água doce 1, bomba de circulação de água servida da frigorífica, controle da frigorífica, máquina de suspender, fogão, estufa, forno de 2 câmaras, carregador da bateria de comunicações, carregador da bateria de uso geral,

bomba de transferência de óleo combustível e bomba pra lubrificação do motor de Combustão Principal (MCP) 1 e Transformador 440/115V 20kVA, tendo um canal de reserva. E a **Seção de Distribuição A 440V - PCA**: bomba esgoto e incêndio 1, bomba esgoto e incêndio 2, bomba máquina do leme 1, bomba máquina do leme 2, conversor estático, canhão, painel controle da unidade condensadora do ar condicionado, regulador de pressão do MCP, trafo 440/150v, tomada de energia para transporte de óleo, bomba circulação de ar servido para o tubo telescópico 1 e 2, tendo igualmente um canal de reserva.

- **COLUNA B:**

A **Seção do Gerador 1 - PCP**, como o próprio nome indica, acopla o Gerador 1 aos seu equipamentos de controle e automação, como controle automático de velocidade e rotação, módulo de sinal PE (Persistentemente Excitante), CLP's (Controlador Lógico Programável), reguladores de tensão e corrente e baterias. A Figura 3.3 expõe uma foto da coluna B, a fim de exemplificar o modelo e layout das colunas.

Figura 3.3 – Coluna B



Fonte: Autora.

- **COLUNA C :**

A **Seção de Sincronismo - PCP** tem a função de sincronizar a entrada dos

geradores principais e do auxiliar na rede. Para a maioria dos casos dos usos da energia elétrica a bordo do P-49 basta um gerador estar interligado à rede elétrica para que os equipamentos cotidianos funcionem, mas em determinadas situações é necessário que ambos os geradores principais estejam trabalhando ou ainda um principal e o auxiliar. Neste caso, como a energia elétrica é transformada a partir do torque mecânico dos eixos dos geradores faz-se necessário um mecanismo de sincronização para que não haja perdas ou mesmo avarias resultantes do torque descoordenado destas máquinas. Esta seção também tem acesso aos CLP's de todos os geradores. E a **Seção do Gerador Auxiliar - PCA**, o Gerador Auxiliar e, também, seus respectivos equipamentos de controle e automação, como controle automático de velocidade e rotação, módulo de sinal PE (Persistentemente Excitante), CLP's (Controlador Lógico Programável), reguladores de tensão e corrente e baterias. Já a Seção do Gerador Auxiliar está ligada ao PCA, interligando o Gerador Auxiliar do mesmo modo aos seus equipamentos de controle e automação.

- **COLUNA D:**

A **Seção do Gerador 2 - PCP** é similar à Seção do Gerador 1, sendo relativa ao Gerador 2 e a **Seção de Distribuição B 115V - PCA** une as seguintes cargas: quadro de distribuição de luz 2, quadro de distribuição de navegação, painel de luz de navegação por sinal, quadro de distribuição de equipamento de comunicação, quadro de distribuição de tomadas da cozinha, relé de omissão de energia no carregamento de uso geral, tendo, da mesma forma, um canal de reserva.

- **COLUNA E:**

A **Seção de Interligação - PCP** auxilia no processo de sincronização dos geradores, conctando-se similarmente aos CLP's dos geradores principais e do auxiliar e a um módulo de sinal PE.

- **COLUNA F:**

A **Seção de Energia de Terra - PCP** acopla a energia que vem de fora do navio, ou seja, numa situação de atracação ao porto ou à outro navio. Suporta até quatro diferentes sinais de entrada - até dois do porto e até dois vindo de outro navio -, tendo da mesma forma módulos de controle da energia particular.

- **COLUNA G:**

A **Seção de Distribuição B 440V - PCP** conecta os outros equipamentos em duplicidade à Seção de Distribuição A e outras cargas: ventilador/exaustor da casa de máquinas, bomba de transferência de água servida 2, gerador de água doce 2, unidade de refrigeração do ar condicionado e aquecimento – cozinha, aquecedor de A.D. 2, compressor de água de mergulho, máquina de leme 2, bomba de esgoto e incêndio 2, separador de água e óleo, caixa de ligação de bomba submersível, quadro de distribuição de ventiladores e exaustores, guindaste de convés, radar de navegação, bomba de circulação de A.S. p/ ar condicionado, pré-aquecedor do MCP 2, bomba de pré-lubrificação do MCP 2, bomba de transferência de óleo combustível 2 e unidade condensadora do ar condicionado.

- **COLUNA H:**

E, finalmente, a **Seção de Distribuição 115 V - PCP** liga as cargas deste nível de tensão, como o sistema de iluminação, quadro de tomadas de uso geral, quadro de distribuição de equipamento de comunicação – entre outras – e transformadores de 440/115 V.

### 3.3 BD MOTOR

O programa BD Motor é uma ferramenta de auxílio ao usuário na aquisição, substituição e reparo de motores elétricos, realizando a análise econômica e o cálculo da carga do motor. O BD Motor é composto de um banco de dados de motores e dos módulos de análise listados a seguir [24]:

- Comparação entre dois motores: O simulador realiza a análise econômica baseada no rendimento, potência e carregamento dos motores antigos e novos para subsidiar o usuário na hora da compra, substituição e reparo;
- Dimensionamento de um motor em uso: O BD Motor calcula em que condições de carga o motor se encontra, direcionado no sentido de dimensionar a carga no eixo através de medição de uma das três grandezas de fácil acesso ao usuário, ou a corrente média de linha (A), ou a velocidade (rpm) do eixo, ou a potência trifásica de entrada (kW).

O banco de dados do BD Motor abrange motores de indução trifásicos com tensões de 220, 380 e 440 V e potência de 0,25 a 250 cv. A versão atualmente disponível é a 4.21 de 2008, indicando que o banco de dados é formado com motores fabricados somente até 2008, ou seja, 8 anos atrás. No entanto, outra vantagem do BD Motor é a possibilidade de cadastro de novos motores. Assim, o usuário pode se beneficiar das ferramentas do simulador no motor que melhor lhe servir.

### 3.4 RETSCREEN

O software RETScreen Clean Energy Management (RETScreen®), iniciativa do governo do Canadá livre de custos, é uma ferramenta com o objetivo de fornecer de modo integrado uma abordagem no tratamento de alterações climáticas, ações em eficiência energética, redução da poluição e novos projetos de energia limpa [25].

Mundialmente conhecido no mercado de tecnologias de energia renovável e eficiência energética, o RETScreen possibilita a redução de custos e tempo nas etapas de um projeto energético, viabilizando projetos de pesquisa e permitindo aos projetistas tomadas de decisão em projetos de energia renovável, cogeração ou eficiência energética.

O software inclui duas ferramentas: o RETScreen Plus e o RETScreen 4. O RETScreen Plus é baseado em Windows, e destina-se aos processos de gestão energética, que permite aos seus proprietários verificar o desempenho energético de suas instalações. Já o RETScreen 4 é baseado em Excel, e destina-se à análise de projetos de energia limpa, possibilitando aos projetistas determinar a viabilidade técnica e financeira de um projeto, como também, permite a criação de modelos de projetos de energia convencional e compará-los com alternativas mais limpas.

A ferramenta utilizada para a análise em eficiência energética nesta dissertação é o RETScreen 4, trabalhando com cinco tipos de análises: energética, de custos, emissões, financeira e risco. As ações para a efficientização abordadas por este estudo são relacionadas a alguns equipamentos do sistema de iluminação do navio Guarujá, do sistema de refrigeração, da câmara frigorífica e do gerador auxiliar. Estes equipamentos foram os únicos analisados, pois eram os que estavam disponíveis nos documentos oficiais e relatórios técnicos avaliados e

disponibilizados pela Marinha do Brasil.

Na análise energética explora-se aspectos de potência instalada, rendimento e eficiência de diversos equipamentos, onde, de acordo com o tipo de instalação, residencial, institucional, industrial ou outra, o software automaticamente relaciona os respectivos equipamentos básicos. O custo da energia e dados como temperatura mínima de resfriamento e aquecimento também são encontrados nesta seção do RETScreen.

A análise de custos propicia o usuário a entrar com informações de custos alheios aos energéticos, como custos do estudo de viabilidade, de engenharia, treinamento e contingências, o que torna o software bastante abrangente. Esta análise não é obrigatória, pois há a opção de diagnóstico mais simples onde esta sessão quanto a análise de risco são omitidas.

Nas emissões, o RETScreen permite pesquisas relacionadas ao país e região onde o projeto será realizado e ao tipo de combustível produtor de eletricidade. Se o método “país de referência” for indicado, o fator de emissão de gases de efeito estufa será relacionado à matriz energética do país, caso seja pelo tipo de combustível, será pelo fator de emissão da fonte energética.

Na análise financeira, o software gera um gráfico de fluxo de caixa acumulado pelo tempo de vida útil designado no projeto, levando em consideração o reajuste anual do custo do combustível, taxa de descontos, incentivos, entre outras taxas.

E, finalmente, a análise de risco, como o próprio nome indica, sonda as margens de sensibilidade e risco relacionadas ao projeto de eficiência energética ou fonte alternativa de energia.

### 3.5 OBJETOS DE ESTUDO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As cargas estabelecidas para análise em efficientização nesta dissertação estão descritas a seguir:

- **SISTEMA DE ILUMINAÇÃO:**

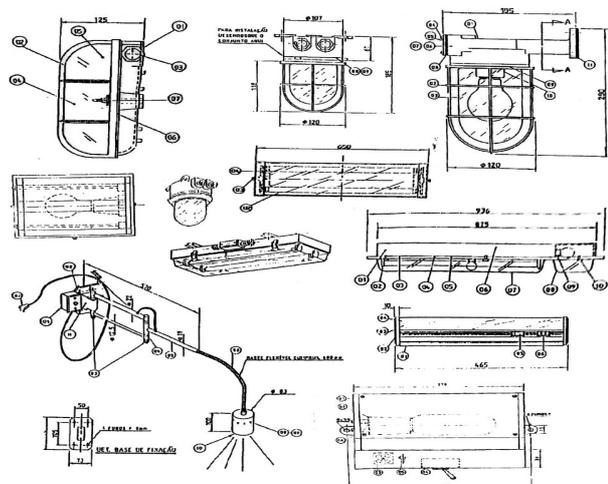
O projeto do navio foi feito no ano 1997, assim, as lâmpadas estipuladas eram apenas dos tipos incandescentes, halógenas e fluorescente tubulares, como

exibe a Figura 3.4. Posteriormente, com o barateamento da fluorescente compacta, as incandescentes foram sendo substituídas, salvo para as luminárias de emergência que ainda se servem das incandescentes no P-49. A Tabela 3.1 apresenta a relação das luminárias e suas respectivas lâmpadas presentes no navio.

Tabela 3.1 – Relação das lâmpadas do navio P-49 analisadas.

Modelo de Luminária	Lum. (pçs)	Tipo de Lâmpada	Lâmp. (pçs/lum)	Potência Lâmp (W)
LEN-096	02	Incandescente	01	40
LEN-097	32	Incandescente	01	40
LEN-100	01	Halógena	01	50
LEN-303	05	Fluorescente Compacta	01	15
LEN-203N	29	Fluorescente Compacta	01	15
LEN-202LG	12	Fluorescente Compacta	01	15
LEN-203VM	05	Fluorescente Compacta	01	15
LEN-203GVM	03	Fluorescente Compacta	01	15
BFN-115	22	Fluorescente tubular	02	20
BFN-211B	20	Fluorescente tubular	02	20
BFN-101	35	Fluorescente tubular	02	20
BFN-105	11	Fluorescente tubular	02	20
BF-101P	16	Fluorescente tubular	02	20
BFN-119	10	Fluorescente tubular	01	15
BFN-130	05	Fluorescente tubular	01	15

Figura 3.4 – Desenho de luminárias incandescentes e fluorescentes presentes no manual técnico das luminárias do navio Guarujá (1997)



Fonte: Marinha do Brasil, 1998.

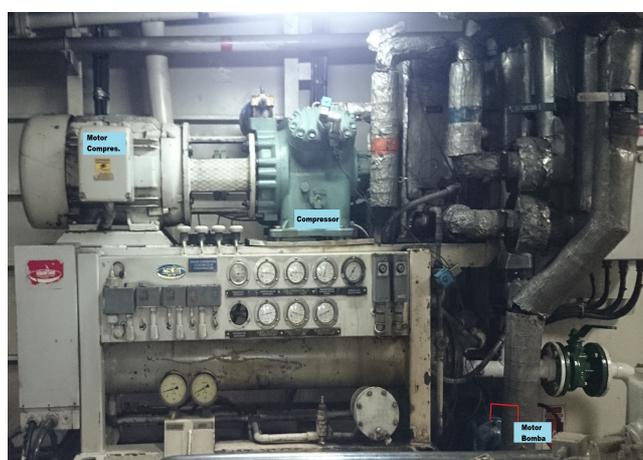
As medidas de eficiência energética propostas nesta dissertação restringem-se às lâmpadas por falta de informações disponíveis sobre os reatores das lâmpadas. Caso houvesse mais dados sobre os reatores das lâmpadas fluorescentes tubulares, as medidas sobre o sistema de iluminação deste navio seriam ainda mais impactantes devido às perdas nos reatores que são necessários às lâmpadas fluorescentes e não são às LED.

- **UNIDADES 1 E 2 DE CONDICIONAMENTO DE AR:**

As unidades de condicionamento de ar do navio Guarujá acoplam dois sistemas que se complementam: o sistema de resfriamento dos motores principais (por isso a necessidade de duas unidades, mesmo número de motores de propulsão) e o sistema de refrigeração do ambiente. Para o resfriamento do motor há uma bomba do tipo Chillwater, apresentada nas Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4, que bombeia a água salgada dos mares para trocar calor com a água doce que passa por câmaras de resfriamento localizadas na parte externa do motor. Responsáveis pelo sistema de resfriamento da água doce e do ambiente há um compressor a pistão e um ventilador radial. Os motores analisados serão: 2 motores das bombas Chillwater, 2 motores dos compressores e 2 motores dos ventiladores radiais. As Figuras 3.5(a) e 3.5(b) reproduzem uma unidade de condicionamento presente no navio Guarujá.

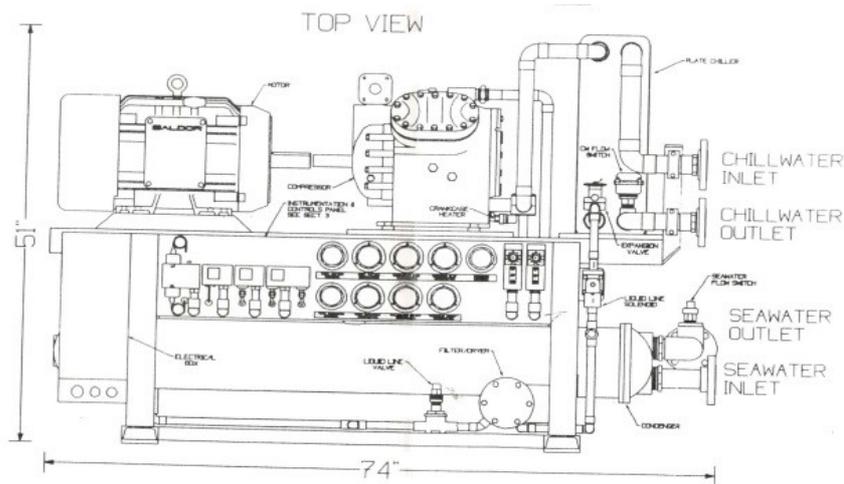
- **BOMBAS CHILLWATER**

Figura 3.5(a) – Unidade do Sistema de Refrigeração



Fonte: Autora.

Figura 3.5b – Desenho técnico da Unidade do Sistema de Refrigeração.



Fonte: Marinha do Brasil, 1998

Tabela 3.2 – Referências das Bombas Chillwater e de seus motores

Marca da Bomba	AQUA AIR – Marine Air Conditioning Systems	Marca do Motor	Baldor
Modelo	XT150B-40-15F	Número no catálogo	JMM3550T
Quantidade	2	Preço de tabela	337\$
Vendedor	Price Pump Company	Ano de fabricação	1997

Tabela 3.3 – Dados técnicos dos Motores das bombas Chillwater encontrados no P-49

Potência	1,5 HP	Ligação	Trifásico
Velocidade	3450 rpm	Tipo	TEFC
Tensão	208 – 230 – 460 V	Frequência	60 Hz
Corrente	5-4,6/2,3 A	Fator de potência	76%
Polos	2	Fator de serviço	1,15

Tabela 3.4 – Dados obtidos em teste no ato da compra dos motores das bombas Chillwater em 1997

	Motor (35WG0082) do ar cond. (Chillwater Pump XT150B-40-15F)						
% de carga	25	50	75	100	125	150 S.F	
Fator de Potência	43	59	71	79	83	86	81
Eficiência	52.2	66.7	72.7	75.5	76.2	76.1	75.9
Velocidade rpm	3558	3528	3496	3461	3424	3382	3439
Corrente de linha	1.6	1.8	2.1	2.4	2.8	3.2	2.7

O motor da bomba Chillwater e da bomba de incêndio foram os únicos motores cujos dados de rendimento e fator de potência foram encontrados em documentos oficiais referentes ao navio estudado da Marinha do Brasil por serem

iguais, os demais motores utilizados nesta dissertação como objetos de ações eficientizadoras não continham os dados necessários ao estudo proposto. Assim, utilizou-se o simulador o BD Motor e seu banco de dados para cadastrar os motores chillwater e da bomba de incêndio, mostrados na Figura 3.6, e para estipular um motor similar aos reais analisados sem maiores informações. Os motores escolhidos no BD Motor, neste caso, foram os fabricados em 1997 e com maior rendimento a 100% de carga.

Figura 3.6 – Motor Chillwater em uso - BD Motor.

Sigla do Fabricante	Tipo	RPM	Grau de Proteção	Fabricante	
BALDOR	Padrão	3600	IP54	Cadastrar >>	
<b>Num. 450</b>					
Potencia(CV)	1,5	Rendimento 50%	66,7	Momento de Inércia (kgm²)	0,001
Caraça	80	Rendimento 75%	72,7	Tempo com Rotor Bloqueado (s)	7
RPM Assinc.	3450	Rendimento 100%	75,5	Nível de Ruído (dB)	
Corrente Nominal (A)	4,6	Fator de Potência 50%	0,59	Peso(kg)	14,3
Corrente Rotor Bloqueado (A)	6,5	Fator de Potência 75%	0,71	Preço (R\$)	337
Conjugado Nominal (kgfm)	0,32	Fator de Potência 100%	0,79	Garantia (Anos)	1
Conjugado Rotor Bloqueado	2,8	Fator de Serviço	1,15	Ano de Fabricação	1997
Conjugado Máximo	3,7				
<b>Número do Motor</b>					

Fonte: Autora.

Como etapa preliminar das análises no BD Motor também é necessário o cadastramento dos motores novos, onde os dados do motor escolhido para substituir os em uso nas bombas Chillwater são apresentados na Figura 3.7.

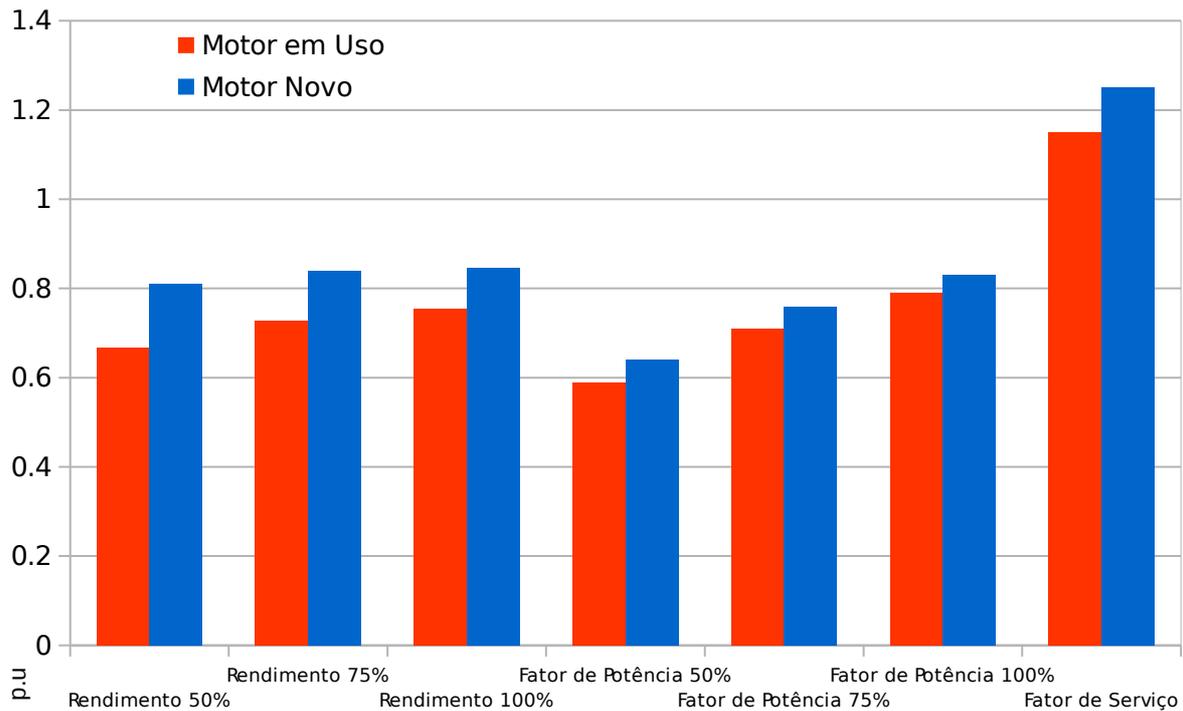
Figura 3.7 – Motor Chillwater novo - BD Motor

Sigla do Fabricante	Tipo	RPM	Grau de Proteção	Fabricante	
WEG	Alto Rendimento	3600	IP55	Cadastrar >>	
<b>Num. 2641</b>					
Potencia(CV)	1,5	Rendimento 50%	81	Momento de Inércia (kgm²)	0,00087
Caraça	80	Rendimento 75%	84	Tempo com Rotor Bloqueado (s)	19
RPM Assinc.	3445	Rendimento 100%	84,6	Nível de Ruído (dB)	62
Corrente Nominal (A)	4,11	Fator de Potência 50%	0,64	Peso(kg)	14
Corrente Rotor Bloqueado (A)	8,4	Fator de Potência 75%	0,76	Preço (R\$)	944,01
Conjugado Nominal (kgfm)	0,32	Fator de Potência 100%	0,83	Garantia (Anos)	2
Conjugado Rotor Bloqueado	3,5	Fator de Serviço	1,25	Ano de Fabricação	2016
Conjugado Máximo	3,6				

Fonte: Autora.

O motor foi cadastrado com o número 2641, onde sua carcaça é igual ao do motor antigo, velocidade assíncrona 5 rpm's menor, corrente nominal um pouco maior, rendimento de 84,6% e fator de potência de 0,83 a plena carga, O Gráfico 3.1 mostra as características dos motores em uso nas bombas Chillwater e seus respectivos substitutos.

Gráfico 3.1 – Dados elétricos dos motores analisados para a análise energética – Bombas Chillwater



Fonte: Autora.

O aperfeiçoamento tanto do rendimento quanto no fator de potência são cruciais na efficientização dos motores, agindo diretamente no consumo de potência ativa da carga. Os motores novos incrementaram estes fatores tanto para plena carga quanto para 50% e 75% de carga. Outro melhoramento está sobre o fator de serviço de 1,25, indicando que o motor pode suportar continuamente até 25% acima da sua potência nominal e os motores em uso no navio, apenas 15%.

#### o VENTILADORES

Os atuais motores vinculados aos ventiladores do ar condicionado do Guarujá têm a potência instalada de 7,5 HP e corrente de 10,6 A. Esta é toda a informação disponível nas plantas e documentos oficiais averiguados. Portanto, a

Figura 3.8 mostra os dados do motor selecionado no BD Motor para substituir os motores reais nas pesquisas.

Figura 3.8 – Motor Ventilador do Ar Condicionado em uso - BD Motor

Marca do Fabricante	Tipo	Velocidade	Classe de Proteção	Fabricante
WEG	Padrão	1800	IP54	Cadastrar >>
<b>Num. 625</b>				
Potencia(CV)	7,5	Rendimento 50%	85	Momento de Inércia (kgm <sup>2</sup> )
Carcapa	112 M	Rendimento 75%	86,2	Tempo com Rotor Bloqueado (s)
RPM Assinc.	1730	Rendimento 100%	86,2	Nível de Ruído (dB)
Corrente Nominal (A)	20	Fator de Potência 50%	0,72	Peso(kg)
Corrente Rotor Bloqueado (A)	7,5	Fator de Potência 75%	0,8	Preço (R\$)
Conjugado Nominal (kgfm)	3,1	Fator de Potência 100%	0,84	Garantia (Anos)
Conjugado Rotor Bloqueado	3	Fator de Serviço	1,15	Ano de Fabricação
Conjugado Máximo	3,2			

Fonte: Autora.

O motor selecionado é o de número 625 do BD Motor que tem rendimento de 86,2% e fator de potência de 0,84 a 100% de carga. A corrente nominal do motor 625 é de 20 A a 220 V, ou seja, de 10 A a 440 V, conforme a lei de Ohm, valor aproximado ao dos motores reais. A Figura 3.9 ilustra o motor de alto rendimento escolhido para substituir os motores dos ventiladores.

Figura 3.9 - Motor Ventilador do Ar Condicionado novo - BD Motor

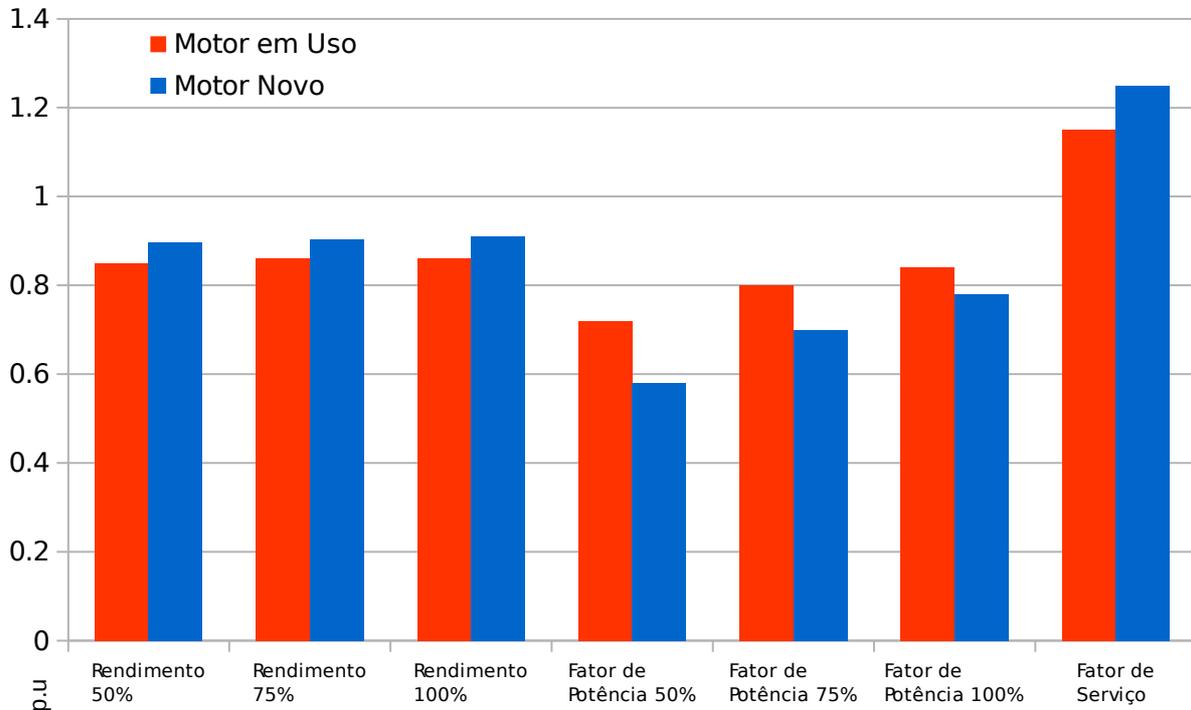
Marca do Fabricante	Tipo	Velocidade	Classe de Proteção	Fabricante
WEG	Alto Rendimento	1800	IP55	Cadastrar >>
<b>Num. 2643</b>				
Potencia(CV)	7,5	Rendimento 50%	89,7	Momento de Inércia (kgm <sup>2</sup> )
Carcapa	112 M	Rendimento 75%	90,3	Tempo com Rotor Bloqueado (s)
RPM Assinc.	1750	Rendimento 100%	91	Nível de Ruído (dB)
Corrente Nominal (A)	20,4	Fator de Potência 50%	0,58	Peso(kg)
Corrente Rotor Bloqueado (A)	7,3	Fator de Potência 75%	0,7	Preço (R\$)
Conjugado Nominal (kgfm)	3,08	Fator de Potência 100%	0,78	Garantia (Anos)
Conjugado Rotor Bloqueado	2,5	Fator de Serviço	1,25	Ano de Fabricação
Conjugado Máximo	3,2			
<b>Número do Motor</b>				
2643 Motor Selecionado Para Edição.				

Fonte: Autora.

O motor foi cadastrado com o número 2643, sua carcaça é parecida a do motor em uso, velocidade assíncrona 20 rpm's maior, corrente nominal 0,4 A maior,

rendimento de 91% e fator de potência de 0,78 a plena carga. O Gráfico 3.2 mostra as características dos motores em uso nas bombas Chillwater e seus respectivos substitutos.

Gráfico 3.2 – Dados dos motores analisados – Ventilador do Ar Cond



Fonte: Autora.

O aperfeiçoamento do motor selecionado refletiu-se somente sobre seu rendimento, pois o fator de potência caiu bastante em relação aos motores em uso. Neste caso, a medida de eficiência energética entrou em conflito com a qualidade da energia, pois a diminuição do fator de potência pode causar sobretensões na rede de distribuição, entre outros problemas. O fator de serviço, como os dos outros motores novos, é de 1,25.

#### ◦ **COMPRESSORES**

Para a verificação dos motores dos compressores das unidades de condicionamento de ar efetivos, os equipamentos também foram selecionados no banco de dados do BD Motor. Os motores selecionados devem atender 30 HP de potência instalada e uma corrente 38 A à 440 V. A Figura 3.10, então, mostra suas informações técnicas no Simulador.

Figura 3.10 – Motor em uso Compressor do Ar Condicionado - BD Motor

WEG		Padrão		1800		IP54		Cadastrar >>	
<b>Num. 631</b>									
Potencia(CV)	30	Rendimento 50%	89	Momento de Inércia (kgm²)	0,177				
Carcaça	180 M	Rendimento 75%	90,4	Tempo com Rotor Bloqueado (s)	6				
RPM Assinc.	1765	Rendimento 100%	91	Nível de Ruído (dB)	71				
Corrente Nominal (A)	74	Fator de Potência 50%	0,75	Peso(kg)	150				
Corrente Rotor Bloqueado (A)	7,6	Fator de Potência 75%	0,83	Preço (R\$)	1087,75				
Conjugado Nominal (kgfm)	12,2	Fator de Potência 100%	0,86	Garantia (Anos)	2				
Conjugado Rotor Bloqueado	3	Fator de Serviço	1,15	Ano de Fabricação	1997				
Conjugado Máximo	2,6								

Fonte: Autora.

Os motores dos compressores dos condicionadores de ar 1 e 2 escolhidos no BD Motor são os de número 631, com rendimento de 91% e 0,86 fator de potência em plena carga, com o nível de ruído de 71 dB e peso de 150 kg. A Figura 3.11 ilustra o motor de alto rendimento escolhido para substituir os motores dos compressores as unidades de ar condicionado.

Figura 3.11 - Motor novo Compressor do Ar Condicionado - BD Motor

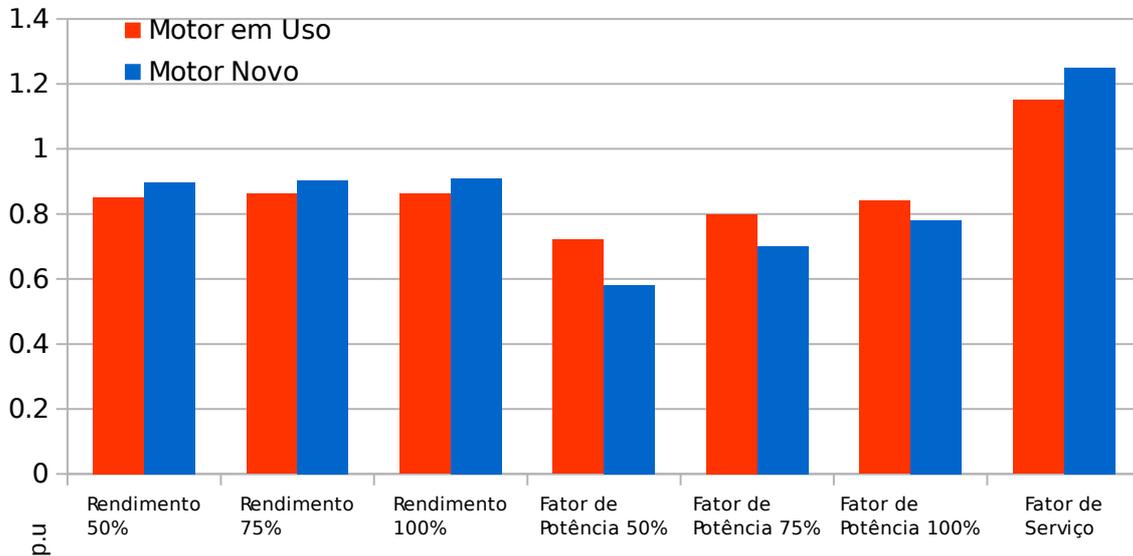
WEG		Alto Rendimento		1800		IP55		Cadastrar >>	
<b>Num. 2644</b>									
Potencia(CV)	30	Rendimento 50%	93	Momento de Inércia (kgm²)	0,19185				
Carcaça	180 M	Rendimento 75%	93,8	Tempo com Rotor Bloqueado (s)	20				
RPM Assinc.	1760	Rendimento 100%	94	Nível de Ruído (dB)	64				
Corrente Nominal (A)	73,9	Fator de Potência 50%	0,68	Peso(kg)	176				
Corrente Rotor Bloqueado (A)	7,2	Fator de Potência 75%	0,78	Preço (R\$)	8648,24				
Conjugado Nominal (kgfm)	12,2	Fator de Potência 100%	0,83	Garantia (Anos)	2				
Conjugado Rotor Bloqueado	3	Fator de Serviço	1,25	Ano de Fabricação	2016				

Fonte: Autora.

O número do motor novo cadastrado é 2643, sua carcaça é igual a do motor em uso, podendo, portanto, o substituir sem maiores esforços de instalação. A velocidade assíncrona deste é apenas 5 rpm's menor do que a do motor em uso considerado, sua corrente nominal 0,1 A menor, porém seu rendimento à plena

carga é 3% maior. O Gráfico 3.3 mostra as características dos motores em uso nos compressores dos condicionadores ar e seus substitutos de alto rendimento.

Gráfico 3.3 – Dados dos motores analisados para a análise energética – Compressor do Ar Condicionado



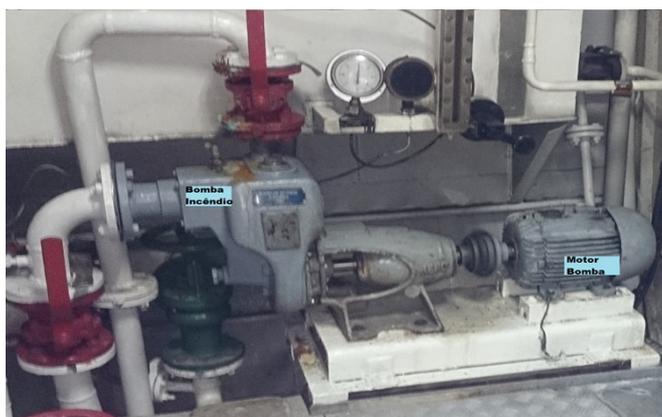
Fonte: Autora.

O aperfeiçoamento do motor selecionado igualmente aos motores novos dos ventiladores, refletiu-se somente sobre seu rendimento, pois o fator de potência também caiu em relação aos motores em uso. Mais uma vez, a medida de efficientização entrou em conflito com a qualidade da energia, diminuindo o fator de potência. O fator de serviço, bem como os dos outros motores novos, é de 1,25.

- **SALVAMENTO:**

Para a manutenção da segurança da tripulação e também o auxílio a outros navios, o navio Patrulha Guarujá conta com duas bombas de incêndio. Estas estão localizadas na casa de máquina e contam com 2 motores de 1,5 HP, semelhantes aos motores das bombas Chillwater já apresentados anteriormente. A Figura 3.12 mostra uma foto de uma das bombas e de seu respectivo motor.

Figura 3.12 - Bomba de incêndio do P-49



Fonte: Autora.

Para as análises energéticas, os motores novos também serão os mesmos escolhidos para substituir os atualmente usados nas bombas Chillwater. Assim, as unidades estudadas para as bombas de incêndio no BD Motor são o de número 450 para os motores em uso e 2641 para os novos motores.

- **GERADOR AUXILIAR:**

O gerador auxiliar é uma medida de segurança dos tripulantes, cuja função é garantir o fornecimento de energia para o navio em caso de sinistros. Na pesquisa foi investigado um ventilador de resfriamento deste, cujo motor é de 0,5 HP. A Figura 3.13 divulga os dados do motor destacado do software auxiliador.

Figura 3.13- Motor em uso do Ventilador do Gerador Auxiliar - BD Motor

KOHLBACH		Padrão		1800		IP54		Cadastrar >>	
<b>Num.</b>	424								
Potencia(CV)	0,5	Rendimento 50%	59,2	Momento de Inércia (kgm <sup>2</sup> )	0,001				
Carcaça	71	Rendimento 75%	65,2	Tempo com Rotor Bloqueado (s)	7				
RPM Assinc.	1685	Rendimento 100%	68,6	Nível de Ruído (dB)					
Corrente Nominal (A)	2	Fator de Potência 50%	0,52	Peso(kg)	9,5				
Corrente Rotor Bloqueado (A)	4,3	Fator de Potência 75%	0,64	Preço (R\$)	99,44				
Conjugado Nominal (kgfm)	0,21	Fator de Potência 100%	0,73	Garantia (Anos)	1				
Conjugado Rotor Bloqueado	2,4	Fator de Serviço	1,25	Ano de Fabricação	1997				
Conjugado Máximo	2,5								

Fonte: Autora.

O motor 424 tem o rendimento e o fator de potência a plena carga de 68,6% e 0,73, respectivamente, sem indicar um valor para o nível de ruído. A Figura 3.14 ilustra o motor de alto rendimento escolhido para substituir os motores dos

ventiladores do gerador auxiliar.

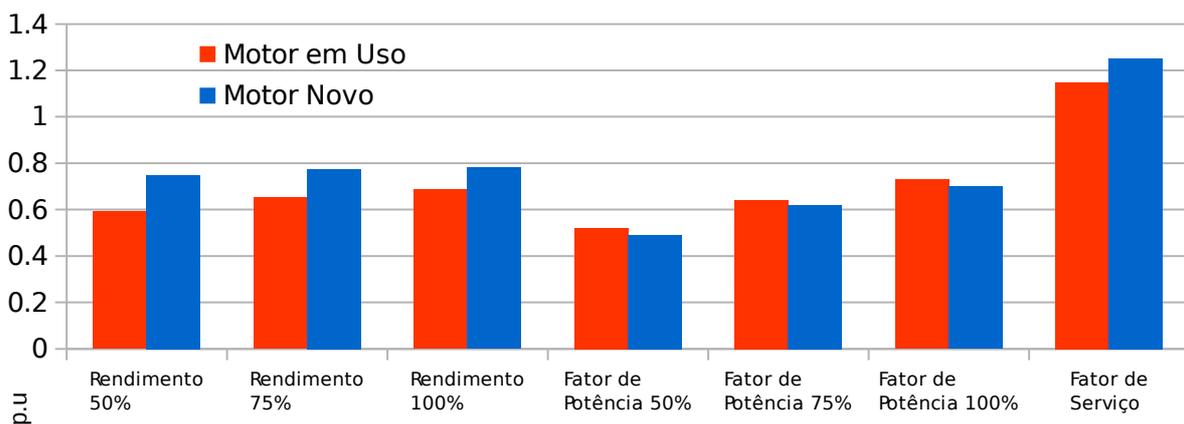
Figura 3.14 - Motor novo do Ventilador do Gerador Auxiliar - BD Motor

<b>Num. 2642</b>					
Potencia(CV)	0,5	Rendimento 50%	75	Momento de Inércia (kgm <sup>2</sup> )	0,00071
Carcaça	71	Rendimento 75%	77,5	Tempo com Rotor Bloqueado (s)	52
RPM Assinc.	1690	Rendimento 100%	78,2	Nível de Ruído (dB)	47
Corrente Nominal (A)	1,77	Fator de Potência 50%	0,49	Peso(kg)	8,5
Corrente Rotor Bloqueado (A)	5,1	Fator de Potência 75%	0,62	Preço (R\$)	641,77
Conjugado Nominal (kgfm)	0,21	Fator de Potência 100%	0,7	Garantia (Anos)	2
Conjugado Rotor Bloqueado	2,8	Fator de Serviço	1,25	Ano de Fabricação	2016

Fonte: Autora.

O número do motor novo cadastrado é 2642, sua carcaça é igual a do motor em uso, podendo, portanto, o substituir sem maiores esforços de instalação. A velocidade assíncrona deste é apenas 5 rpm's maior do que a do motor em uso considerado, sua corrente nominal 0,23 A menor, porém seu rendimento à plena carga é quase 10% maior. O Gráfico 3.4 mostra as características dos motores em uso no ventilador do gerador auxiliar e seus respectivos substitutos de alto rendimento.

Gráfico 3.4 – Dados dos motores analisados para a análise energética – Ventilador do Gerador Auxiliar



Fonte: Autora.

Mais uma vez, a ação de eficiência energética causou divergência com a qualidade de energia, embora em menor proporção. No entanto, o rendimento do motor selecionado como novo é quase 10% maior do que o adotado como em uso.

- **CÂMARA FRIGORÍFICA:**

A câmara frigorífica é utilizada no setor de refrigeração de produtos perecíveis para atender à tripulação do P-49. O equipamentos explorados nessa área são um ventilador com motor de 0,5 CV que compõe a câmara dos vegetais e dos peixes e dois motores de 3 HP ligados a compressores. O motor do ventilador será definido como o mesmo do ventilador do gerador auxiliar. A Figura 3.15 apresenta os dados dos motores de 3 HP conectados aos compressores da frigorífica.

Figura 3.15 – Motor em uso dos Compressores da Câmara Frigorífica - BD Motor

KOHLBACH		Padrão		1800		IP54		Cadastrar >	
<b>Num. 429</b>									
Potencia(CV)	3	Rendimento 50%	74,8	Momento de Inércia (kgm <sup>2</sup> )	0,006				
Caixa	90 L	Rendimento 75%	77,7	Tempo com Rotor Bloqueado (s)	6				
RPM Assinc.	1715	Rendimento 100%	79,6	Nível de Ruído (dB)					
Corrente Nominal (A)	9	Fator de Potência 50%	0,66	Peso(kg)	22,7				
Corrente Rotor Bloqueado (A)	6,7	Fator de Potência 75%	0,76	Preço (R\$)	185,08				
Conjugado Nominal (kgfm)	1,26	Fator de Potência 100%	0,84	Garantia (Anos)	1				
Conjugado Rotor Bloqueado	3	Fator de Serviço	1,15	Ano de Fabricação	1997				
Conjugado Máximo	3,8								

Fonte: Autora.

O motor escolhido no BD Motor para representar o motor atrelado aos compressores da câmara frigorífica é o de número 429 que tem rendimento de 79,6% e fator de potência em 0,84 a plena carga. Seu fator de serviço é o mesmo de todos os outros motores do BD Motor, de 1,15 e não apresenta o nível de ruído em dB. Seu preço, em 1997, era de R\$ 185,08 com apenas 1 ano de garantia. A Figura 3.16 ilustra o motor de alto rendimento selecionado para substituir os motores dos compressores das unidades frigoríficas.

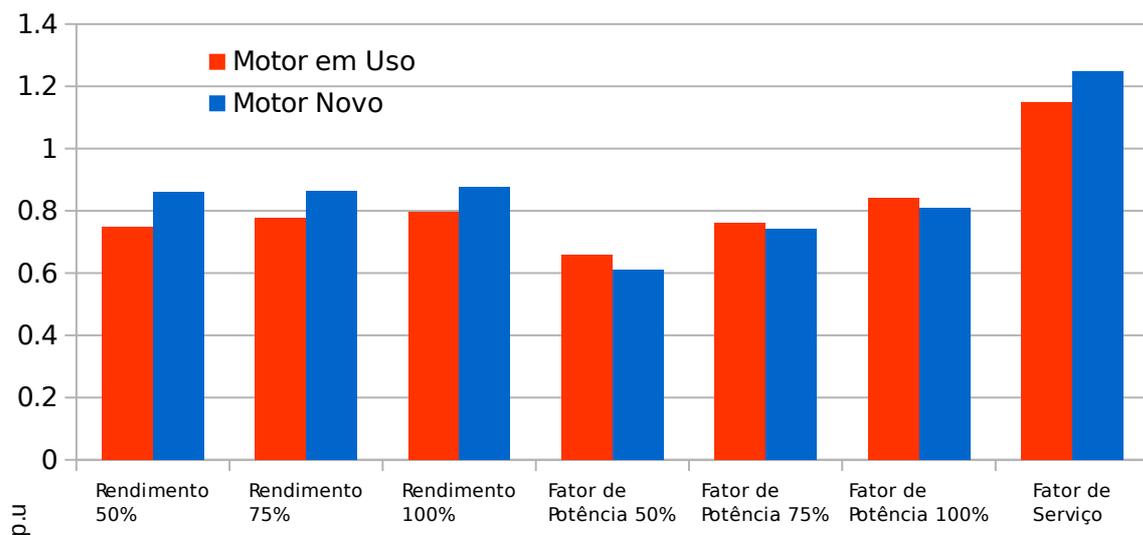
Figura 3.16 – Motor novo dos Compressores da Câmara Frigorífica - BD Motor

WEG		Alto Rendimento		1800		IP55		Cadastrar >	
<b>Num. 2647</b>									
Potencia(CV)	3	Rendimento 50%	86	Momento de Inércia (kgm <sup>2</sup> )	0,00765				
Carcaca	L90L	Rendimento 75%	86,5	Tempo com Rotor Bloqueado (s)	11				
RPM Assinc.	1750	Rendimento 100%	87,5	Nível de Ruído (dB)	51				
Corrente Nominal (A)	8,12	Fator de Potência 50%	0,61	Peso(kg)	25				
Corrente Rotor Bloqueado (A)	7,4	Fator de Potência 75%	0,74	Preço (R\$)	1244,15				
Conjugado Nominal (kgfm)	1,26	Fator de Potência 100%	0,81	Garantia (Anos)	2				
Conjugado Rotor Bloqueado	2,8	Fator de Serviço	1,25	Ano de Fabricação	2016				

Fonte: Autora.

O número do motor novo cadastrado é 2647, sua carcaça é bem parecida a do motor em uso, sendo a melhor versão deste tipo de carcaça. Suas dimensões são iguais, por isso, substitui sem maiores esforços de instalação. A velocidade assíncrona deste é 35 rpm's menor que a do motor em uso considerado, sua corrente nominal 0,88 A maior e seu rendimento à plena carga é cerca de 7% maior. O Gráfico 3.5 mostra as características dos motores em uso nos compressores da câmara frigorífica e seus respectivos substitutos de alto rendimento.

Gráfico 3.5 – Dados dos motores analisados para a análise energética – Compressor da Câmara Frigorífica



Fonte: Autora.

Mais uma vez, a divergência da medida de eficiência energética com a qualidade de energia se repete. No entanto, o rendimento do motor selecionado como novo justifica a escolha do mesmo.

## 4 AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: LÂMPADAS

A principal ferramenta utilizada para a análise em eficiência energética nesta dissertação é o RETScreen 4, trabalhando com três tipos de análises: energética, de emissões e financeira.

Na análise energética explorou-se aspectos associados ao custo da energia, potência das lâmpadas, eficiência luminosa, tempo de utilização, entre outros. Para representar o estudo de caso faz-se necessária a consideração de dois combustíveis principais atendendo todas as cargas em momentos diferentes: o diesel, quando o navio está em alto mar (estipulado a 15 dias por mês); e a energia elétrica oriunda do Sistema Interligado Nacional (SIN) disponível nos portos, quando o P-49 está ancorado (novamente 15 dias por mês).

O RETScreen apresenta um grande problema quanto a isso, pois não possibilita a mudança de horário de utilização do combustível principal, tomando como fixa a disponibilidade em 7 dias da semana, 24 horas por dia. O RETScreen entende ainda que o combustível principal abastece as cargas gerais e o secundário somente os sistemas de aquecimento e refrigeração. Para contornar este problema, dois estudos foram realizados paralelamente: quando o navio utiliza o diesel e quando se alimenta da eletricidade de porto, configurando diretamente nas janelas específicas do software a quantidade de lâmpadas analisadas como a metade em ambos os casos. Assim, pode-se simplesmente somar o consumo de energia, as emissões de gás carbônico e o tempo de retorno. Para as lâmpadas em número ímpar, considerou-se a metade do tempo de utilização.

A tarifa imposta pela Aneel para a energia elétrica gerada por motores a diesel [26] é de 1,42 R\$/kWh e a tarifa de energia elétrica do Grupo A3 para o Poder Público Federal (classificação generalista de porto), de 0,44 R\$/kWh [27]. No ancoramento, os portos também cobram uma tarifa portuária pela energia elétrica,

neste estudo adotada como 0,13 R\$/kWh [28], adicionando este valor ao preço do combustível 'energia elétrica' no RETScreen para este caso, 0,57 R\$/kWh.

As emissões, nesta pesquisa, serão tratadas por fonte de energia analogamente à tarifa de energia, onde a geração de eletricidade é dita 50% por motores a diesel, pois a energia elétrica é oriunda do porto quando o navio está ancorado e dos motores a diesel quando estão em viagem. O RETScreen apresenta o fator de emissão de CO<sub>2</sub> para o combustível diesel em 244,5 Kg/GJ, o fator de emissão de CH<sub>4</sub> em 0,0067 Kg/GJ e o fator de emissão de N<sub>2</sub>O em 0,0067 Kg/GJ. Para a eletricidade do porto, o método adotado será o da matriz nacional, onde o fator de emissão de CO<sub>2</sub> é de 0,087 tCO<sub>2</sub>/kWh.

E, finalmente, na análise financeira, o software gera um gráfico de fluxo de caixa acumulado pelo tempo de vida útil de 20 anos, levando em consideração o reajuste anual do custo do combustível a 2%[29] e a inflação em 9,5%[30], sem que haja taxa de desconto, incentivos, subsídios ou dívida bancária.

#### 4.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

No navio P49 ainda são utilizadas lâmpadas incandescentes para as luzes de emergência, então o tempo determinado para o uso diário deste tipo de lâmpada foi de 5 minutos, ou 0,0833 h/dia, para a lâmpada halógena, localizada na mesa de cartas, o tempo determinado foi de 15 minutos ou 0,25 h/dia e para as fluorescentes compactas, 3 h/dia. Para as lâmpadas fluorescentes tubulares adotou-se o tempo de uso de 6 h/dia, relacionando o tempo de iluminação artificial tanto em lugares totalmente fechados quanto em lugares com iluminação natural.

O gasto mensal de iluminação no navio de acordo com o tipo de lâmpada sem considerar as trocas das lâmpadas pelo seu tempo de vida útil pode ser obtido através da equação (1).

$$C_{Lâmp} = CG_{(R\$/Wh)} \times N_i \times P_{(W)} \times (T_{(h/dia)}/2) \times 360 \quad (1)$$

Onde,  $C_{Lâmp}$  é o custo anual de consumo de energia elétrica da lâmpada escolhida,  $CG_{(R\$/Wh)}$ , o custo da geração da eletricidade em reais por Wh,  $N_i$ , o número de lâmpadas por luminária,  $P_{(W)}$ , a potência da lâmpada e  $T$ , o período de uso em horas por dia.

A Tabela 4.1 representa a quantidade, a potência e os custos anuais sem a

relação das trocas por queimas, tanto para o combustível diesel quanto para a eletricidade oriunda do SIN e o consumo anual total.

Tabela 4.1 – Relação dos custos mensais por lâmpada do navio.

Tipo de Lâmpada	Qt.	Potência (W)	Consumo Anual Calc - SIN (R\$)	Consumo Anual Calc - Diesel (R\$)	Consumo Anual Calc - Total (R\$)
Incandescente	34	40	11,60	28,92	40,52
Halógena	01	50	1,28	3,19	4,47
Fluorescente Compacta	54	15	249,31	621,10	870,41
Fluorescente Tubular	15	15	138,51	345,06	483,57
Fluorescente Tubular	208	20	2.560,89	6.379,77	8.940,66
<b>Total</b>	<b>312</b>	<b>-</b>	<b>2.961,61</b>	<b>7.378,06</b>	<b>10.339,67</b>

O custo anual total calculado de consumo de combustível pelas lâmpadas do caso real é de 10.339,67 reais, sendo o consumo do navio em alto mar quase 2,5 vezes maior do que quando está ancorado. A Tabela 4.2 ilustra os mesmos dados das lâmpadas do caso referência para as lâmpadas LED propostas como medida eficientizadora para comparação dos consumos por lâmpada.

Tabela 4.2 – Relação dos custos anuais por lâmpada LED.

Tipo de Lâmp.	Qt.	Potência (W)	Consumo Anual Calc - SIN (R\$)	Consumo Anual Calc - Diesel (R\$)	Consumo Anual Calc - Total (R\$)
LED E27	34	6,5	1,88	4,69	6,57
LED Dicroica	01	5	0,12	0,31	0,43
LED E27	54	9	149,59	372,66	522,25
LED TUBE	15	9	83,10	207,03	290,13
LED TUBE	208	13	1.664,58	4.146,85	5.811,43
<b>Total</b>	<b>312</b>	<b>-</b>	<b>1.899,29</b>	<b>4.731,57</b>	<b>6.630,86</b>

Com a substituição das unidades do caso proposto por lâmpadas de LED, o custo anual de combustível total seria de R\$ 6.630,86. A economia anual de combustível seria, então, de R\$ 3.708,81.

Além do custo do consumo de cada lâmpada é importante relacionar a vida útil de cada lâmpada estudada, presente na Tabela 4.3, em horas e em anos, para definir o tempo de vida do projeto como o menor calculado seguindo a Equação 2.

$$Vp_{anos} = Vn_{(h)} / [T_{(h/dia)} \times 360_{(dias/ano)}] \quad (2)$$

Onde  $Vp_{anos}$  é a vida útil da lâmpada nova em anos,  $V_{(h)}$ , a vida útil em horas e  $T_{(h/dia)}$ , o tempo de utilização em horas por dia.

Tabela 4.3 – Relação da vida útil por lâmpada.

Lâmpada Antiga	Vida Útil (h)	Lâmpada Nova	Vida Útil (h)	Tempo de Utilização (h/dia)	Vida Útil – Lamp Nova (anos)
Incandescente	1.000	LED E27	25.000	0,0833	833,66
Halógena	2.000	LED Dicroica	25.000	0,25	277,77
Fluorescente Compacta	6.000	LED E27	25.000	3	23,14
Fluorescente Tubular	13.000	LED TUBE	50.000	6	23,14
Fluorescente Tubular	13.000	LED TUBE	50.000	6	23,14

A vida útil das lâmpadas propostas é bastante superior ao das antigas, fornecendo por até 25 vezes mais tempo a claridade do ambiente. Observando a menor vida útil em anos das lâmpadas estudadas em 23,14 anos, o tempo do projeto no RETScreen será fixado em 20 anos para atender todas as lâmpadas propostas.

A Equação 3 mostra a economia de operação e manutenção,  $O\&M_{Incremental}$ , anual das lâmpadas antigas diretamente proporcional ao custo  $I$  das trocas das lâmpadas antigas de uma luminária necessárias à equivalência em termo de vida útil com as lâmpadas propostas, representado na Equação 4, e inversamente proporcional ao tempo  $\zeta$  de utilização da lâmpada em anos, ilustrado na Equação 5.

$$O\&M_{Incremental} = I / \zeta \quad (3)$$

$$I = N_i \times P_A \times (V_N / V_A) \quad (4)$$

$$\zeta = V_A / (T \times 360) \quad (5)$$

Onde  $N_i$  é o número de lâmpadas por luminária,  $P_A$ , o preço das lâmpadas antigas,  $V_N$ , a vida útil da lâmpada nova,  $V_A$ , a vida útil da lâmpada antiga e  $T$ , o período de uso em horas por dia.

A Tabela 4.4 apresenta o investimento por lâmpada proposta, apontando também o preço das lâmpadas localizadas no P-49 e a economia  $O\&M_{Incremental}$  anual por luminária e a Tabela 4.5, os tempos de retorno individuais e total.

Tabela 4.4 – Investimento das lâmpada de LED.

Tipo de Lâmp.	Un	Preço (R\$/un)	Corresp.	Preço (R\$/un)	O&M por lâmp. (R\$/ano)	O&M Total (R\$/ano)
LEDe27	34	19,90	Incand.	2,90	1,32	44,88
LED Dicr.	01	69,90	Halóg.	17,90	10,20	10,20
LEDe27	54	29,90	Fluoresc. Comp.	10,90	9,94	536,76
LED TUBE	15	35,00	Fluoresc. Tubular	7,90	5,11	76,65
LED TUBE	208	49,90	Fluoresc. Tubular	10,29	13,33	2772,64

Tabela 4.5 – Tempo de retorno - economia de combustível

Tipo de Lâmpada	Investimento Lâmpadas LED	Consumo Anual Calculado Caso Referência (R\$)	Consumo Anual Calculado Caso Proposto (R\$)	Economia Anual Calculada (R\$)	Retorno do Investimento (anos)
Incandescente	676,60	40,52	6,57	33,95	19,93
Halógena	69,90	4,47	0,43	4,04	17,3
Fluorescente Compacta	1.614,60	870,41	522,25	348,16	4,64
Fluoresc Tubular 15W	525,00	483,57	290,13	193,44	2,71
Fluoresc Tubular 20W	10.379,2	8.940,66	5.811,43	3.129,23	3,32
<b>Total</b>	<b>13.265,30</b>	<b>10.339,67</b>	<b>6.630,86</b>	<b>3.708,81</b>	<b>3,58</b>

O investimento total da compra das lâmpadas de LED é de R\$ 13.265,30 reais, portanto, o tempo de retorno do investimento do projeto baseado apenas na economia de combustível é de 3,58 anos, ou seja, aproximadamente 43 meses.

O tempo de retorno individual das lâmpadas incandescentes é praticamente igual ao tempo de vida do projeto. O mesmo ocorre para a lâmpada halógena. Portanto, ambas são inviáveis. Já as medidas sobre as lâmpadas fluorescentes compactas e tubulares de 15W e 20 W são factíveis, pois seus tempos de retorno são ínfimos perante o tempo de vida do projeto de 20 anos. Desse modo, seguindo somente o critério da economia de combustível, apenas as medidas sobre as lâmpadas fluorescentes seriam tomadas como viáveis.

Todavia, se a vida útil for levada em consideração, o custo do caso atual é acrescido do preço das permutações das lâmpadas, diminuindo mais ainda o tempo de retorno do investimento do caso proposto.

Utilizou-se o software RETScreen para auxiliar o balanço econômico com o advento da economia O&M, resultando no tempo de retorno mais próximo do real, pois considera mais critérios.

O RETScreen disponibiliza a opção de análise da eficiência das lâmpadas por unidade de área ou por tipo de ambiente. O método mais apropriado é o tipo de ambiente como “local de serviços” e 200 LUX de nível de iluminação sugerido. O software oferece um grande banco de dados de tipos de lâmpadas e suas respectivas eficiências luminosas, sendo estipuladas também como impactantes à climatização ambiental.

### 4.1.1 INCANDESCENTES

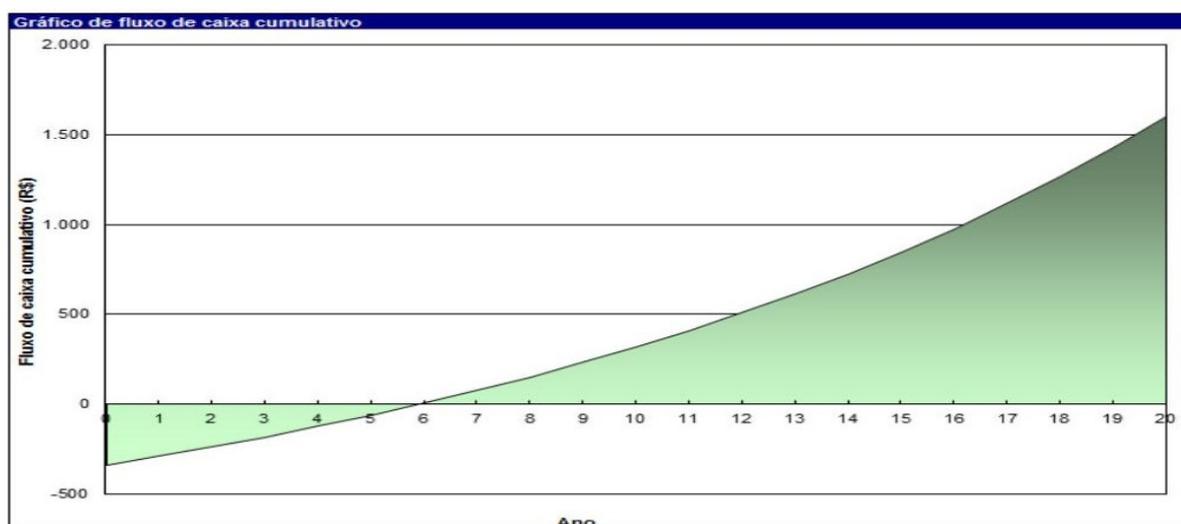
- **DIESEL**

Para o caso de consideração do combustível como diesel, a Tabela 4.6 exibe os dados de entrada e os resultados no RETScreen para as lâmpadas incandescentes e o Gráfico 4.1 exibe o fluxo de caixa acumulado para o tempo de projeto.

Tabela 4.6 – Lâmpadas incandescentes – Diesel - RETScreen

Eficiência Luminosa (lm/W)	14,7	94
Carga elétrica (W)	40	6,5
Lâmpadas por luminária	1	1
Horas de operação (h/dia)	0,0833	0,0833
Custo incremental por luminária (R\$)	-	19,90
Economia O&M por luminária (R\$)	-	1,32
Número de luminárias	17	17
<b>RESULTADOS</b>		
Custo incremental (R\$)		338,00
Economia anual de combustível (R\$)		24,00
Economia O&M anual (R\$)		22,00
Retorno do investimento (anos)		7,2
Economia de combustível anual (MWh)		0,0
Redução anual de GEE (tCO2)		0,0
Equivalência da Redução anual de GEE		Insignificante

Gráfico 4.1 – Fluxo de caixa acumulado – Incandescentes - Diesel



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado, quantificando a economia total gerado pelo software RETScreen para os aspectos tanto de economia de combustível direta quanto pelo O&M incremental, reajuste de combustível e taxa de inflação anual na análise individual das lâmpadas incandescentes para o caso em que o navio está em alto-mar e, por isso, utiliza o combustível “diesel”.

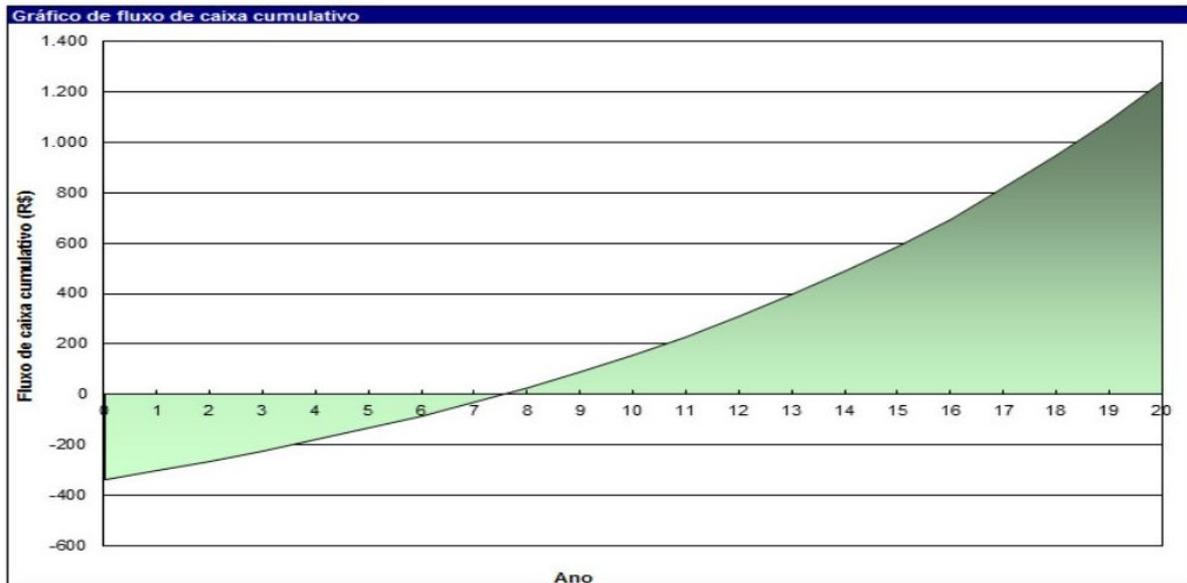
○ **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Para o combustível eletricidade disponível no porto, a Tabela 4.7 exibe os dados de entrada e os resultados no RETScreen para as lâmpadas incandescentes e o Gráfico 4.2 exibe o fluxo de caixa acumulado para o tempo de projeto.

Tabela 4.7 – Lâmpadas incandescentes – SIN - RETScreen

<b>Eficiência Luminosa (lm/W)</b>	14,7	94
<b>Carga elétrica (W)</b>	40	6,5
<b>Lâmpadas por luminária</b>	1	1
<b>Horas de operação (h/dia)</b>	0,0833	0,0833
<b>Custo incremental por luminária (R\$)</b>	-	19,90
<b>Economia O&amp;M por luminária (R\$)</b>	-	1,32
<b>Número de luminárias</b>	17	17
<b>RESULTADOS</b>		
<b>Custo incremental (R\$)</b>		338,00
<b>Economia anual de combustível (R\$)</b>		10,00
<b>Economia O&amp;M anual (R\$)</b>		22,00
<b>Retorno do investimento (anos)</b>		10,5
<b>Economia de combustível anual (MWh)</b>		0,0
<b>Redução anual de GEE (tCO2)</b>		0,0
<b>Equivalência da Redução anual de GEE</b>		Insignificante

Gráfico 4.2 – Fluxo de caixa acumulado – Incandescentes - SIN



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado, quantificando a economia total gerado pelo RETScreen para todos os aspectos para a análise individual das lâmpadas incandescentes para o caso em que o navio está ancorado e utilizando o combustível “energia elétrica da rede interligada nacional”.

◦ **RESULTADOS PARCIAIS**

O RETScreen calculou a economia anual para os dois tipos de combustível, onde a soma aproximada dos dados, R\$ 25,00 e R\$ 10,00, mostrados na Tabela 4.8, equivale ao valor calculado, R\$ 33,95, como mostrado anteriormente na Tabela 4.5. A soma das economias O&M anual do RETScreen, R\$ 44,00, também se equiparou à calculada, R\$ 44,88 de acordo com a Tabela 4.4. A economia em termos de MWh evitado foi apresentada no RETScreen como insignificante, sendo seguido pela redução de gases de efeito estufa (GEE) de igual forma insignificante.

Tabela 4.8 – Resultados parciais – Incandescentes - RETScreen

Custo Diesel (R\$)	Custo SIN (R\$)	Custo Total (R\$/ano)	Economia Comb. Diesel (R\$/ ano)	O&M Diesel (R\$/ano)	Economia Comb. SIN (R\$/ano)	O&M SIN (R\$/ano)	Economia Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
338,00	338,00	676,00	25,00	22,00	10,00	22,00	79,00	8,5

Enquanto o cálculo do tempo de retorno do investimento era baseado apenas na economia de combustível, o retorno individual das ações sobre as lâmpadas incandescente viria em 19,9 anos. Com o acréscimo da economia O&M incremental, este tempo diminuiu para menos da metade, 8,5 anos. A ação continua inviável sobre essas lâmpadas para a substituição imediata das unidades, mas é altamente recomendável a troca por lâmpadas LED assim que elas queimarem (o que ainda vai ser demorado por conta do tempo de utilização das mesmas ser bem pequeno).

#### 4.1.2 HALÓGENA

Uma verificação similar foi feita para a lâmpada halógena, única no navio e presente sobre a mesa de cartas e as tabelas 4.6 e 4.7 apresentam os dados pertinentes aos cálculos do software para o combustível diesel e eletricidade do porto.

- **DIESEL**

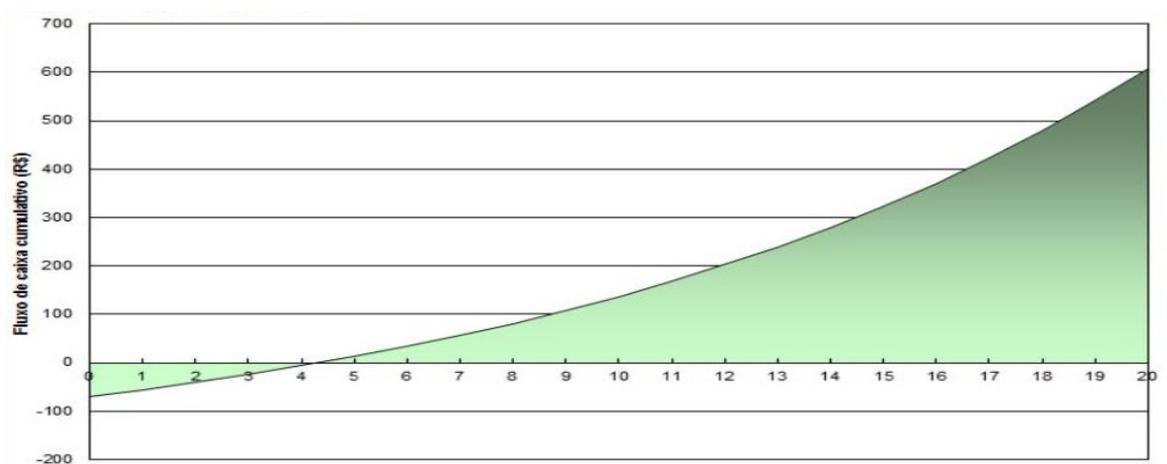
Para as análises baseadas no combustível diesel, a Tabela 4.9 exibe os dados de entrada e os resultados no RETScreen para a lâmpada halógena e o Gráfico 4.3 exibe o fluxo de caixa acumulado para o tempo de projeto.

Tabela 4.9 – Lâmpada Halógena - RETScreen

<b>Eficiência Luminosa (lm/W)</b>	13	94
<b>Carga elétrica (W)</b>	50	5
<b>Lâmpadas por luminária</b>	1	1
<b>Horas de operação (h/dia)</b>	0,125	0,125
<b>Custo incremental por luminária (R\$)</b>	-	69,90
<b>Economia O&amp;M por luminária (R\$)</b>	-	10,20
<b>Número de luminárias</b>	1	1
<b>RESULTADOS</b>		
<b>Custo incremental (R\$)</b>		70,00
<b>Economia anual de combustível (R\$)</b>		3,00
<b>Economia O&amp;M anual (R\$)</b>		10,00
<b>Retorno do investimento (anos)</b>		5,3
<b>Economia de combustível anual (MWh)</b>		0,0

Redução anual de GEE (tCO2)	0,0
Equivalência da Redução anual de GEE	Insignificante

Gráfico 4.3 – Fluxo de caixa acumulado - Halógena



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado, quantificando a economia total para todos os aspectos na análise individual da lâmpada halógena para o caso em que o navio está em alto-mar, utilizando, portanto, o combustível “diesel”.

◦ **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

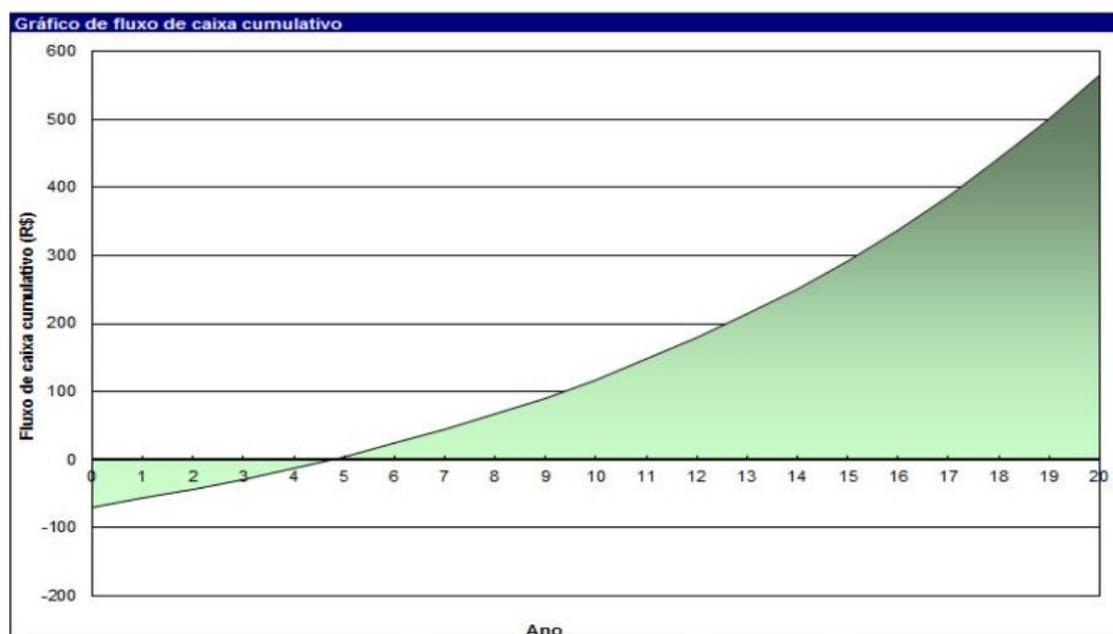
Para as análises baseadas na eletricidade oriundo do porto, a Tabela 4.10 exhibe os dados de entrada e os resultados no RETScreen para a lâmpada halógena e o Gráfico 4.4 exhibe o fluxo de caixa acumulado para os 20 anos de vida do projeto.

Tabela 4.10 – Lâmpada Halógena - RETScreen

Eficiência Luminosa (lm/W)	13	94
Carga elétrica (W)	50	5
Lâmpadas por luminária	1	1
Horas de operação (h/dia)	0,125	0,125
Custo incremental por luminária (R\$)	-	69,90
Economia O&M por luminária (R\$)	-	10,20
Número de luminárias	1	1
<b>RESULTADOS</b>		
Custo incremental (R\$)		70,00
Economia anual de combustível (R\$)		1,00
Economia O&M anual (R\$)		10,00

Retorno do investimento (anos)	6,1
Economia de combustível anual (MWh)	0,0
Redução anual de GEE (tCO2)	0,0
Equivalência da Redução anual de GEE	Insignificante

Gráfico 4.4 – Fluxo de caixa acumulado – Halógena



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado, quantificando a economia total gerado pelo software RETScreen para os aspectos tanto de economia de combustível direta quanto pelo O&M incremental, reajuste de combustível e taxa de inflação anual na análise individual da única lâmpada halógena presente no navio para o caso do ancoramento.

#### ○ RESULTADOS PARCIAIS

Analogamente às lâmpadas incandescentes, o RETScreen mostrou a economia de combustível insignificante assim como a redução de gases do efeito estufa, pois suas medições são em MWh anuais e a energia consumida por uma lâmpada somente não atinge estas proporções.

O tempo de retorno do investimento decaiu drasticamente com o acréscimo da economia de manutenção e operação, de 17,3 anos para 5 anos, conforme a Tabela 4.11. A medida sobre a lâmpada halógena continua sendo vista como inviável para a troca direta desta, mesmo que o acréscimo da economia de operação e manutenção incremental anual adotada tenha diminuído mais de 3

vezes o tempo de retorno do investimento, no entanto, é altamente recomendável a troca por lâmpadas LED assim que e a unidade queime (o que ainda será demorado por conta do tempo de utilização das mesmas ser bem pequeno).

Tabela 4.11 – Resultados parciais – Halógena - RETScreen

Custo Diesel (R\$)	Custo SIN (R\$)	Custo Total * (R\$/ano)	Economia Comb. Diesel (R\$/ ano)	O&M Diesel (R\$/ano)	Economia Comb. SIN (R\$/ano)	O&M SIN (R\$/ano)*	Economia Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
70,00	70,00	70,00	3,00	10,00	1,00	10,00	14,00	5

\* O custo total é o preço de uma lâmpada somente

\*\* A economia O&M incremental só deve ser contabilizada uma vez, por se tratar de somente uma lâmpada.

#### 4.1.3 FLUORESCENTES COMPACTAS

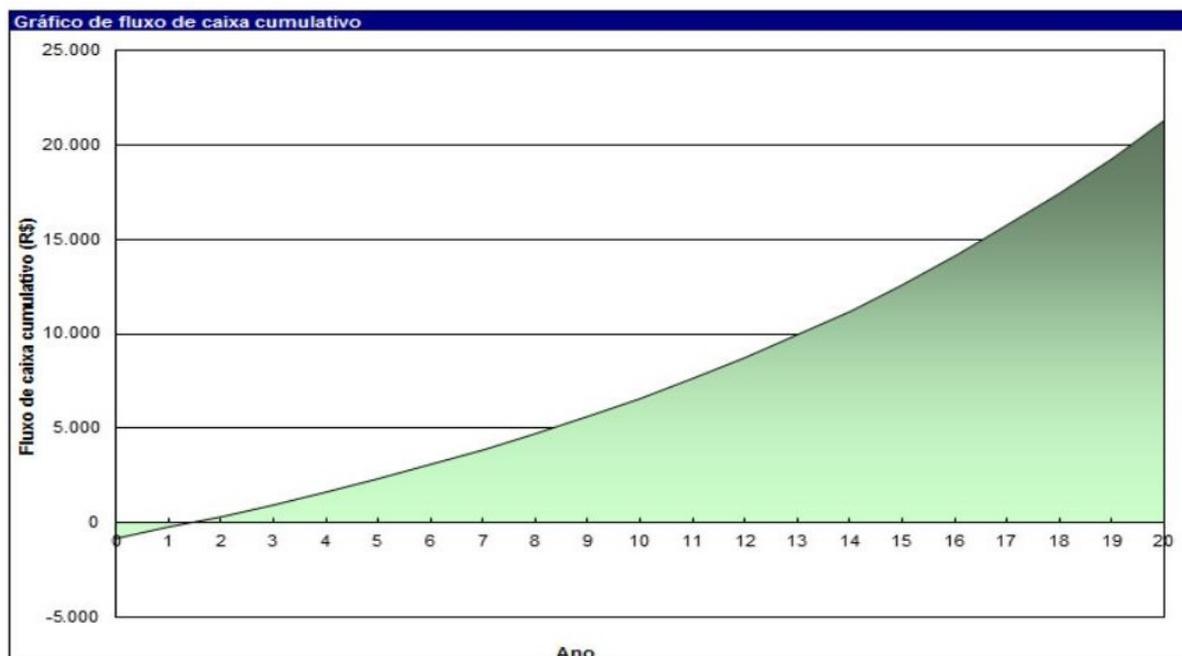
##### o DIESEL

Continuando a avaliação, a Tabela 4.12 exibe os dados de entrada e os resultados no RETScreen para as lâmpadas fluorescentes compactas e o Gráfico 4.5 exibe o fluxo de caixa acumulado para o tempo de projeto, 20 anos, para as análises baseadas no combustível diesel.

Tabela 4.12 – Lâmpadas Fluorescentes Compactas - RETScreen

Eficiência Luminosa (lm/W)	56,7	94
Carga elétrica (W)	15	9
Lâmpadas por luminária	1	1
Horas de operação (h/dia)	3	3
Custo incremental por luminária (R\$)	-	29,90
Economia O&M por luminária (R\$)	-	9,94
Número de luminárias	27	27
<b>RESULTADOS</b>		
Custo incremental (R\$)		807,00
Economia anual de combustível (R\$)		252,00
Economia O&M anual (R\$)		268,00
Retorno do investimento (anos)		1,6
Economia de combustível anual (MWh)		0,2
Redução anual de GEE (tCO2)		0,2
Equivalência da Redução anual de GEE		85,9 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 4.5 – Fluxo de caixa acumulado - Diesel – Fluorescente Compacta



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado, quantificando a economia total gerado pelo software RETScreen para todos os aspectos para a análise individual das lâmpadas fluorescente compactas para o caso em que o navio está navegando.

◦ **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

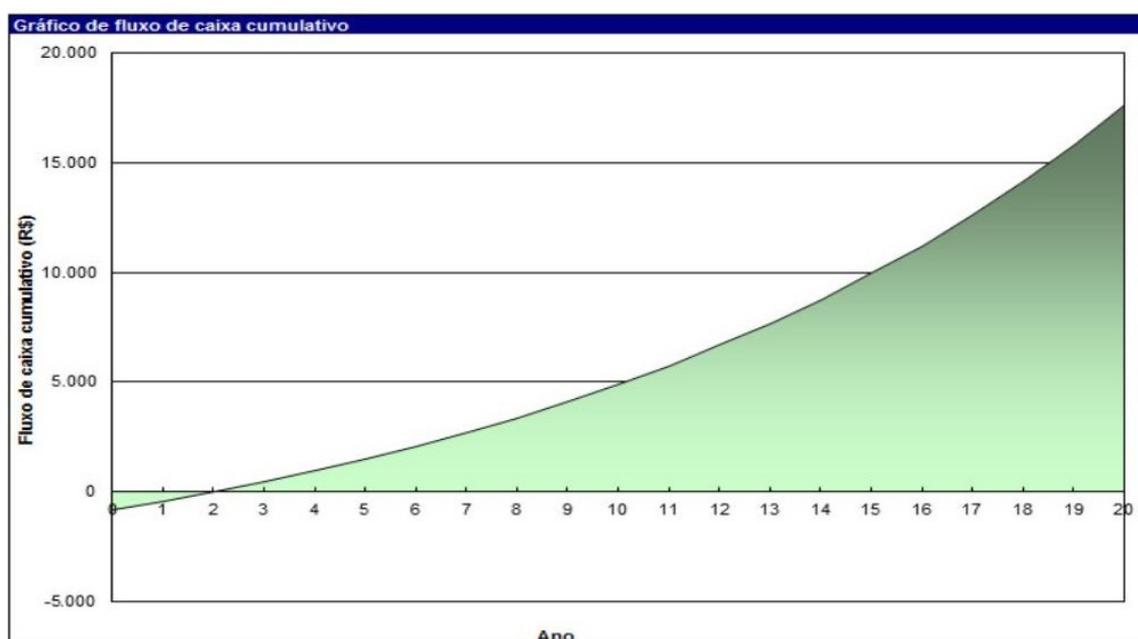
A Tabela 4.13 exibe os dados de entrada e os resultados no RETScreen para as lâmpadas fluorescentes compactas e o Gráfico 4.6 exibe o fluxo de caixa acumulado para o tempo de vida do projeto das análises baseadas na eletricidade oriunda do porto.

Tabela 4.13 – Lâmpadas Fluorescentes Compactas - RETScreen

<b>Eficiência Luminosa (lm/W)</b>	56,7	94
<b>Carga elétrica (W)</b>	15	9
<b>Lâmpadas por luminária</b>	1	1
<b>Horas de operação (h/dia)</b>	3	3
<b>Custo incremental por luminária (R\$)</b>	-	29,90
<b>Economia O&amp;M por luminária (R\$)</b>	-	9,94

Número de luminárias	27	27
<b>RESULTADOS</b>		
Custo incremental (R\$)		807,00
Economia anual de combustível (R\$)		101,00
Economia O&M anual (R\$)		268,00
Retorno do investimento (anos)		2,2
Economia de combustível anual (MWh)		0,2
Redução anual de GEE (tCO2)		0,0
Equivalência da Redução anual de GEE	0 galões de Petróleo bruto não consumidos	

Gráfico 4.6 – Fluxo de caixa acumulado – SIN - Fluorescentes Compactas



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado, ou seja, somando a economia ano a ano gerado para todos os aspectos estudados pelo RETScreen na análise individual das lâmpadas fluorescente compactas para o caso em que o navio está utilizando o combustível “eletricidade do porto”.

#### o RESULTADOS PARCIAIS

Na primeira etapa, o software resultou em um retorno de 1,6 ano, com redução de 0,2 MWh anuais. A redução de gases para a energia elétrica a bordo gerada por diesel quando o navio está viajando é de 0,2 tCO2, o que equivale a

85,9 litros de gasolina não consumidos, ou seja, pouco mais de um tanque e meio de um carro popular. O gráfico de fluxo de caixa acumulado previu uma economia de quase R\$ 21.000,00 para o caso do combustível diesel.

Na segunda etapa, o RETScreen calculou o tempo de retorno em 2,2 anos, também com redução de 0,2 MWh anuais. Já na análise de emissões, esta etapa não mostrou qualquer redução na emissão de gases danosos à atmosfera em razão da matriz energética nacional ser em grande parte renovável. E o gráfico de fluxo de caixa acumulado resultou na economia de aproximadamente R\$ 17.500,00 no fim da vida útil do projeto para quando o navio estiver ancorado. A Tabela 4.14 apresenta os resultados econômicos das fluorescentes compactas.

Tabela 4.14 – Resultados parciais – Fluorescentes Compactas - RETScreen

Custo Diesel (R\$)	Custo SIN (R\$)	Custo Total (R\$/ano)	Economia Comb. Diesel (R\$/ano)	O&M Diesel (R\$/ano)	Economia Comb. SIN (R\$/ano)	O&M SIN (R\$/ano)	Economia Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
807,00	807,00	1614,00	852,00	168,00	101,00	168,00	1289,00	1,2

O tempo de retorno total estabeleceu-se, então, em 1,2 anos, quase 3,5 anos menor do que o tempo anteriormente calculado de 4,64 anos. A medida continua tida como viável.

Contabilizando somente a economia de combustível e de O&M incremental, ao fim do projeto, as lâmpadas fluorescente compactas economizarão R\$ 24.233,20. Paralelamente, a soma dos fluxos de caixa acumulado mostrou a economia total por volta de R\$ 38.500,00 no fim dos 20 anos de vida útil do projeto. Tal valor é alcançado tanto pela economia de combustível, quanto pela economia de operação na troca das lâmpadas queimadas e pelos fatores econômicos de inflação sobre os preços das lâmpadas não trocadas e de reajuste do custo da fonte de energia, sugerindo que estes acrescentam quase R\$ 15.000,00 de economia ao projeto.

#### 4.1.4 FLUORESCENTES TUBULARES – 15 W

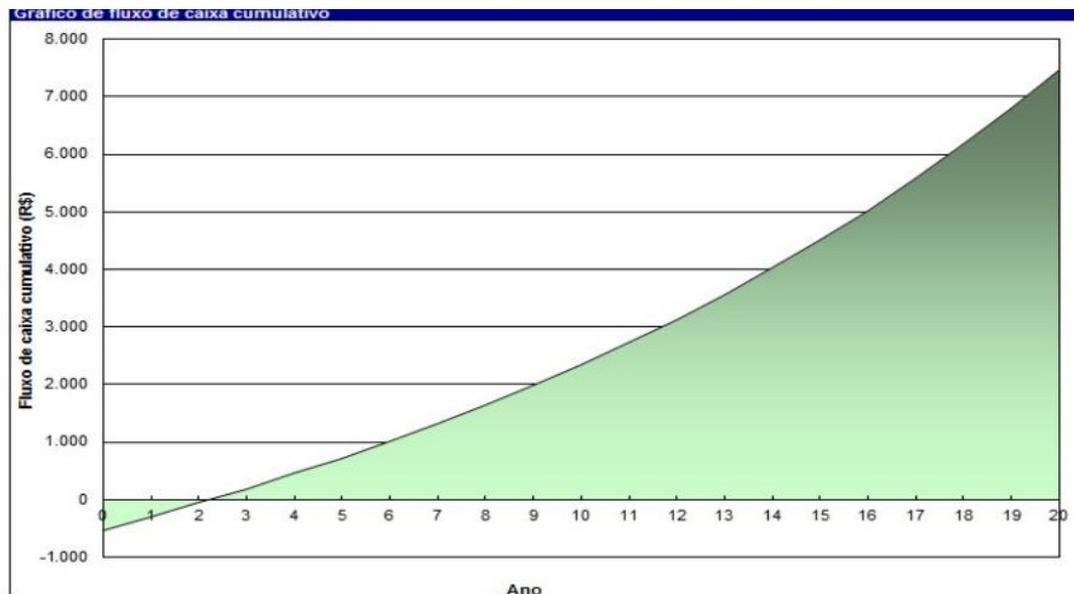
- DIESEL

O quarto tipo de lâmpada analisada é a fluorescente tubular de 15 W, seguida dos valores e ponderações resultantes das verificações do RETScreen na Tabela 4.15 e no Gráfico 4.7 para o caso do navio em alto-mar.

Tabela 4.15 – Lâmpadas Fluorescentes Tubulares 15 W - Diesel - RETScreen

Eficiência Luminosa (lm/W)	85,5	90
Carga elétrica (W)	15	9
Lâmpadas por luminária	1	1
Horas de operação (h/dia)	3	3
Custo incremental por luminária (R\$)	-	35,00
Economia O&M por luminária (R\$)	-	5,11
Número de luminárias	15	15
<b>RESULTADOS</b>		
Custo incremental (R\$)		525,00
Economia anual de combustível (R\$)		140,00
Economia O&M anual (R\$)		77,00
Retorno do investimento (anos)		2,4
Economia de combustível anual (MWh)		0,1
Redução anual de GEE (tCO2)		0,1
Equivalência da Redução anual de GEE		43 litros de gasolina não consumidos

Gráfico 4.7 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel - Fluorescente Tubular 15 W



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado total gerado pelo software para na análise de todos os aspectos para as lâmpadas fluorescente de 15 W para o caso em que o navio está em alto-mar e, por isso, utiliza o combustível “diesel”.

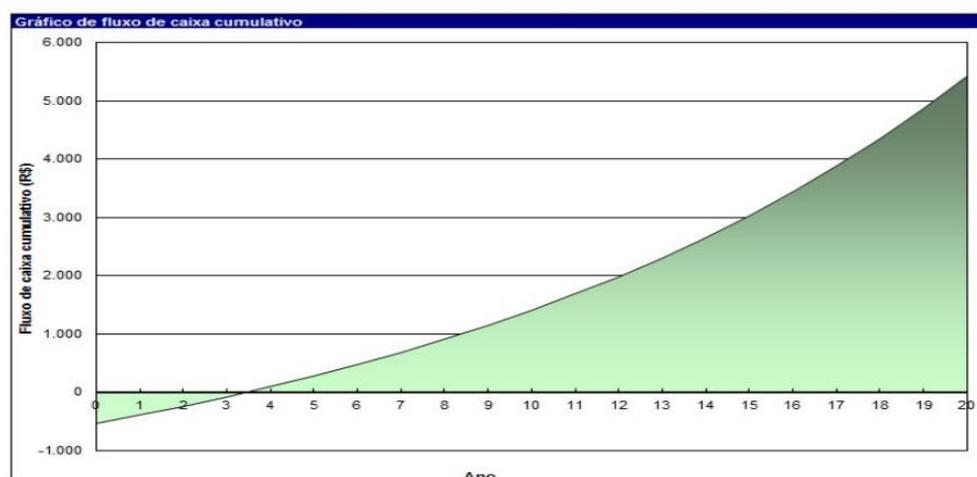
- **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Para a análise da energia oriunda dos portos, a Tabela 4.16 exibe os dados de entrada e os resultados no RETScreen para as lâmpadas fluorescentes tubulares de 15 W e o Gráfico 4.8 exibe o fluxo de caixa acumulado para 20 anos.

Tabela 4.16 – Lâmpadas Fluorescentes Tubulares 15 W - RETScreen

Eficiência Luminosa (lm/W)	85,5	90
Carga elétrica (W)	15	9
Lâmpadas por luminária	1	1
Horas de operação (h/dia)	3	3
Custo incremental por luminária (R\$)	-	35,00
Economia O&M por luminária (R\$)	-	5,11
Número de luminárias	15	15
<b>RESULTADOS</b>		
Custo incremental (R\$)		525,00
Economia anual de combustível (R\$)		56,00
Economia O&M anual (R\$)		77,00
Retorno do investimento (anos)		4,0
Economia de combustível anual (MWh)		0,1
Redução anual de GEE (tCO2)		0,0
Equivalência da Redução anual de GEE		Insignificante

Gráfico 4.8 – Fluxo de caixa acumulado – SIN – Fluorescente Tubular 15 W



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado, o que quantifica a economia

total no RETScreen para os aspectos de economia de combustível direta, O&M incremental, reajuste de combustível e taxa de inflação anual para a análise individual das lâmpadas fluorescente tubulares de 15 W para o caso em que o navio está ancorado.

◦ **RESULTADOS PARCIAIS**

Os estudos sobre o diesel do RETScreen indicam a economia de combustível de 0,1 MWh, reduzindo a emissões de gases na atmosfera equivalente a quase 1 tanque de um carro popular comum, 43 litros de gasolina não consumidos. O gráfico de fluxo de caixa acumulado deste caso expressa a economia de quase R\$ 7.500,00 no fim da vida útil do projeto e o retorno próximo de 2,4 ano com a consideração de todos os fatores.

Para o caso da eletricidade vinda do porto, a economia pelo consumo também é de 0,1 Mwh, sem redução na taxa de emissões de gás carbônico pelos motivos anteriormente citados. E o gráfico de fluxo de caixa acumulado resultou em aproximadamente R\$ 5.500,00 de economia no fim da vida útil do projeto para quando o navio estiver ancorado. A Tabela 4.17 apresenta os resultados econômicos das fluorescentes tubulares de 15 W.

Tabela 4.17 – Resultados parciais – Fluorescentes Tubulares 15 W - RETScreen

Custo Diesel (R\$)	Custo SIN (R\$)	Custo Total* (R\$/ano)	Economia Comb. Diesel (R\$/ ano)	O&M Diesel (R\$/ano)	Economia Comb. SIN (R\$/ano)	O&M SIN** (R\$/ano)	Economia Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
525,00	525,00	525,00	140,00	77,00	56,00	77,00	273,00	1,9

\* As custo total não tem relação com o tempo de utilização das lâmpadas e sim com o número de exemplares analisados.

\*\* A economia O&M incremental só deve ser contabilizada uma vez.

A média aritmética dos valores finais dos gráficos dos fluxos de caixa acumulados das lâmpadas fluorescente tubulares de 15 W mostra a economia total de quase R\$ 6.500,00 no fim da vida útil do projeto e o retorno em 1,9 ano. Porém, este valor é devido aos fatores econômicos de inflação sobre os preços das lâmpadas não trocadas e de reajuste do custo da fonte de energia, que adicionam quase R\$ 1.500,00 à economia de combustível e de O&M incremental de R\$ 4.941,30.

#### 4.1.5 FLUORESCENTE TUBULAR – 20 W

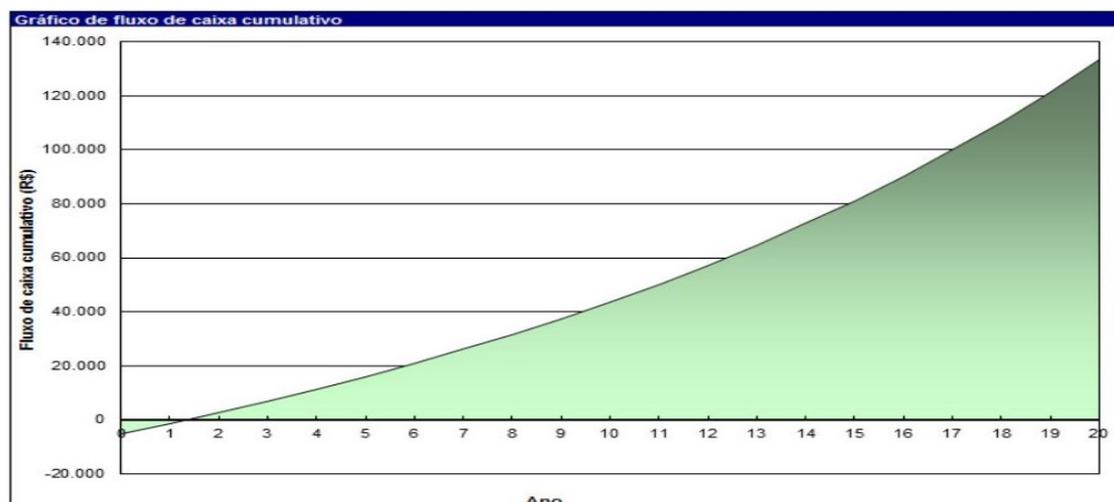
- DIESEL

Finalizando as análises individuais dos tipos de lâmpadas consideradas, para as fluorescentes tubulares de 20 W são apresentados os resultados no RETScreen na Tabela 4.18 e no Gráfico 4.9 para o combustível diesel.

Tabela 4.18 – Lâmpadas Fluorescentes Tubulares 20 W – Diesel - RETScreen

Eficiência Luminosa (lm/W)	85,5	90
Carga elétrica (W)	20	13
Lâmpadas por luminária	2	2
Horas de operação (h/dia)	6	6
Custo incremental por luminária (R\$)	-	99,80
Economia O&M por luminária (R\$)	-	26,66
Número de luminárias	52	52
<b>RESULTADOS</b>		
Custo incremental (R\$)		5.190,00
Economia anual de combustível (R\$)		2.264,00
Economia O&M anual (R\$)		1.386,00
Retorno do investimento (anos)		1,4
Economia de combustível anual (MWh)		1,6
Redução anual de GE (tCO2)		1,5
Equivalência da Redução anual de GEE		645 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 4.9 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel - Fluorescente Tubular 20 W



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado, quantificando a economia total

gerado pelo software RETScreen para os aspectos tanto de economia de combustível direta quanto pelo O&M incremental, reajuste de combustível e taxa de inflação anual na análise individual das lâmpadas fluorescentes tubulares de 20 W para o caso em que o navio está em alto-mar e, por isso, utiliza o combustível “diesel”.

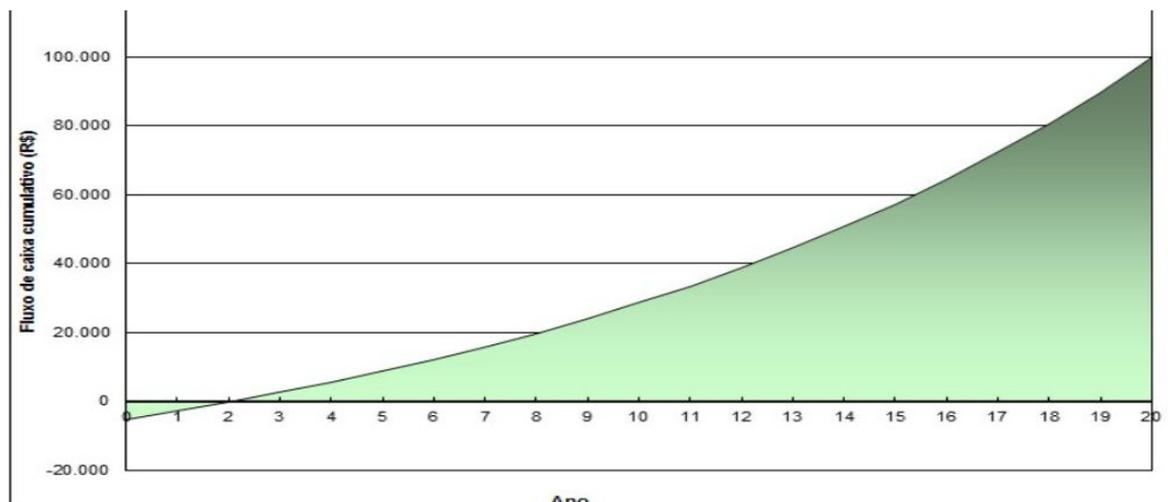
◦ **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Finalizando as análises individuais dos tipos de lâmpadas consideradas, as fluorescentes tubulares de 20 W e seus respectivos dados no RETScreen são apresentados na Tabela 4.19 e no Gráfico 4.10 para o combustível eletricidade.

Tabela 4.19 – Lâmpadas Fluorescentes Tubulares 20 W – SIN - RETScreen

<b>Eficiência Luminosa (lm/W)</b>	85,5	90
<b>Carga elétrica (W)</b>	20	13
<b>Lâmpadas por luminária</b>	2	2
<b>Horas de operação (h/dia)</b>	6	6
<b>Custo incremental por luminária (R\$)</b>	-	99,80
<b>Economia O&amp;M por luminária (R\$)</b>	-	26,66
<b>Número de luminárias</b>	52	52
<b>RESULTADOS</b>		
<b>Custo incremental (R\$)</b>		5.190,00
<b>Economia anual de combustível (R\$)</b>		909,00
<b>Economia O&amp;M anual (R\$)</b>		1.386,00
<b>Retorno do investimento (anos)</b>		2,3
<b>Economia de combustível anual (MWh)</b>		1,6
<b>Redução anual de GE (tCO2)</b>		0,1
<b>Equivalência da Redução anual de GEE</b>		43 litros de gasolina não consumidos

Gráfico 4.10 – Fluxo de caixa acumulado – SIN - Fluorescente Tubular 20 W



Fonte: Autora.

O gráfico ilustra o fluxo de caixa acumulado total para a vida útil do projeto, ou seja, de 20 anos, adicionando as economias anuais até a data do fim do projeto considerando os aspectos de economia de combustível direta, O&M incremental, reajuste de combustível e taxa de inflação anual para a análise individual das lâmpadas fluorescentes tubulares de 20 W para o caso em que o navio utiliza o combustível “eletricidade do porto”.

#### ◦ RESULTADOS PARCIAIS

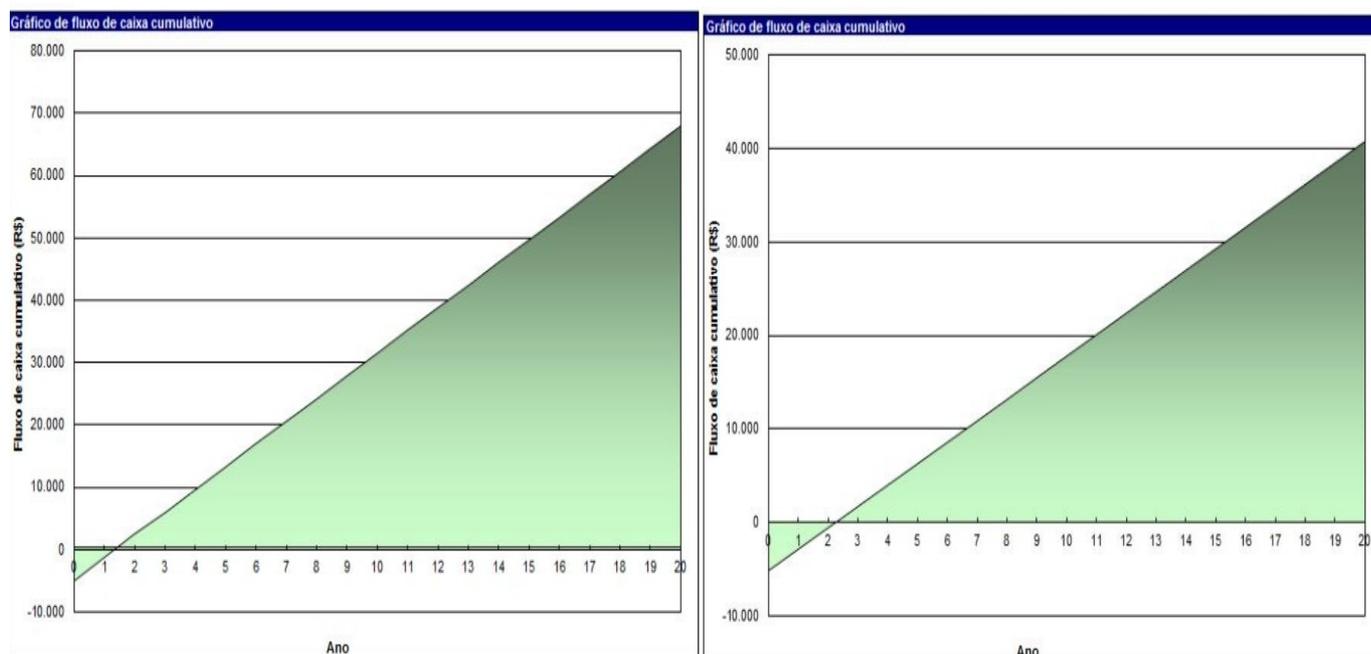
São notáveis os resultados das substituições destas lâmpadas por conta do número de exemplares presentes no navio. As fluorescentes tubulares de 20 W correspondem a 66% das lâmpadas em uso no P-49. A queda em 7 W nas potências das lâmpadas e o acréscimo de 4,5 lm/W de eficiência luminosa já representaram a economia anual de combustível de 3,2 MWh e redução de emissão de 1,6 tCO<sub>2</sub>, ou seja, 688 litros de gasolina anuais. A Tabela 4.20 apresenta os resultados econômicos das fluorescentes tubulares de 20 W.

Tabela 4.20 – Resultados parciais – Fluorescentes Tubulares 20 W - RETScreen

Custo - Diesel (R\$)	Custo - SIN (R\$)	Custo Total (R\$/ano)	Economia a Comb. Diesel (R\$/ ano)	O&M Diesel R\$/ano	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	O&M SIN (R\$/ano)	Economia Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
5.190,00	5.190,00	10.380,00	2.264,00	1.386,00	909,00	1.386,00	5.945,00	1,7

O tempo de retorno total é de 1,7 ano, ou seja, quase metade do tempo calculado outrora, recuperando a quantia de aproximadamente R\$ 230.000,00 ao fim da vida útil do projeto, segundo a soma dos seus gráficos de fluxos de caixa acumulados. No entanto, contabilizando somente a economia de combustível e de O&M incremental, ao fim do projeto, as lâmpadas fluorescente tubulares de 20 W economizarão R\$ 108.793,50. Portanto, os fatores econômicos de inflação sobre os preços das lâmpadas não trocadas e de reajuste do custo da fonte de energia acrescentaram quase R\$ 121.206,5 de economia ao projeto. O Gráfico 4.11 ilustra o fluxo de caixa acumulado para esta lâmpada com a taxa de inflação e reajuste do combustível em 0%, cuja soma é equivalente ao calculado com a economia de combustível e de O&M incremental.

Gráfico 4.11 – Fluxo de caixa acumulado sem fatores econômicos – lâmpada fluorescente tubular 20 W



Fonte: Autora.

Os gráficos acima mostram o fluxo de caixa acumulado sem a adição dos fatores econômicos brasileiros para as lâmpadas tubulares de 20 W para o caso 'Diesel', à esquerda, e para o caso 'SIN', à direita.

## 4.2 CONJUNTO DE LÂMPADAS AVALIADAS

- **DIESEL**

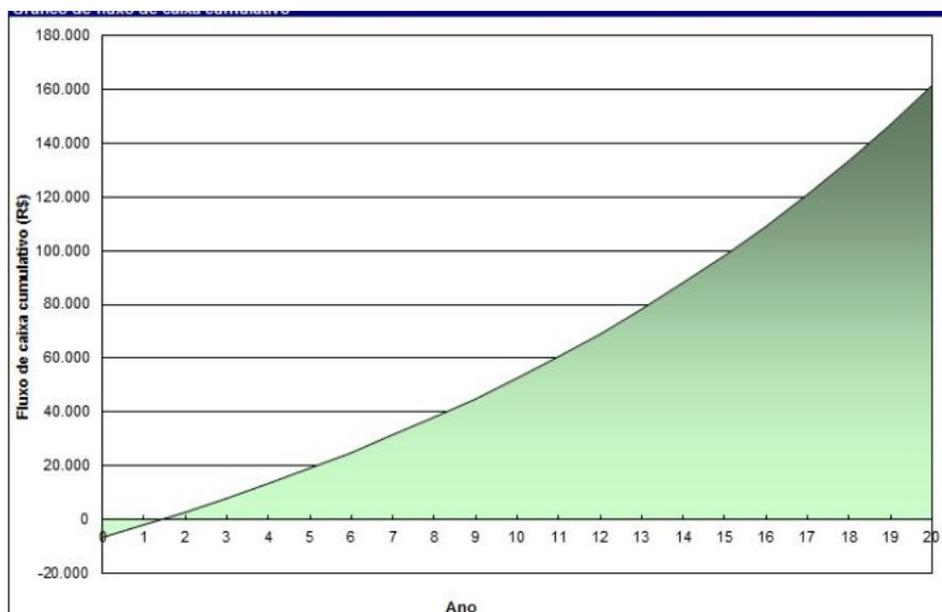
Analisando o projeto como um todo, verificando as ações sobre de todas as lâmpadas envolvidas, o software apresentou os resultados conforme a Tabela 4.21

e o Gráfico 4.12 para a análise do caso do combustível diesel.

Tabela 4.21 – Conjunto de lâmpadas - Diesel- RETScreen

Custo incremental (R\$)	6.522,00
Economia anual de combustível (R\$)	2.656,00
Economia O&M anual (R\$)	1.731,00
Retorno do investimento (anos)	1,4
Economia de combustível anual (MWh)	1,9
Redução anual de GE (tCO2)	1,8
Equivalência da Redução anual de GEE	773 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 4.12 – Fluxo de caixa acumulado - Conjunto de lâmpadas - Diesel- RETScreen



Fonte: Autora.

O gráfico apresenta o fluxo de caixa acumulado, quantificando a economia total gerado pelo software RETScreen para todos os fatores analisados do conjunto das lâmpadas verificadas no navio para o caso em que o navio está em alto-mar e, por isso, utiliza o combustível “diesel”.

- **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

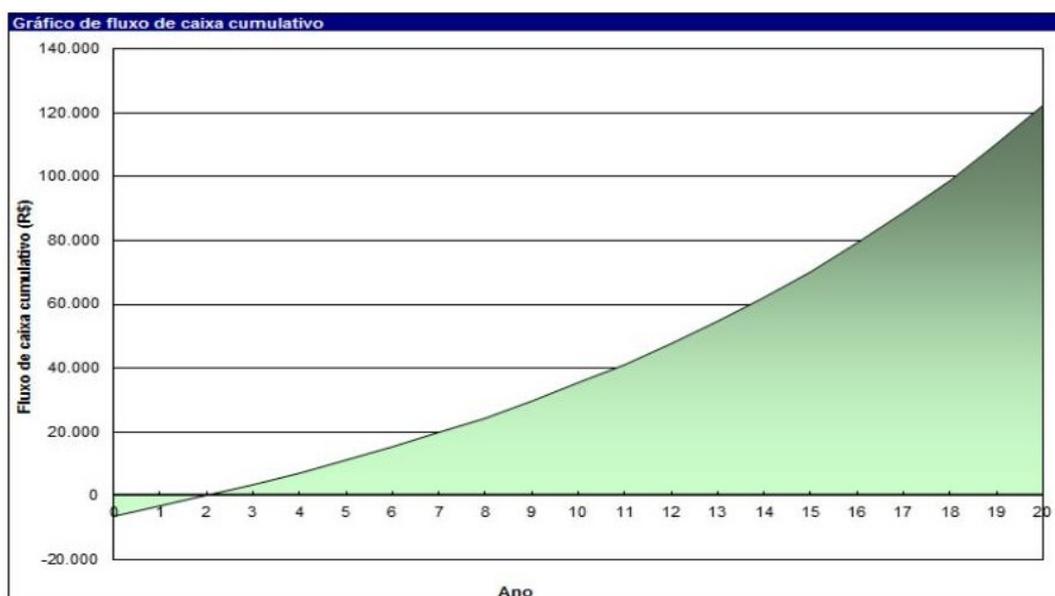
Analisando o projeto como um todo, verificando as ações sobre de todas as lâmpadas envolvidas, o software apresentou os resultados conforme a Tabela 4.22 e o Gráfico 4.13 para a análise do caso do combustível eletricidade da rede de

distribuição dos portos.

Tabela 4.22 – Conjunto de lâmpadas – SIN - RETScreen

Custo incremental (R\$)	6.522,00
Economia anual de combustível (R\$)	1.066,00
Economia O&M anual (R\$)	1.731,00
Retorno do investimento (anos)	2,3
Economia de combustível anual (MWh)	1,9
Redução anual de GE (tCO2)	0,2
Equivalência da Redução anual de GEE	85,9 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 4.13 – Fluxo de caixa acumulado - Conjunto de lâmpadas - SIN-RETScreen



Fonte: Autora.

O gráfico apresenta o fluxo de caixa acumulado total para o conjunto de lâmpadas analisadas, quantificando a economia total calculado pelo software RETScreen para todos os fatores verificados no caso em que representa o período em que o navio está ancorado.

#### ◦ RESULTADOS

Como parte da análise energética do sistema de iluminação proposto, o RETScreen calculou o retorno em 1,5 ano para o combustível diesel e 2,3 para a eletricidade do porto. A Tabela 4.23 mostra os fatores econômicos e o tempo de retorno total para todas as lâmpadas estudadas.

Tabela 4.23 – Resultados para todas as lâmpadas - RETScreen

Custo - Diesel (R\$)	Custo - SIN (R\$)	Custo Total (R\$/ano)	Economia a Comb. Diesel (R\$/ ano)	O&M Diesel R\$/ano	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	O&M SIN (R\$/ano)	Economia Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
6.522,00	6.522,00	13.044,00	2.656,00	1.731,00	1.066,00	1.731,00	7.184,00	1,8

Assim, o acréscimo do requisito de economia de operação e manutenção efetivamente diminuiu o tempo de retorno para o conjunto das lâmpadas, decaindo de 3,58 anos para 1,8 ano. Se forem analisadas apenas as medidas viáveis, a Tabela 4.24 expõe os dados econômicos e o tempo de retorno total.

Tabela 4.24 - Resultados para as lâmpadas viáveis - RETScreen

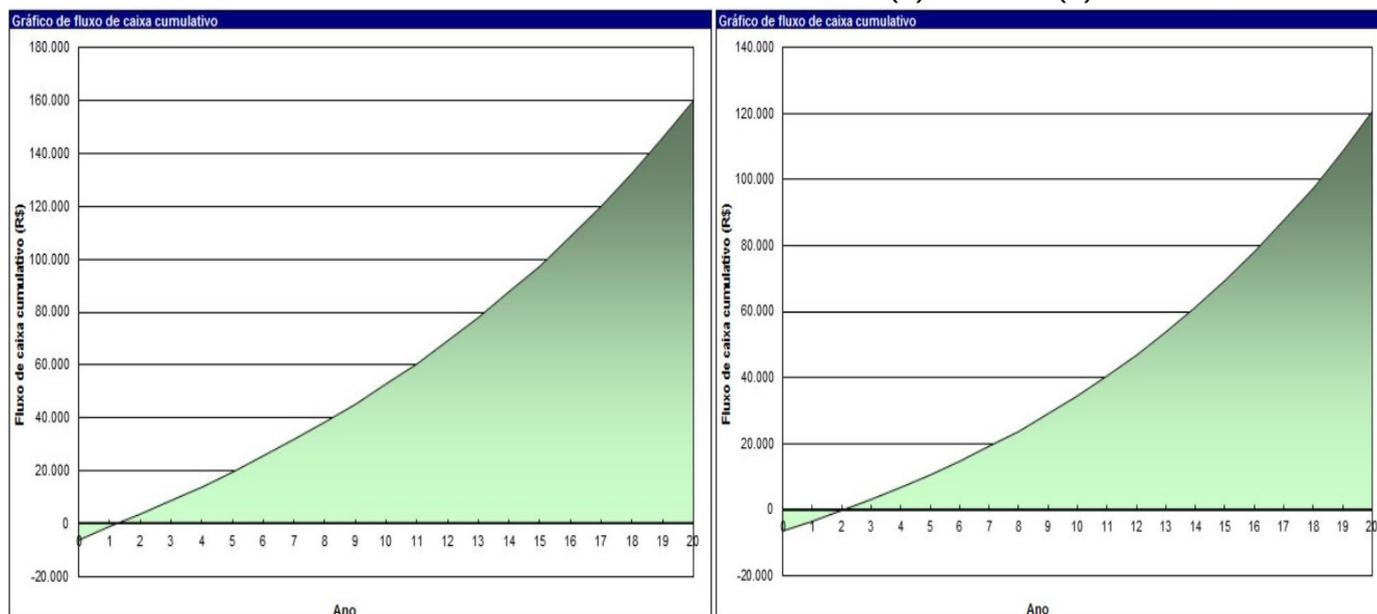
Tipo de Lâmpada	Custo - Diesel (R\$)	Custo - SIN (R\$)	Custo Total (R\$/ano)	Economia Comb. Diesel (R\$/ ano)	O&M Diesel (R\$/ano)	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	O&M SIN (R\$/ano)	Economia Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
Fluoresc. Compacta	807,00	807,00	1.614,00	852,00	168,00	101,00	168,00	1289,00	1,2
Fluoresc. Tubular 15 W *	525,00	525,00	525,00	140,00	77,00	56,00	77,00**	273,00	1,9
Fluoresc. Tubular 20 W	5.190,00	5.190,00	10.380,00	2.264,00	1.386,00	909,00	1.386,00	5.945,00	1,7
<b>TOTAL</b>	<b>6.522,00</b>	<b>6.522,00</b>	<b>12.519,00</b>	<b>3.256,00</b>	<b>1.631,00</b>	<b>1.066,00</b>	<b>1.554,00</b>	<b>7.507,00</b>	<b>1,6</b>

\* O estudo foi realizado com metade do tempo de utilização, portanto, o custo é o mesmo para o caso 'Diesel', para o 'SIN' e o total.

\*\* O valor de O&M incremental será contabilizado somente uma vez.

Tomando somente os dados referentes às lâmpadas viáveis, o tempo de retorno do investimento cai ainda mais, para 1,6 ano. A análise financeira, a partir dos gráficos dos fluxos de caixa acumulados, ilustrados no Gráfico 4.14, mostra a economia total do fim da vida útil do projeto para o conjunto de lâmpadas viáveis do sistema de iluminação de aproximadamente R\$ 280.000,00. Este valor é alcançado tanto pela economia de combustível, quanto por evitar o gasto das trocas frequentes de lâmpadas queimadas, considerando, sobretudo, os fatores econômicos de inflação sobre os preços das lâmpadas que não precisarão ser trocadas e os reajustes anuais do preço do combustível.

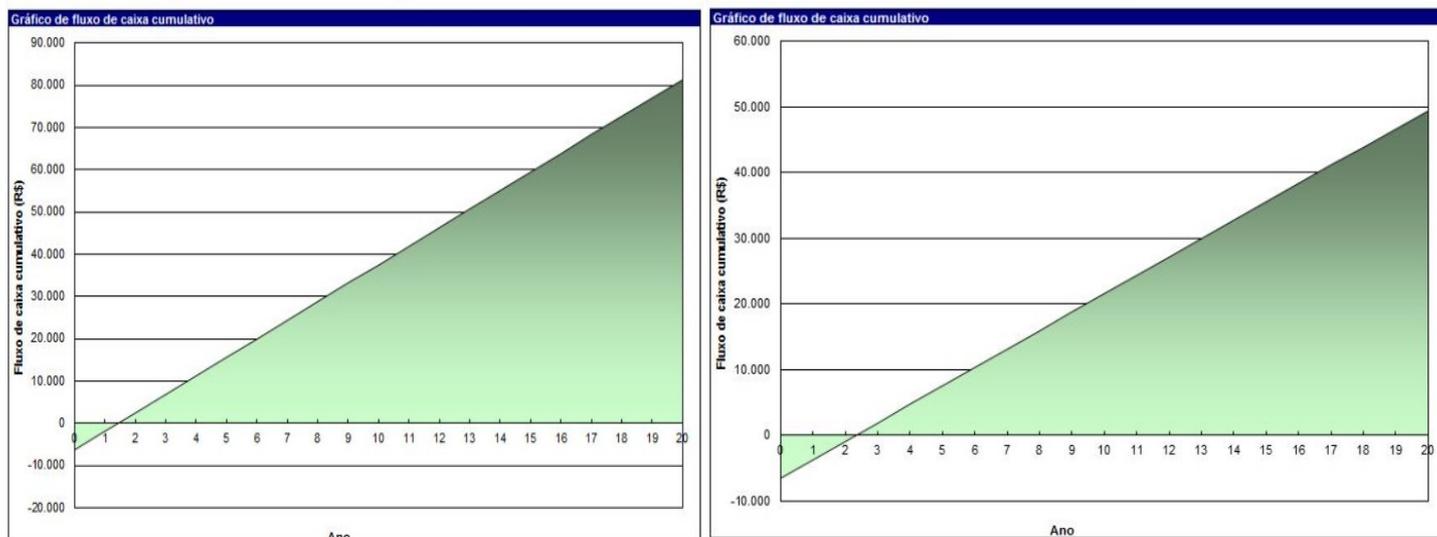
Gráfico 4.14 – Gráficos de Fluxos de caixa (a) diesel e (b) SIN



Fonte: Autora.

Considerando simplesmente a economia de combustível e de operação e manutenção incremental contabilizadas na Tabela 4.24, o fluxo de caixa acumulado ao fim dos 20 anos seria de R\$ 138.460,00, ou seja, quase metade do valor indicado na análise de todos os fatores. O Gráfico 4.15 mostra o fluxo de caixa acumulado para o caso do navio em alto mar (a) e quando ancorado (b) com a taxa de inflação e de reajuste do combustível em 0%, mostrando que as lâmpadas sofrem grande influência destes fatores no seu fluxo de caixa.

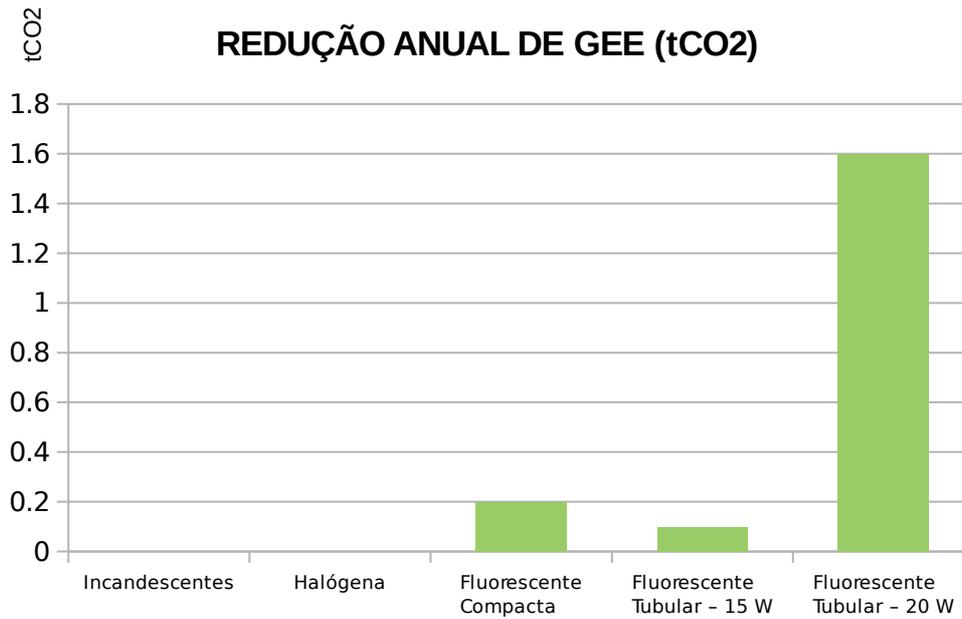
Gráfico 4.15 – Fluxo de caixa 'Diesel' (a) e 'SIN' (b) sem inflação nem reajuste de combustível – Conjunto de lâmpadas



Fonte: Autora.

Na análise de emissões observou-se que o tipo de lâmpada mais impactante para este projeto foram as fluorescentes tubulares de 20 W por estarem em maior número. Elas, sozinhas, representam 73% da economia de combustível e 84% da redução das emissões de gases do efeito estufa. O projeto completo sobre o sistema de iluminação conteve as emissões equivalentes a 858,9 litros de gasolina, ou seja, 2 toneladas de gás carbônico não serão injetados na atmosfera anualmente. Ao fim da vida do projeto, as medidas sobre as lâmpadas fluorescentes compactas, tubulares de 15 W e de 20 W deixarão de emitir 40 tCO<sub>2</sub> na atmosfera. O Gráfico 4.16 mostra as reduções das emissões de gás carbônico anuais para o conjunto das lâmpadas analisadas.

Gráfico 4.16 – Reduções das emissões por lâmpada estudada



Fonte: Autora.

A fluorescente tubular de 20 W, como anteriormente citado, é a mais impactante ambientalmente para o projeto por representar a maioria das unidades das lâmpadas e por serem utilizadas em um período de tempo consideravelmente grande.

## 5 AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: MOTORES ELÉTRICOS

As ferramentas utilizadas para a análise em eficiência energética nesta sessão são o RETScreen 4 e o BD Motor, trabalhando com três tipos de análises: energética, de emissões e financeira.

Na análise energética explorou-se aspectos de potência instalada, rendimento dos motores, o custo da energia, perda de rendimento, velocidade assíncrona, tempo de utilização, entre outros. Para representar o estudo do P-49 novamente faz-se necessária a consideração de dois combustíveis principais atendendo todas as cargas em momentos diferentes: o diesel, quando o navio está em alto mar (estipulado a 15 dias por mês); e a energia elétrica oriunda do Sistema Interligado Nacional (SIN) disponível nos portos, quando o Guarujá está ancorado (novamente 15 dias por mês).

Para contornar o problema já discutido no Capítulo 4, o mesmo método foi utilizado: um estudo quando o navio utiliza o diesel e outro quando se alimenta da eletricidade de porto, configurando diretamente nas janelas específicas dos softwares a metade dos motores analisados. Assim, pode-se simplesmente somar o consumo de energia, as emissões de gás carbônico, a economia de combustível e o tempo de retorno. Para o caso do motor do ventilador do gerador auxiliar e do ventilador da câmara frigorífica, por serem únicos, dividiu-se o tempo de utilização anual na metade para atender o caso 'Diesel' e o caso 'SIN'.

A tarifa para a geração de energia elétrica por geradores a diesel será a mesma do Capítulo 4, 1,42 R\$/kWh, idem para a tarifa de energia elétrica oriunda dos portos, 0,57 R\$/kWh. E, as análises de emissões, nesta pesquisa, serão tratadas analogamente ao Capítulo 4: fator de emissão de CO<sub>2</sub> para o combustível diesel em 244,5 Kg/GJ, fator de emissão de CH<sub>4</sub> em 0,0067 Kg/GJ e o fator de emissão de N<sub>2</sub>O em 0,0067 Kg/GJ; e para a eletricidade do porto, o método adotado será o da matriz nacional, onde o fator de emissão de CO<sub>2</sub> é de 0,087

tCO<sub>2</sub>/kWh.

E, finalmente, na análise financeira, o RETScreen gera um gráfico de fluxo de caixa acumulado pelo tempo de vida útil de 20 anos, levando em consideração o reajuste anual do custo do combustível também de 2% e inflação de 9,5%, sem que haja taxa de desconto, incentivos, subsídios ou dívida bancária.

## 5.1 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

As medidas eficientizadoras no sistema de refrigeração, como indicadas no Capítulo 4 desta dissertação, serão feitas sobre 6 motores distribuídos ao longo das unidades 1 e 2 dos condicionadores de ar: 2 motores das bombas Chillwater, 2 motores dos compressores e 2 motores no ventilador de distribuição de ar.

O estudo da substituição destes motores por unidades com maior rendimento será feito em dois softwares, o simulador do PROCEL - BD Motor e o RETScreen.

A análise comparativa do BD Motor foi feita baseada no rendimento dos motores a plena carga dos motores cadastrados como em uso e novo e na perda de rendimento de 1% dos motores em uso por conta de sua idade e rebobinagens, devolvendo o consumo ativo anual, o tempo de retorno do investimento e a economia por ano. Semelhante ao sistema de iluminação, duas tarifas de energia foram adotadas, diesel e eletricidade do SIN. Os motores escolhidos como em uso foram descritos no Capítulo 3 e os novos estão descritos em cada subtópico a seguir.

A análise do RETScreen será mais abrangente, calculando além dos fatores econômicos os fatores ambientais.

### 5.1.1 MOTORES – BOMBAS CHILLWATER

Similarmente ao sistema de iluminação, as análises serão feitas por etapas, onde a carga será atendida metade do ano pelo combustível diesel e a outra metade pela energia elétrica do porto.

Nos estudos para os motores das bombas Chillwater foi considerado que cada unidade condicionadora é acionada por vez, a cada 12 horas, totalizando

4320 horas anuais para cada motor; e que sua carga é de natureza centrífuga. Já que são dois motores e dois combustíveis, tanto no BD Motor quanto no RETScreen, cada motor será alimentado por uma fonte, avaliando a economia de combustível e o tempo de retorno do investimento separadamente para cada caso: Diesel e SIN.

- **BD MOTOR**
  - **DIESEL**

A Figura 5.1 mostra a janela de resultados do BD Motor para a comparação dos motores de 1,5 HP apresentados no Capítulo 3 de número 450 da Baldor, como o em uso, e 2641 da WEG como o novo para quando a energia fornecida para o navio é através da queima do combustível diesel.

Figura 5.1 – Análise BD Motor – Diesel – Bomba Chillwater



Fonte: Autora.

A análise do BD Motor resulta no consumo ativo anual do antigo como 6.401,72 kWh, custando R\$ 9.090,44 anuais, e do caso proposto em 5.612,97 kWh com o custo anual de R\$ 7.970,42. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 1.120,02, o retorno do investimento seria de 10 meses e, em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 21.467,05 com a substituição de um motor das duas bombas Chillwater, avaliação para quando o navio está em alto mar.

- **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

A Figura 5.2 mostra a janela de resultados do BD Motor para quando a energia fornecida para o navio é a eletricidade do porto para a comparação dos mesmos motores de número 450 da Baldor, como o em uso, e 2641 da WEG como

o novo das bombas Chillwater.

Figura 5.2 – Análise BD Motor – SIN – Bomba Chillwater



Fonte: Autora.

A verificação do BD Motor devolve o mesmo consumo ativo anual do caso diesel para o motor em uso e para o novo como 6.401,72 kWh e 5.612,97 kWh por ano, respectivamente. No entanto, o preço do combustível muda, custando, então, R\$ 3.648,98 e R\$ 3.199,39 anuais, na comparação dos motores estudados. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 449,59, o retorno do investimento seria de 25 meses, ou seja, quase 2 anos. Em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 8.205,01 com a substituição do outro motor das duas bombas Chillwater, avaliando para quando o navio está ancorado.

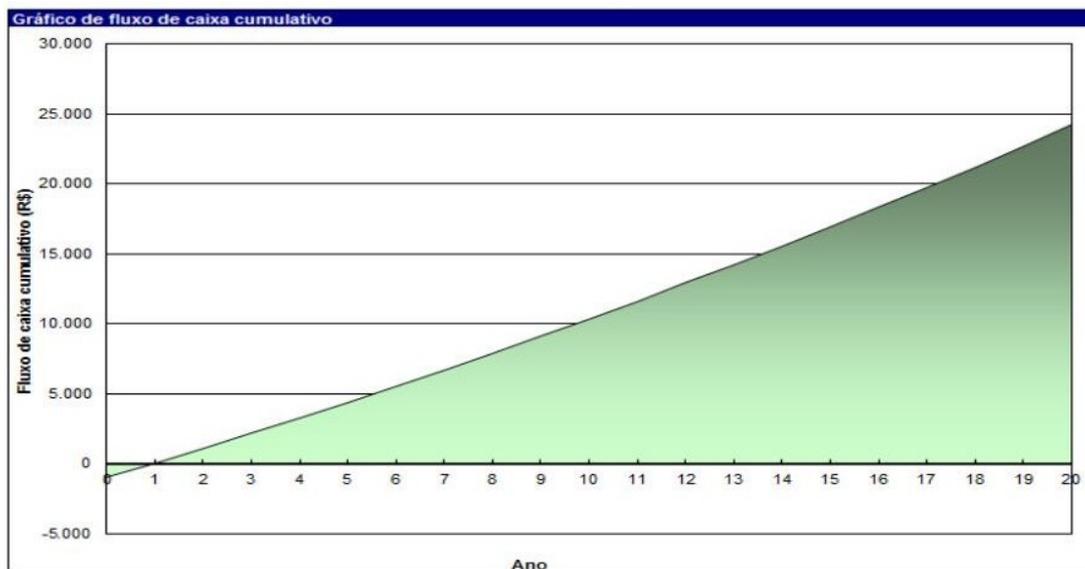
- **RETSCREEN**
  - **DIESEL**

Quando a análise é feita no RETScreen de um motor da bomba Chillwater para o combustível diesel, as respostas obtidas são de acordo com a Tabela 5.1 e o Gráfico 5.1.

Tabela 5.1 – Análise RETScreen – Diesel – Bomba Chillwater

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	944,00
Economia anual de combustível (R\$)	1.013,00
Retorno do investimento (anos)	0,9
Economia de combustível anual (MWh)	0,7
Redução anual de GEE (tCO2)	0,7
Equivalência da Redução anual de GEE	301 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 5.1 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Motor Bomba Chillwater



Fonte: Autora.

O RETScreen reproduz tanto dados financeiros quanto ambientais. Assim, para o estudo de um motor da bomba chillwater alimentado exclusivamente pela eletricidade de geradores a diesel, o software calculou a economia anual de combustível de R\$ 1.013,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 944,00 da compra do motor em 0,9 anos e reduzindo a emissão de 0,7 tCO<sub>2</sub> anuais. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia total em cerca de R\$ 24.000,00 ao fim da vida do projeto, ou seja, em 20 anos.

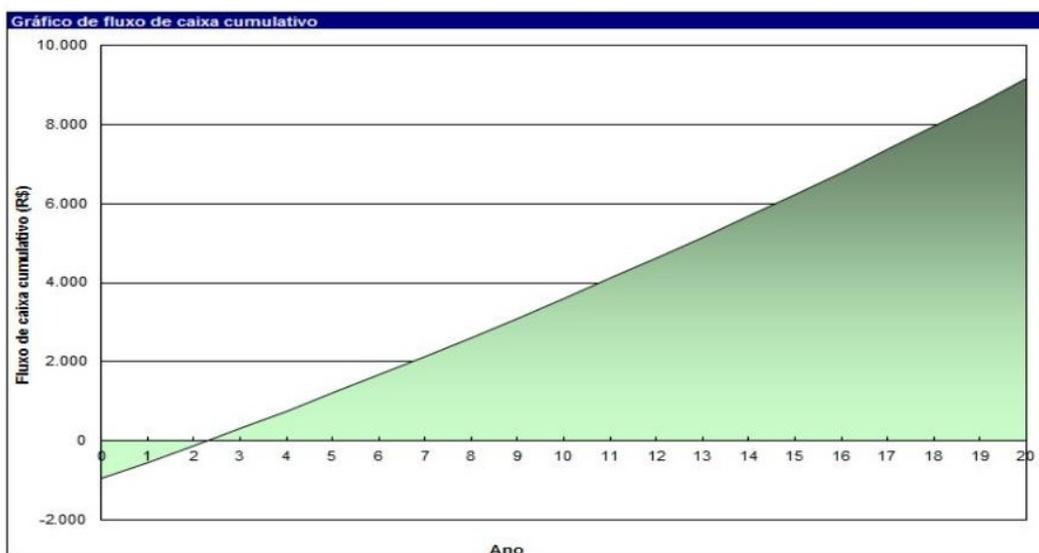
◦ **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Quando a análise é feita baseada no combustível eletricidade oriunda do porto do outro motor de bomba Chillwater, as respostas obtidas são de acordo com a Tabela 5.2 e o Gráfico 5.2.

Tabela 5.2 – Análise RETScreen – SIN – Bomba Chillwater

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	944,00
Economia anual de combustível (R\$)	407,00
Retorno do investimento (anos)	2,3
Economia de combustível anual (MWh)	0,7
Redução anual de GEE (tCO <sub>2</sub> )	0,1
Equivalência da Redução anual de GEE	43 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 5.2 – Fluxo de caixa acumulado – SIN – Motor Bomba Chillwater



Fonte: Autora.

No estudo do outro motor da bomba chillwater, aquele cuja alimentação é exclusivamente pela eletricidade dos portos, o software calculou a economia anual de combustível de R\$ 407,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 944,00 da compra do motor em 2,3 anos e reduzindo a emissão de 0,1 tCO<sub>2</sub> anuais. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia total aproximada em R\$ 9.000,00 ao fim da vida do projeto, ou seja, em 20 anos.

- **RESULTADOS PARCIAIS**

Os estudos segmentados de cada motor das bombas Chillwater no BD Motor e no RETScreen apresentaram resultados próximos tanto para quando o navio estiver em alto mar ou atracado.

No caso 'Diesel' do BD Motor, o retorno se daria em 10 meses, já no RETScreen, em aproximadamente 11 meses. Isto ocorre pelo acréscimo do critério "Perda de Rendimento" no Simulador do PROCEL, adotado como 1% em ambos os casos, diminuindo a eficiência do motor em uso por conta das rebobinagens e ação do tempo. A Tabela 5.3 expõe o tempo de retorno para os dois motores analisados, onde cada software foi analisado separadamente e, para observar suas performances, fez-se preciso estudar o ano completo, ou seja, a união do caso 'Diesel' e o 'SIN' para cada software, representando tanto o tempo que o navio está navegando quanto o que está ancorado. O tempo de retorno total

adotado é 1,25 ano, ou seja, a soma aritmética dos tempos de retorno finais do BD Motor e RETScreen.

Tabela 5.3 – Tempo de retorno do investimento – Motor Bomba Chillwater

Software	Equipamento	Qte	Custo (R\$)	Custo Total (R\$)	Economia Comb. Diesel (R\$/ano)	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	Economia Comb. Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
BD Motor	Motor – Bomba Chillwater	2	944,01	1.888,02	1.120,02	449,59	1.569,61	1,2
RETScreen	Motor – Bomba Chillwater	2	944,01	1.888,02	1.013,00	407,00	1.420,00	1,3

A economia total em 20 anos nos dois softwares foi aproximadamente igual quando o ano todo é analisado, ou seja, juntando os casos 'Diesel' e 'SIN' em cada simulador, girando ambos em torno de R\$ 23.000,00 para o caso 'Diesel' e R\$ 9.000,00 para o 'SIN', totalizando cerca de R\$ 32.000,00 para os dois motores ao fim da vida do projeto.

Os fatores ambientais, disponíveis apenas no RETScreen, se somados, totalizam 344 litros de gasolina não consumidos por ano, ou seja, 0,8 tCO<sub>2</sub> evitados. Ao fim da vida do projeto, esta medida de eficiência energética sobre os motores das bombas Chillwater deixará de emitir 16 tCO<sub>2</sub> na atmosfera.

### 5.1.2 MOTORES – VENTILADORES DOS CONDICIONADORES DE AR

Continuando a pesquisa sobre o sistema de refrigeração, as análises sobre os motores dos ventiladores serão feitas idênticas a das bombas Chillwater, onde a carga estudada será atendida metade do ano pelo combustível diesel e a outra metade pela energia elétrica do porto. Cada motor será atendido por uma fonte de energia, durante 4320 horas anuais, sendo ainda a sua carga de natureza centrífuga.

- **BD MOTOR**
  - **DIESEL**

A Figura 5.3 mostra a janela de resultados do BD Motor para a comparação

dos motores de número 625 da WEG, como o em uso, e 2643 da WEG como o novo para o caso do navio em alto mar, consumindo energia da queima do combustível diesel.

Figura 5.3 – Análise BD Motor – Diesel – Ventilador Ar Condicionado



Fonte: Autora.

O consumo ativo anual do motor antigo foi de 27.988,73 kWh, custando R\$ 39.744,00 anuais, e do caso proposto em 27.124,22 kWh com o custo anual de R\$ 38.516,39. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 1.227,61, o retorno do investimento seria de 24 meses e, em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 22.096,98 com a substituição de um motor dos ventiladores das unidades de condicionamento de ar para quando o navio está em alto mar.

◦ **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

A Figura 5.4 mostra os resultados do BD Motor para o caso 'SIN' na comparação dos motores de número 625 da WEG, como o em uso, e 2643 também da WEG como o novo dos ventiladores das unidades de ar condicionado.

Figura 5.4 – Análise BD Motor – SIN – Ventiladores Ar Cond



Fonte: Autora.

A verificação do BD Motor devolve o mesmo consumo ativo anual do caso diesel para o motor em uso e o novo, pois a única alteração é no preço do combustível, passando a custar, desta forma, anualmente R\$ 15.953,58 para o

motor em uso e R\$ 15.460,81 para os novos. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 492,77, o retorno do investimento seria em 60 meses, ou seja, 5 anos. E em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 7.391,55 com a substituição do outro motor de uma dos dois ventiladores analisados, avaliando para quando o navio está ancorado.

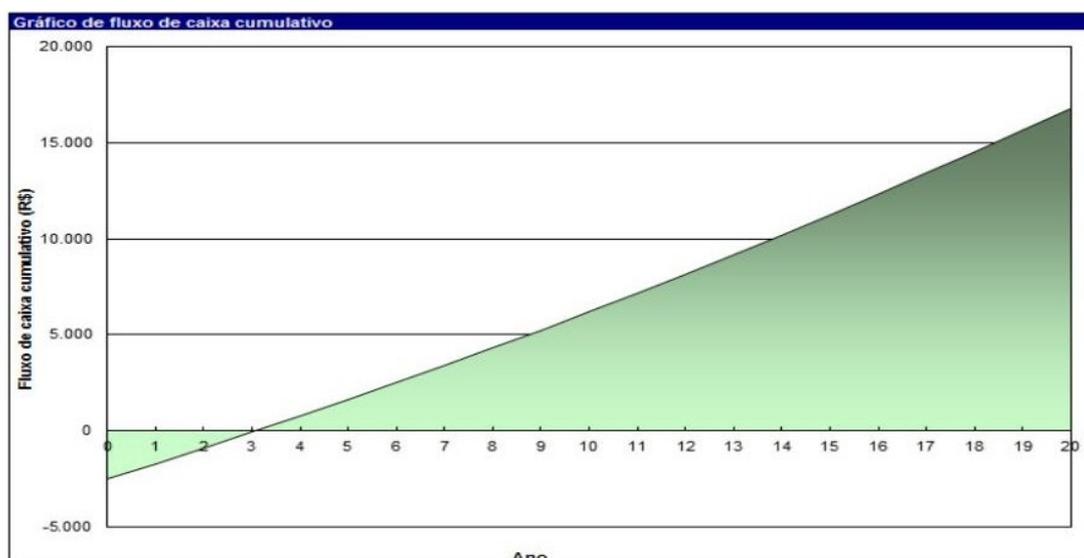
- **RETScreen**
  - **DIESEL**

Quando a análise é feita no RETScreen em um dos dois motores dos ventiladores das unidades de ar condicionado do P-49 para quando o navio está navegando, as respostas obtidas são de acordo com a Tabela 5.4 e o Gráfico 5.3.

Tabela 5.4 – Análise RETScreen – Diesel – Ventilador Ar Cond.

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	2.478,00
Economia anual de combustível (R\$)	777,00
Retorno do investimento (anos)	3,2
Economia de combustível anual (MWh)	0,5
Redução anual de GEE (tCO2)	0,5
Equivalência da Redução anual de GEE	215 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 5.3 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Ventilador Ar Cond.



Fonte: Autora.

No estudo de um motor dos dois ventiladores das unidades de ar

condicionado alimentado exclusivamente pela eletricidade de geradores a diesel, o software calculou a economia anual de combustível de R\$ 777,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 2.478,00 da compra do motor em 3,2 anos e reduzindo a emissão de 0,5 tCO2 anuais. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia total de pouco mais de R\$ 18.000,00 ao fim da vida do projeto.

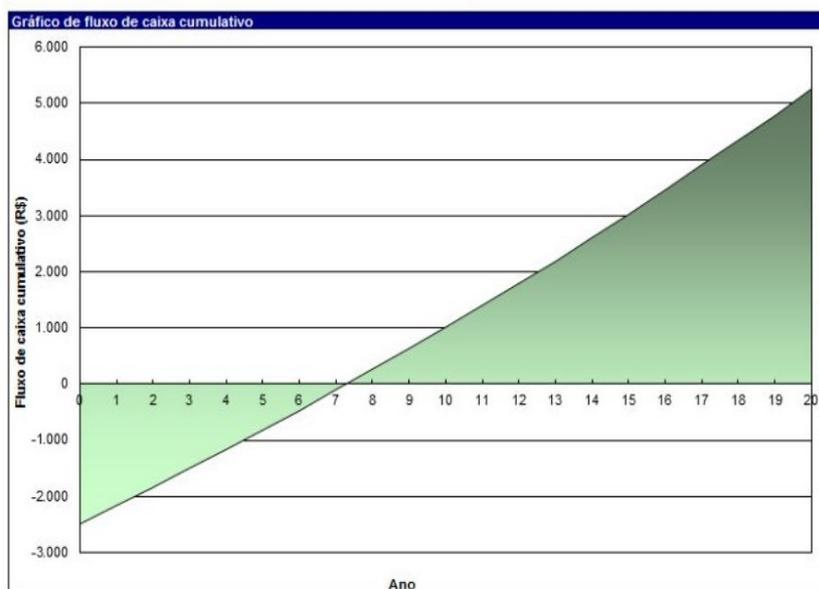
◦ **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Quando a análise é feita no RETScreen no outro motor dos ventiladores dos ar condicionados do Guarujá para quando o navio está ancorado, as respostas obtidas são de acordo com a Tabela 5.5 e o Gráfico 5.4.

Tabela 5.5 – Análise RETScreen – SIN – Ventilador Ar Cond.

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	2.478,00
Economia anual de combustível (R\$)	312,00
Retorno do investimento (anos)	7,9
Economia de combustível anual (MWh)	0,5
Redução anual de GEE (tCO2)	0,0
Equivalência da Redução anual de GEE	Insignificante

Gráfico 5.4 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Ventilador Ar Cond.



Fonte: Autora.

O estudo de um motor dos dois ventiladores das unidades de ar condicionado alimentado exclusivamente pela eletricidade de geradores a diesel, o software calculou a economia anual de combustível de R\$ 312,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 2.478,00 da compra do motor em 7,9 anos e reduzindo a emissão de 0,5 tCO2 anuais. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia total de pouco mais de R\$ 5.000,00 ao fim da vida do projeto.

- **RESULTADOS PARCIAIS**

Os estudos segmentados de cada motor dos ventiladores das unidades condicionadoras de ar no BD Motor e no RETScreen para quando o navio estiver em alto mar ou atracado apresentaram resultados próximos.

No caso 'Diesel' do BD Motor, o retorno se daria em 24 meses, já no RETScreen, em aproximadamente 38 meses e no caso 'SIN', 60 e 95 meses. Esta ocorrência também se dá devido ao acréscimo do critério “Perda de Rendimento” no Simulador do PROCEL, adotado como 1% em ambos os casos, diminuindo a eficiência do motor em uso por conta das rebobinagens e ação do tempo. A Tabela 5.6 expõe o tempo de retorno para os dois motores analisados, onde cada software foi analisado separadamente e, para observar suas performances, fez-se preciso estudar o ano completo, ou seja, a união do caso 'Diesel' e o 'SIN' para cada software, representando tanto o tempo que o navio está navegando quanto o que está ancorado. O tempo de retorno adotado é 3,65 anos, ou seja, a média aritmética dos tempos de retorno finais do BD Motor e RETScreen.

Tabela 5.6 – Tempo de retorno do investimento – Motor Ventilador Ar Cond

Software	Equipamento	Qte	Custo (R\$)	Custo Total (R\$)	Economia Comb. Diesel (R\$/ano)	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	Economia Comb. Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
BD Motor	Motor – Ventilador	2	2.477,63	4.955,26	1.227,61	492,77	1720,38	2,8
RETScreen	Motor – Ventilador	2	2.477,63	4.955,26	777,00	312,00	1089,00	4,5

A economia total em 20 anos nos dois softwares foi aproximadamente igual em cada caso e girou em torno de R\$ 20.000,00 para o caso 'Diesel' e R\$ 6.000,00 para o 'SIN', totalizando cerca de R\$ 26.000,00 para os dois motores ao fim da vida do projeto.

Os fatores ambientais, disponíveis apenas no RETScreen, se somados, totalizam 215 litros de gasolina não consumidos por ano, ou seja, 0,5 tCO<sub>2</sub> evitados. Ao fim da vida do projeto, esta medida de eficiência energética sobre os motores dos ventiladores dos ar condicionados deixarão de emitir 10 tCO<sub>2</sub> na atmosfera, o que equivale a 4300 litros de gasolina não consumidos.

### 5.1.3 MOTORES – COMPRESSORES DOS CONDICIONADORES DE AR

Finalizando a pesquisa sobre os motores das unidades de ar condicionado, as análises sobre os motores dos compressores serão feitas do mesmo modo que as outras cargas estudadas do sistema de refrigeração. Cada motor será atendido por uma fonte de energia, energia elétrica por geradores a diesel ou eletricidade do Sistema Interligado Nacional disponível nos portos, durante 4320 horas anuais.

- **BD MOTOR**
  - **DIESEL**

A Figura 5.5 mostra a janela de resultados do BD Motor para a comparação dos motores de número 631 da WEG, como o em uso, e 2644 da WEG como o novo para o caso do navio em viagem, consumindo energia da queima do combustível diesel.

Figura 5.5 – Análise BD Motor – Diesel – Compressor Ar Condicionado



A análise do BD Motor apresenta as potências nominais dos motores em 30 CV e o rendimento do motor novo a plena carga 3% maior do que o antigo. O consumo ativo anual do motor antigo foi de 105.984,00 kWh, custando R\$ 150.497,28 anuais, e do caso proposto em 100.614,10 kWh com o custo anual de R\$ 142.872,02. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de

R\$ 7.624,26, o retorno do investimento seria de 14 meses e, em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 143.609,06 com a substituição de um motor dos compressores das unidades de condicionamento de ar para quando o navio está em alto mar.

- **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

A Figura 5.6 mostra os resultados do BD Motor para o caso 'SIN' na comparação dos motores anteriormente citados dos compressores das unidades de ar condicionado.

Figura 5.6 – Análise BD Motor – SIN – Compressor Ar Cond



Fonte: Autora.

A verificação do BD Motor devolve, logicamente, o mesmo consumo ativo anual do caso diesel para os motores em uso e o novo, pois a única alteração é no preço do combustível, passando a custar anualmente R\$ 60.410,88 para o motor em uso e R\$ 57.350,04 para o novo. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 3.060,84, o retorno do investimento seria em 34 meses. Em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 52.544,42 com a substituição do outro motor de um dos dois compressores analisados, avaliando para quando o navio está ancorado.

- **RETSSCREEN**

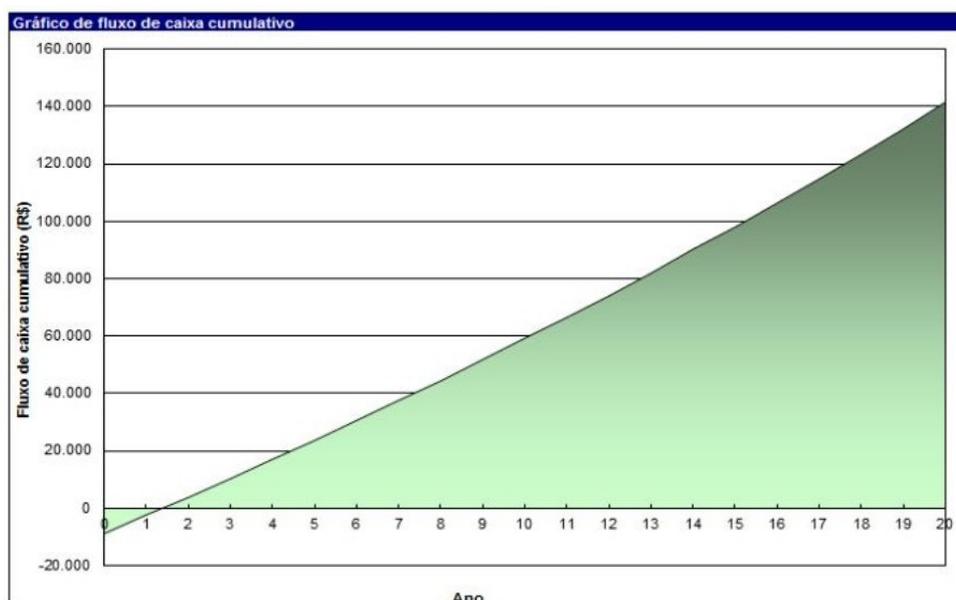
- **DIESEL**

A análise no RETScreen de um dos dois motores dos compressores das unidades de ar condicionado do P-49 para quando o navio está navegando está representada na Tabela 5.7 e no Gráfico 5.5.

Tabela 5.7 – Análise RETScreen – Diesel – Compressor Ar Cond

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	8.648,00
Economia anual de combustível (R\$)	6.053,00
Retorno do investimento (anos)	1,4
Economia de combustível anual (MWh)	4,3
Redução anual de GEE (tCO2)	4,0
Equivalência da Redução anual de GEE	1.719 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 5.5 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Compressor Ar Cond



Fonte: Autora.

Para o estudo de um motor dos dois compressores das unidades de ar condicionado alimentado exclusivamente por geradores a diesel, o RETScreen calculou a economia anual de combustível de R\$ 6.053,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 8.648,00 da compra do motor em 1,4 anos e reduzindo a emissão de 4,0 tCO2 anuais. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia total de pouco mais de R\$ 140.000,00 ao fim da vida do projeto.

#### ◦ SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

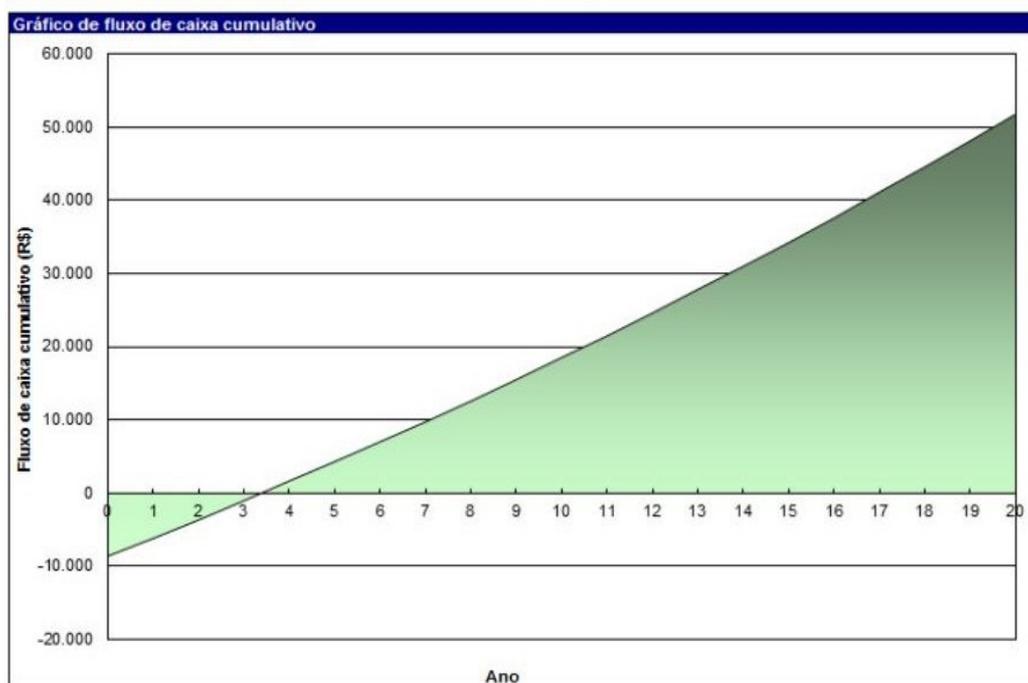
Quando a análise é feita no RETScreen no outro motor dos compressores dos ar condicionados do navio patrulha da Marinha do Brasil para quando está

ancorado, as respostas obtidas são de acordo com a Tabela 5.8 e o Gráfico 5.6.

Tabela 5.8 – Análise RETScreen – SIN – Compressor Ar Cond.

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	8.648,00
Economia anual de combustível (R\$)	2.430,00
Retorno do investimento (anos)	3,6
Economia de combustível anual (MWh)	4,3
Redução anual de GEE (tCO2)	0,4
Equivalência da Redução anual de GEE	172 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 5.6 – Fluxo de caixa acumulado – SIN– Compressor Ar Cond



Fonte: Autora.

No estudo do outro motor dos compressores das unidades de ar condicionado alimentado exclusivamente pela eletricidade dos portos, o RETScreen calculou a economia anual de combustível de R\$ 2.430,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 8.648,00 da compra do motor em 3,6 anos e reduzindo a emissão em 0,4 tCO2 anuais. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia total de pouco mais de R\$ 50.000,00 ao fim da vida do projeto.

- **RESULTADOS PARCIAIS**

Os estudos subdivididos para cada motor dos compressores das unidades condicionadoras de ar no BD Motor e no RETScreen para quando o navio estiver em alto mar ou atracado apresentaram resultados aproximados no BD Motor.

No caso 'Diesel' do BD Motor, o retorno se daria em 14 meses, já no RETScreen, em aproximadamente 16 meses, já no caso 'SIN' o retorno seria em 34 e 43 meses. Em ambos os softwares, a medida de eficiência sobre estes motores seria viável. A Tabela 5.9 expõe o tempo de retorno para os dois motores analisados, onde cada software foi analisado separadamente e, para observar suas performances, fez-se preciso estudar o ano completo, ou seja, a união do caso 'Diesel' e o 'SIN' para cada software, representando tanto o tempo que o navio está navegando quanto o que está ancorado. O tempo de retorno adotado é 1,8 ano, ou seja, a média aritmética dos tempos de retorno finais do BD Motor e RETScreen.

Tabela 5.9 – Tempo de retorno do investimento – Motor Compressor Ar Cond.

Software	Equipamento	Qte	Custo (R\$)	Custo Total (R\$)	Economia Comb. Diesel (R\$/ano)	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	Economia Comb. Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
BD Motor	Motor – Compressor	2	8.648,24	17296,48	7.624,26	3.060,84	10.685,10	1,6
RETScreen	Motor – Compressor	2	8.648,24	17296,48	6.053,00	2.430,00	8.483,00	2,0

A economia total em 20 anos nos dois softwares foi bastante parecida. O caso 'Diesel', segundo o BD Motor, teria um fluxo de caixa acumulado de R\$ 143.609,06 e, segundo o RETScreen, de quase R\$ 140.000,00; e para o caso 'SIN', o BD Motor resultou R\$ 52.544,42 e o RETScreen, R\$ 50.000,00.

Os fatores ambientais, disponíveis apenas no RETScreen, se somados, totalizam 1.891 litros de gasolina não consumidos por ano, ou seja, 4,4 tCO<sub>2</sub> evitados. Ao fim da vida do projeto, esta medida de eficiência energética sobre os motores dos compressores dos ar condicionados deixarão de emitir 88 tCO<sub>2</sub> na atmosfera, o que equivale a 37.820 litros de gasolina não consumidos.

## 5.2 SISTEMA DE SALVAMENTO

Assim como o sistema de refrigeração, as análises sobre os motores das bombas de incêndio serão feitas por etapas, pois considerou-se que o navio utiliza metade do ano o combustível diesel e a outra metade a energia elétrica do porto.

Nos estudos para os motores das bombas de incêndio foi considerado o mesmo motor da bomba Chillwater, mas com tempo de utilização de apenas 150 horas por ano. As análises serão subdivididas em 'Diesel' e 'SIN', tanto no BD Motor quanto no RETScreen, analogamente aos motores anteriormente avaliados.

- **BD MOTOR**
  - **DIESEL**

A Figura 5.7 mostra os resultados do BD Motor para a comparação dos motores de número 450 da Baldor, como o em uso, e 2641 da WEG como o novo para quando a energia fornecida para o navio é através da queima do combustível diesel para as bombas de incêndio durante 150 h/ano.

Figura 5.7 – Análise BD Motor – Diesel – Bomba de Incêndio



Fonte: Autora.

A análise do BD Motor resulta no consumo ativo anual do antigo motor como 222,28 kWh, custando R\$ 315,64 anuais, e do caso proposto em 194,89 kWh com o custo anual de R\$ 276,75. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 38,89, o retorno do investimento seria de 291 meses, ou seja, 24 anos. O tempo de vida do projeto é 20 anos, portanto, a ação proposta sobre o motor da bomba de incêndio alimentada a diesel não é viável.

- **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Para quando o navio está ancorado em um porto, os resultados do BD Motor sobre a troca do motor da bomba de incêndio é exibida na Figura 5.8.

Figura 5.8 – Análise BD Motor – SIN – Bomba de Incêndio



Fonte: Autora.

A verificação do BD Motor devolve o mesmo consumo ativo anual do caso diesel para o motor em uso e para o novo como 222,28 kWh e 194,89 kWh por ano, respectivamente. No entanto, o preço do combustível muda, custando então, R\$ 126,70 e R\$ 111,09 anuais, na comparação dos motores estudados. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 15,61, o retorno do investimento seria de 726 meses, ou seja, em 60 anos. A medida continua inviável também para este combustível, segundo o BD Motor.

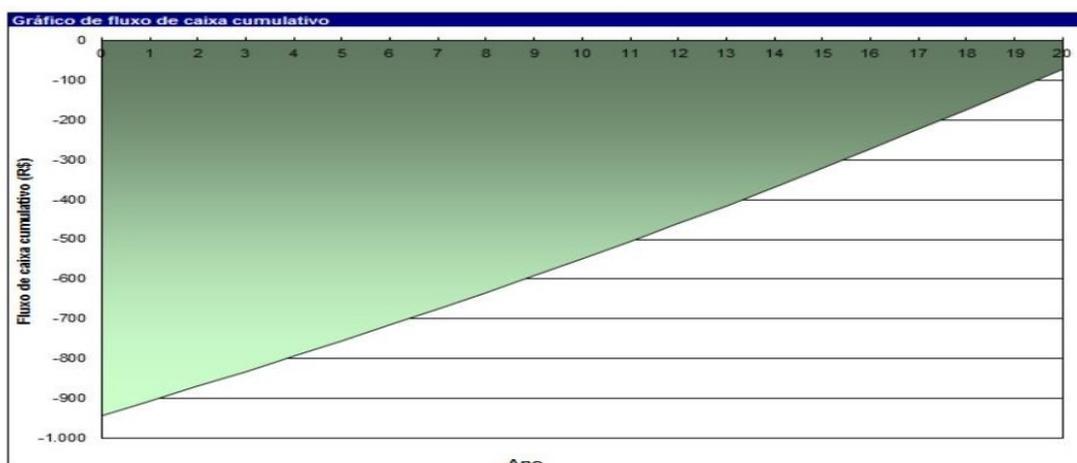
- **RETSCREEN**
  - **DIESEL**

Quando a análise é feita no RETScreen sobre o outro motor da bomba de incêndio para o combustível diesel, as respostas obtidas são de acordo com a Tabela 5.10 e o Gráfico 5.7.

Tabela 5.10 – Análise RETScreen – Diesel – Bomba de Incêndio

Custo incremental (R\$)	944,00
Economia anual de combustível (R\$)	35,00
Retorno do investimento (anos)	26,8
Economia de combustível anual (MWh)	0,0
Redução anual de GEE (tCO <sub>2</sub> )	0,0
Equivalência da Redução anual de GEE	Insignificante

Gráfico 5.7 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Motor Bomba de incêndio



Fonte: Autora.

O gráfico de fluxo de caixa acumulado para o motor da outra unidade de bomba de incêndio indica que o tempo de retorno do investimento é um pouco maior do que o tempo de vida do projeto. A ação, mais uma vez é mostrada como inviável.

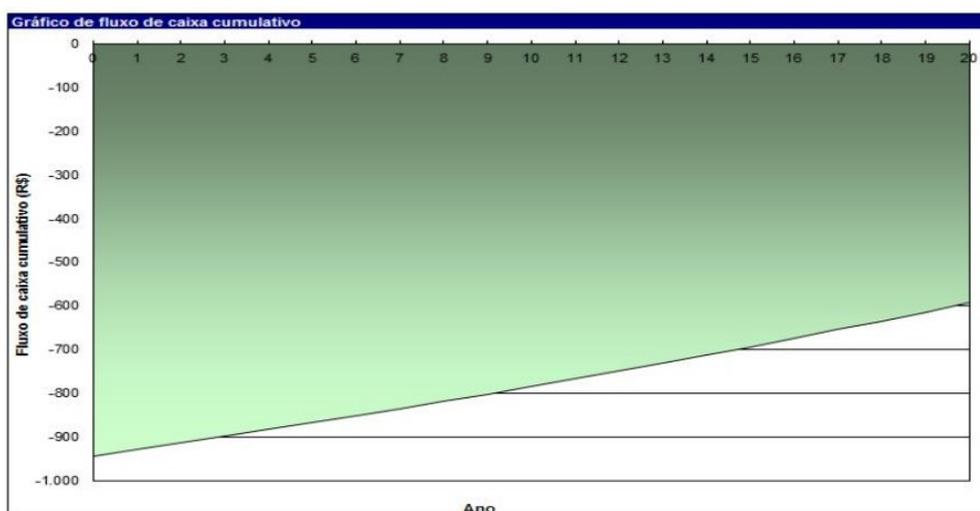
◦ **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Quando a análise é feita baseada no combustível eletricidade oriunda do porto do motor para a bomba de incêndio, as respostas obtidas são de acordo com a Tabela 5.11 e o Gráfico 5.8.

Tabela 5.11 – Análise RETScreen – SIN – Bomba de Incêndio

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	944,00
Economia anual de combustível (R\$)	14,00
Retorno do investimento (anos)	66,8
Economia de combustível anual (MWh)	0,0
Redução anual de GEE (tCO2)	0,0
Equivalência da Redução anual de GEE	Insignificante

Gráfico 5.8 – Fluxo de caixa acumulado – SIN – Motor Bomba de Incêndio



Fonte: Autora.

O gráfico de fluxo de caixa acumulado para o motor da outra unidade de bomba de incêndio indica que o tempo de retorno do investimento é bem maior do que o tempo de vida do projeto, confirmando a inviabilidade desta medida.

- **RESULTADOS PARCIAIS**

Os estudos segmentados de cada motor das bombas Chillwater no BD Motor e no RETScreen para quando o navio estiver em alto mar ou atracado apresentaram resultados próximos.

Os tempos de retorno verificados foram todos acima da vida útil do projeto, variando de 24 anos quando analisado no caso do combustível diesel no BD Motor a 66 anos para o caso da eletricidade do porto no RETScreen. Portanto, a ação de eficiência energética sobre os motores das bombas de incêndio é, indiscutivelmente, inviável.

### 5.3 GERADOR AUXILIAR - VENTILADOR

Para garantir o resfriamento do gerador auxiliar, localizado fora da casa de máquinas como medida de segurança para que este possa garantir a alimentação da rede de distribuição em caso de sinistros, há um ventilador com motor de 0,5 HP. A pesquisa de eficiência energética sobre o motor deste ventilador será feita

novamente pelos softwares BD Motor e RETScreen. Porém, neste caso, pela natureza da utilização da carga as análises serão feitas somente para o combustível diesel durante 150 horas anuais, pois não há motivo de acionar o gerador auxiliar quando o navio está ancorado.

- **BD MOTOR**

O resultado do BD Motor da comparação dos motores de número 424 da KOHLBACH, como o em uso, e 2642 da WEG como o novo do motor do ventilador do gerador auxiliar está ilustrado na Figura 5.9.

Figura 5.9 – Análise BD Motor – Diesel – Ventilador Ar Condicionado



Fonte: Autora.

O consumo ativo anual do motor antigo foi de 81,66 kWh, custando R\$ 115,95 anuais, e do caso proposto foi 71,22 kWh com o custo anual de R\$ 101,13. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 14,82, o retorno do investimento seria em 520 meses, ou seja, em 43 anos.

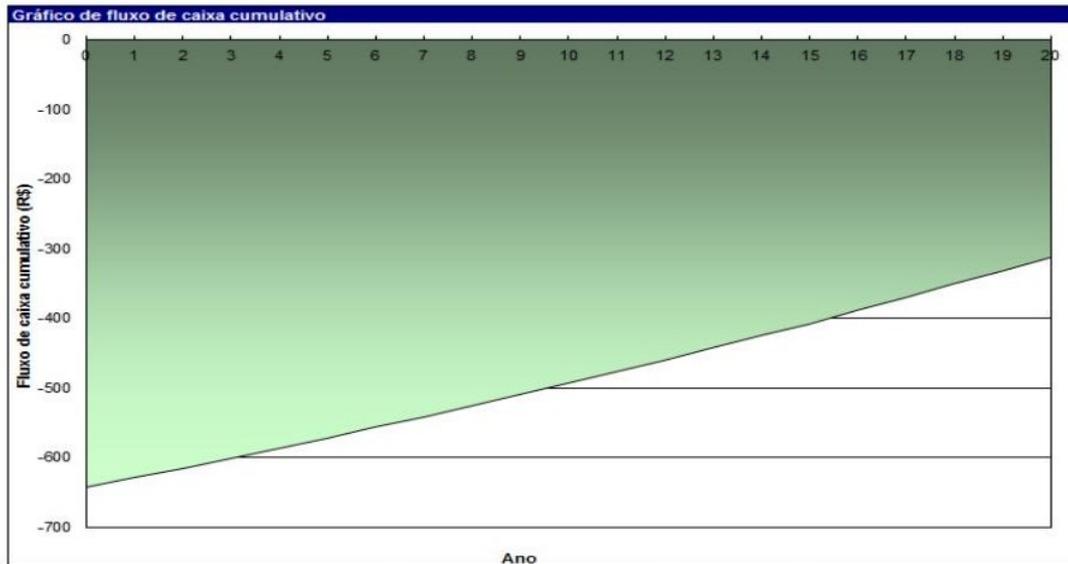
- **RETSCREEN**

A análise do RETScreen sobre o motor do ventilador do gerador auxiliar do P-49 está representada na Tabela 5.12 e no Gráfico 5.9.

Tabela 5.12 – Análise RETScreen – Diesel – Ventilador Gerador Auxiliar

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	642,00
Economia anual de combustível (R\$)	13,00
Retorno do investimento (anos)	48,2
Economia de combustível anual (MWh)	0,0
Redução anual de GEE (tCO2)	0,0
Equivalência da Redução anual de GEE	Insignificante

Gráfico 5.9 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Ventilador Gerador Auxiliar



O estudo do motor do ventilador do gerador auxiliar mostrou a economia anual de combustível de R\$ 13,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 642,00 da compra do motor em 48,2 anos. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado confirmou a inviabilidade da medida sobre este motor.

- **RESULTADOS PARCIAIS**

A pesquisa sobre o motor do ventilador do gerador auxiliar no BD Motor e no RETScreen apresentaram resultados aproximados. O tempo de retorno, em ambos os softwares, foi acima da vida útil do projeto, 43 anos e 48 anos, inviabilizando a medida eficientizadora.

## 5.4 CÂMARA FRIGORÍFICA

Tal como a pesquisa sobre o sistema de refrigeração, as análises sobre os motores do ventilador e dos compressores da câmara frigorífica serão feitas por etapas, considerando-se o navio em alto mar e quando a embarcação está ancorada.

### 5.4.1 VENTILADOR – CÂMARA FRIGORÍFICA

Nos estudos para o motor do ventilador da câmara frigorífica adotou-se o mesmo motor do ventilador do gerador auxiliar, mas com tempo de utilização de 4320 horas por ano. No entanto, por ser apenas um dispositivo estudado, as verificações serão subdivididas em 2160 horas para o caso 'Diesel' e as outras 2160 horas para o caso 'SIN', tanto no BD Motor quanto no RETScreen.

- **BD MOTOR**
  - **DIESEL**

O resultado do simulador do PROCEL para a comparação do motor do ventilador da câmara frigorífica de número 424 da KOHLBACH, como o em uso, e 2642 da WEG como o novo para o caso do navio em alto mar, consumindo energia da queima do combustível diesel está representado na Figura 5.10.

Figura 5.10 – Análise BD Motor – Diesel – Ventilador Câmara frigorífica



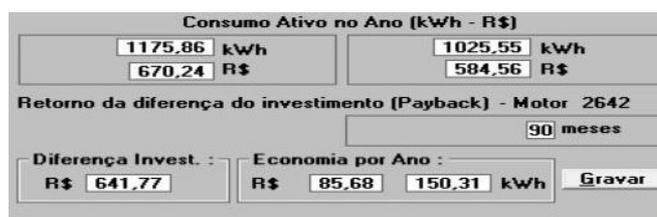
Fonte: Autora.

O consumo ativo anual do motor antigo foi de 1.175,86 kWh, custando R\$ 1.669,72 anuais, e consumo do caso proposto foi de 1.025,55 kWh com o custo anual de R\$ 1.456,28. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 213,44, o retorno do investimento seria de 36 meses e, em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 3.628,48 com a substituição de um motor do ventilador da câmara frigorífica quando o navio está em alto mar.

- **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

A Figura 5.11 mostra os resultados do BD Motor para o caso 'SIN' na comparação do motor de número 424 da KOHLBACH, como o em uso, com o motor 2642, também da WEG, como o novo motor do ventilador da câmara frigorífica.

Figura 5.11 – Análise BD Motor – SIN – Ventilador Câmara Frigorífica



Fonte: Autora.

Como a única mudança é no preço do combustível, o BD Motor devolve o mesmo consumo ativo anual do caso diesel para os motores em uso e novo, no entanto, custando anualmente R\$ 670,24 para o motor em uso e R\$ 584,56 para o novo. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 85,68, o retorno do investimento seria em 90 meses, ou seja, 7,5 anos. E em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 1.071,00 com a substituição do motor do ventilador analisado, avaliação esta para quando o navio está ancorado.

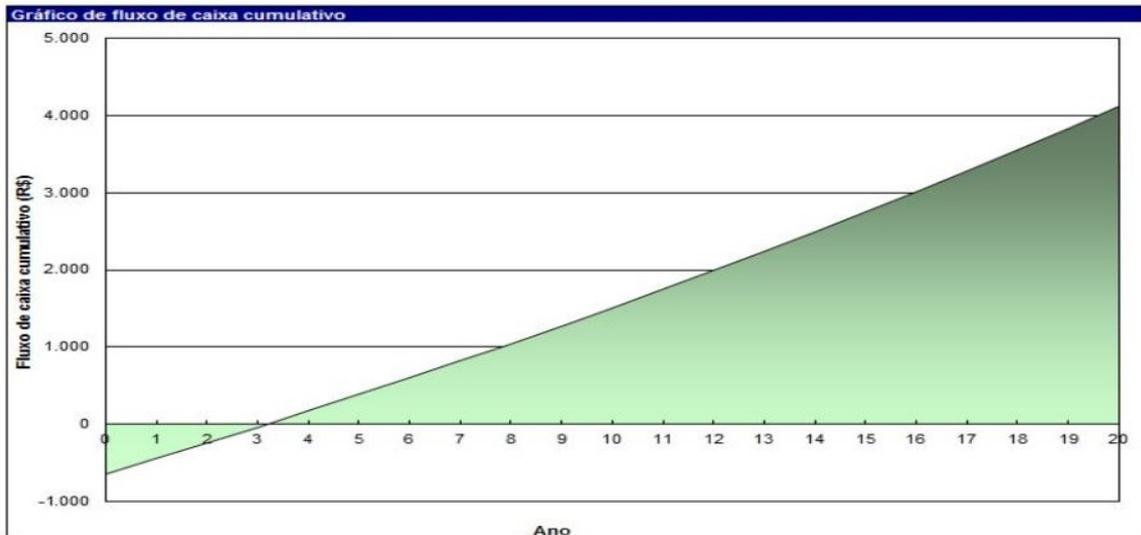
- **RETSCREEN**
  - **DIESEL**

Quando o navio está navegando, a análise do RETScreen do motor do ventilador da câmara frigorífica do Guarujá está apresentada na Tabela 5.13 e no Gráfico 5.10.

Tabela 5.13 – Análise RETScreen – Diesel – Ventilador Câmara Frigorífica

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	642,00
Economia anual de combustível (R\$)	192,00
Retorno do investimento (anos)	3,3
Economia de combustível anual (MWh)	0,1
Redução anual de GEE (tCO2)	0,1
Equivalência da Redução anual de GEE	43 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 5.10 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Ventilador Câmara Frigorífica



Fonte: Autora.

O estudo no RETScreen do motor da câmara frigorífica alimentado exclusivamente pela eletricidade de geradores a diesel resultou na economia anual de combustível de R\$ 192,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 642,00 da compra do motor em 3,3 anos e reduzindo a emissão de 0,1 tCO<sub>2</sub> anual. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia total de pouco mais de R\$ 4.000,00 ao fim da vida do projeto.

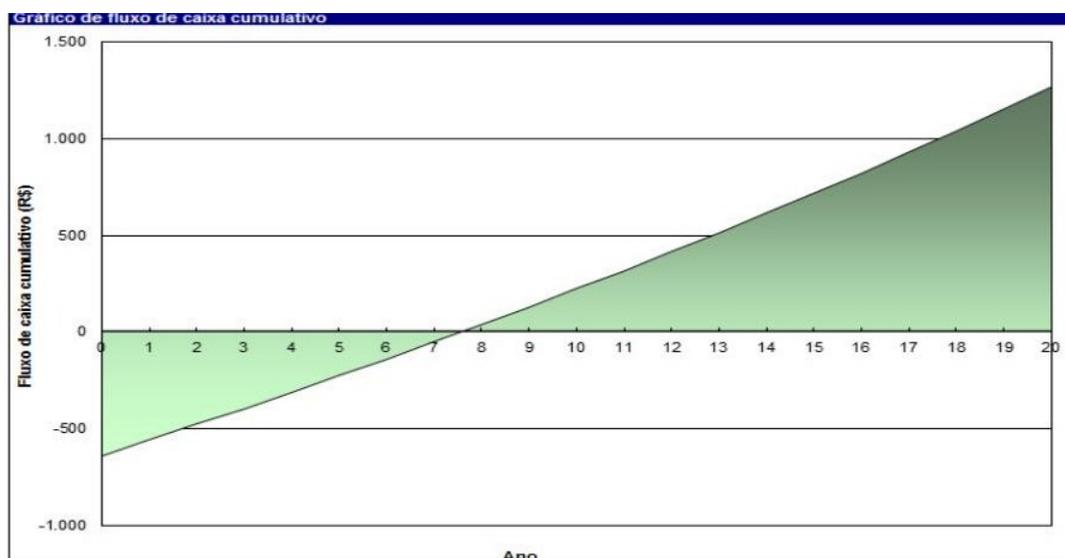
◦ **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Quando a análise é feita baseada na energia elétrica oriunda do porto pelo RETScreen no motor do ventilador da câmara frigorífica do Guarujá, as respostas estão de acordo com a Tabela 5.14 e o Gráfico 5.11.

Tabela 5.14 – Análise RETScreen – SIN – Ventilador Câmara Frigorífica

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	642,00
Economia anual de combustível (R\$)	77,00
Retorno do investimento (anos)	8,3
Economia de combustível anual (MWh)	0,1
Redução anual de GEE (tCO <sub>2</sub> )	0,0
Equivalência da Redução anual de GEE	Insignificante

Gráfico 5.11 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Ventilador Câmara Frigorífica



Fonte: Autora.

Na verificação do caso em que o motor da câmara frigorífica é alimentado exclusivamente pela eletricidade do porto, o software calculou a economia anual de combustível de R\$ 77,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 642,00 da compra do motor em 8,3 anos, sem reduções significativas nas emissões de CO<sub>2</sub> anuais. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia total de cerca de R\$ 1.250,00 ao fim da vida do projeto.

- **RESULTADOS PARCIAIS**

Os estudos segmentados do motor do ventilador da câmara frigorífica no BD Motor e no RETScreen para quando o navio estiver em alto mar ou atracado apresentaram resultados próximos.

No caso 'Diesel' do BD Motor, o retorno se daria em 36 meses, já no RETScreen, em aproximadamente 39 meses e no caso 'SIN', 90 e 99 meses. Esta pequena diferença é devido ao acréscimo do critério "Perda de Rendimento" no Simulador do PROCEL, adotado como 1% em ambos os casos, diminuindo a eficiência do motor em uso por conta das rebobinagens e ação do tempo. A Tabela 5.15 expõe o tempo de retorno para os dois motores analisados de forma similar aos exemplos anteriormente tratados. O tempo de retorno adotado é 2,2 anos, ou

seja, a média aritmética dos tempos de retorno finais do BD Motor e RETScreen.

Tabela 5.15 – Tempo de retorno do investimento – Motor Ventilador Câmara frigorífica

Software	Equipamento	Qte	Custo (R\$)	Custo Total (R\$)	Economia Comb. Diesel (R\$/ano)	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	Economia Comb. Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
BD Motor	Motor – Ventilador	1	641,77	641,77	216,44	85,68	302,12	2,1
RETScreen	Motor – Ventilador	1	641,77	641,77	192,00	77,00	269,00	2,3

A economia total em 20 anos nos dois softwares foi aproximadamente igual, segundo os gráficos de fluxo de caixa acumulados, girando em torno de R\$ 3.600,00 para o caso 'Diesel' e R\$ 1.000,00 para o 'SIN', totalizando cerca de R\$ 4.600,00 para os dois motores ao fim da vida do projeto.

Os fatores ambientais, disponíveis apenas no RETScreen totalizam 43 litros de gasolina não consumidos por ano, ou seja, 0,1 tCO<sub>2</sub> evitados. Ao fim da vida do projeto, esta medida de eficiência energética sobre os motores dos ventiladores dos ar condicionados deixarão de emitir 2 tCO<sub>2</sub> na atmosfera, o que equivale a 860 litros de gasolina não consumidos.

#### 5.4.2 COMPRESSORES – CÂMARA FRIGORÍFICA

Finalizando a pesquisa, as análises sobre os motores dos compressores da câmara frigorífica serão feitas do mesmo modo como sobre as cargas estudadas do sistema de refrigeração. Cada motor será atendido por uma fonte de energia produzida por geradores a diesel ou pelo Sistema Interligado Nacional disponível nos portos, durante 4320 horas anuais.

- **BD MOTOR**
  - **DIESEL**

A Figura 5.12 mostra a janela de resultados do BD Motor para a comparação dos motores de número 429 da KOHLBACH, como o em uso, e 2647 da WEG como o novo para o caso do navio em viagem, consumindo energia da queima do

combustível diesel.

O consumo ativo anual do motor antigo foi de 12.135,57 kWh, custando R\$ 17.232,51 anuais, e do caso proposto, de 11.582,35 kWh, com o custo anual de R\$ 16.446,93 Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 785,58, o retorno do investimento seria de 19 meses e, em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 14.467,76 com a substituição de um motor dos compressores da câmara frigorífica para quando o navio está em alto mar.

Figura 5.12 – Análise BD Motor – Diesel – Compressor Câmara Frigorífica



Fonte: Autora.

#### o SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

A Figura 5.13 mostra os resultados do BD Motor para o caso 'SIN' na comparação dos motores de número 429 da KOHLBACH, como o em uso, e 2647 também da WEG como o novo dos compressores da câmara frigorífica.

Figura 5.13 – Análise BD Motor – SIN – Compressor Câmara Frigorífica



Fonte: Autora.

A verificação do BD Motor devolve, logicamente, o mesmo consumo ativo anual do caso diesel para os motores em uso e novo, pois a única alteração é no preço do combustível, passando a custar anualmente R\$ 6.917,28 para o motor em uso e R\$ 6.601,94 para os novos. Assim, considerando somente a economia de combustível anual de R\$ 315,34, o retorno do investimento seria em 47 meses. Em 20 anos, o navio deixaria de gastar R\$ 5.071,71 com a substituição de um motor

dos compressores analisados.

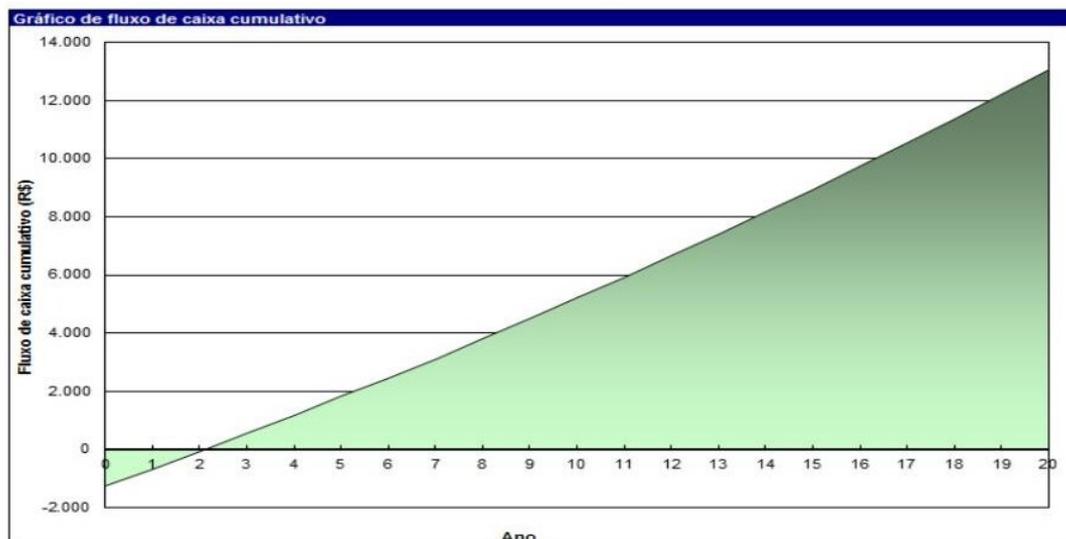
- **RETSscreen**
  - **DIESEL**

A análise é no RETScreen de um dos dois motores dos compressores da câmara frigorífica do Guarujá para o combustível diesel está representada na Tabela 5.16 e no Gráfico 5.12.

Tabela 5.16 – Análise RETScreen – Diesel – Compressor Câmara Frigorífica

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	1.244,00
Economia anual de combustível (R\$)	577,00
Retorno do investimento (anos)	2,2
Economia de combustível anual (MWh)	0,4
Redução anual de GEE (tCO <sub>2</sub> )	0,4
Equivalência da Redução anual de GEE	172 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 5.12 – Fluxo de caixa acumulado – Diesel – Compressor Câmara Frigorífica



Fonte: Autora.

Para o estudo de um motor dos dois compressores da câmara frigorífica alimentado exclusivamente pelos geradores a diesel, o RETScreen calculou a economia anual de combustível de R\$577,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 1.244,00 da compra do motor em 2,2 anos e reduzindo a emissão de 0,4 tCO<sub>2</sub> anuais. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia

total de aproximadamente R\$ 13.000,00 ao fim da vida do projeto.

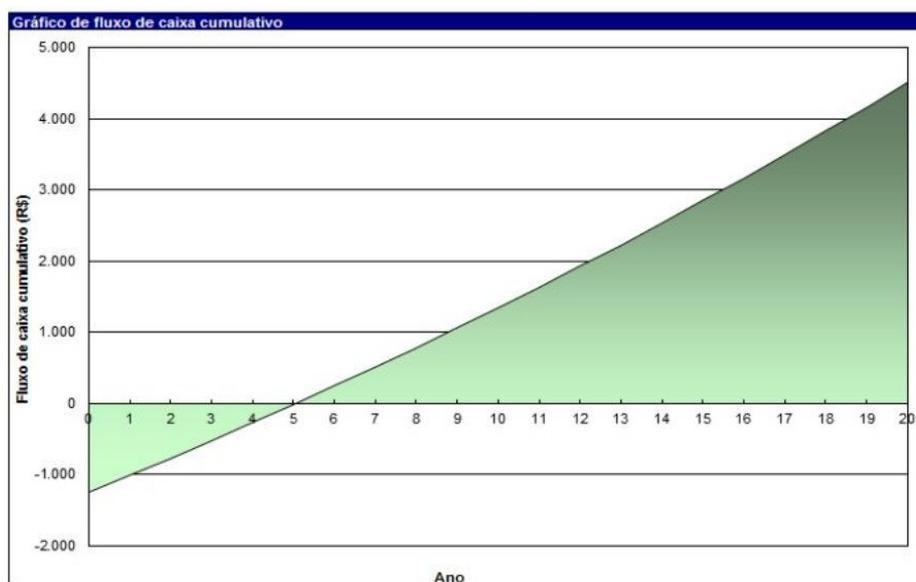
- **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Quando a análise do RETScreen é feita sobre o outro motor dos compressores para o caso do navio estar ancorado, as respostas obtidas estão de acordo com a Tabela 5.17 e o Gráfico 5.13.

Tabela 5.17 – Análise RETScreen – SIN – Compressor Câmara Frigorífica

RESULTADOS	
Custo incremental (R\$)	1.244,00
Economia anual de combustível (R\$)	232,00
Retorno do investimento (anos)	5,4
Economia de combustível anual (MWh)	0,4
Redução anual de GEE (tCO2)	0,0
Equivalência da Redução anual de GEE	Insignificante

Gráfico 5.13 – Fluxo de caixa acumulado – SIN – Compressor Câmara Frigorífica



Fonte: Autora.

O estudo sobre outro motor dos compressores da câmara frigorífica alimentado exclusivamente pela eletricidade dos portos, o RETScreen calculou a economia anual de combustível de R\$ 232,00, trazendo o retorno do investimento de R\$ 1.244,00 da compra do motor em 5,4 anos, sem redução significativa nas emissões de gases do efeito estufa anuais. O Gráfico de fluxo de caixa acumulado ainda apresenta a economia total de pouco mais de R\$ 4.500,00 ao fim da vida do

projeto.

- **RESULTADOS PARCIAIS**

Os estudos subdivididos para cada motor dos compressores das unidades condicionadoras de ar no BD Motor e no RETScreen para quando o navio estiver em alto mar ou atracado apresentaram resultados próximos.

No caso 'Diesel' do BD Motor, o retorno se daria em 19 meses, já no RETScreen, em aproximadamente 26 meses, já no caso 'SIN' o retorno seria em 47 e 64 meses. Em ambos os softwares, a medida de eficiência sobre estes motores seria viável. A Tabela 5.18 expõe o tempo de retorno para os dois motores analisados.

Tabela 5.18 – Tempo de retorno do investimento – Motor Compressor Ar Cond.

Software	Equipamento	Qte	Custo (R\$)	Custo Total (R\$)	Economia Comb. Diesel (R\$/ano)	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	Economia Comb. Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
BD Motor	Motor – Compressor	2	1.244,15	2.488,30	785,58	315,34	1.100,92	2,2
RETScreen	Motor – Compressor	2	1.244,15	2.488,30	577,00	232,00	809,00	3,0

O tempo de retorno adotado é 2,6 ano, ou seja, a média aritmética dos tempos de retorno finais do BD Motor e RETScreen.

A economia total em 20 anos nos dois softwares foi bastante parecida, conforme os gráficos de fluxo de caixa acumulado. O caso 'Diesel', segundo o BD Motor, teria um fluxo de caixa acumulado de R\$ 14.467,76 e, segundo o RETScreen, de quase R\$ 13.000,00; e para o caso 'SIN', o BD Motor resultou em R\$ 5.071,71 e o RETScreen, R\$ 4.500,00.

Os fatores ambientais, disponíveis apenas no RETScreen, se somados, totalizam 172 litros de gasolina não consumidos por ano, ou seja, 0,4 tCO2 evitados. Ao fim da vida do projeto, esta medida de eficiência energética sobre os motores dos compressores dos ar condicionados deixarão de emitir 8 tCO2 na atmosfera, o que equivale a 3.440 litros de gasolina não consumidos.

## 5.5 CONJUNTO DOS MOTORES VIÁVEIS AVALIADOS - RETSCREEN

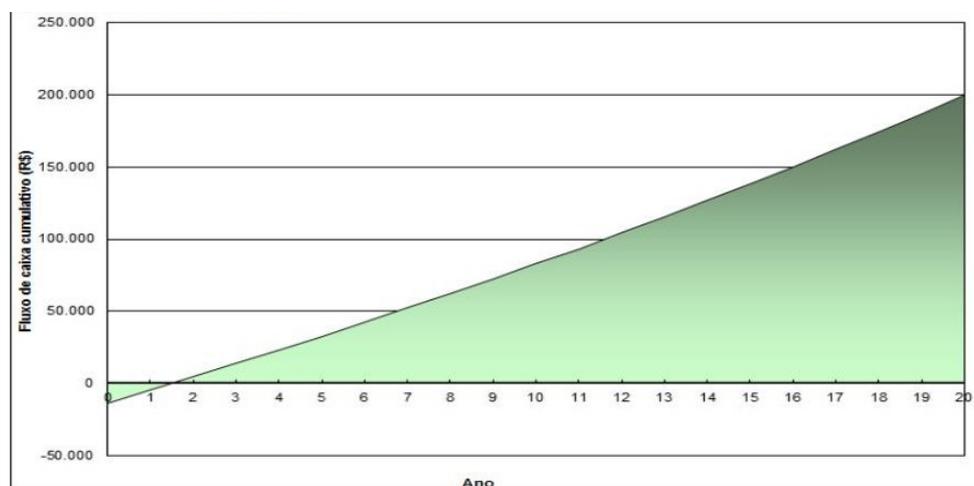
- **DIESEL**

Analisando o projeto como um todo dos motores estudados como viáveis, o software apresentou os resultados conforme a Tabela 5.19 e o Gráfico 5.14 para a análise do caso do combustível diesel.

Tabela 5.19 – Conjunto de motores viáveis – Diesel - RETScreen

<b>Custo incremental (R\$)</b>	13.956,00
<b>Economia anual de combustível (R\$)</b>	8.611,00
<b>Retorno do investimento (anos)</b>	1,6
<b>Economia de combustível anual (MWh)</b>	6,1
<b>Redução anual de GE (tCO2)</b>	5,7
<b>Equivalência da Redução anual de GEE</b>	2.449 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 5.14 – Fluxo de caixa acumulado – Motores Viáveis – Diesel – RETScreen



Fonte: Autora.

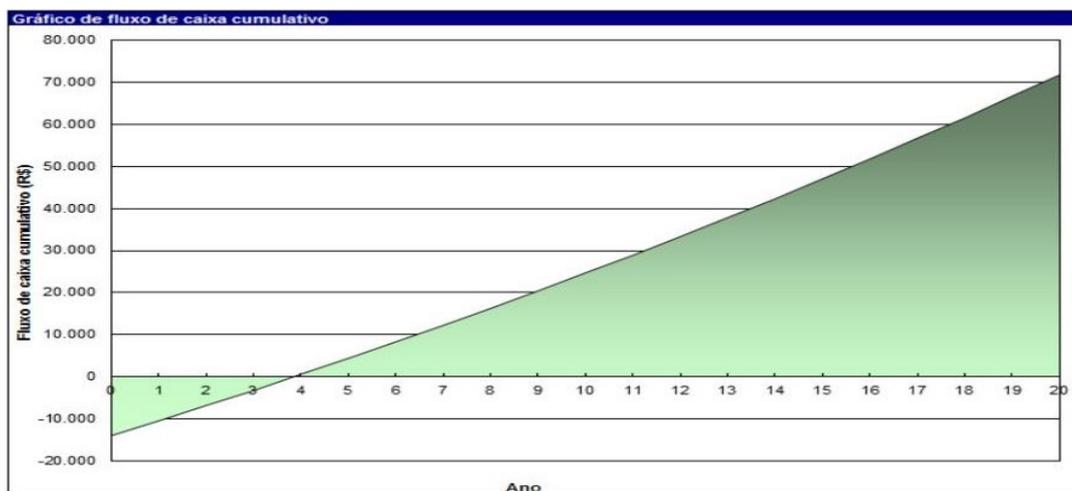
- **SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**

Analisando o projeto como um todo, verificando as ações sobre todos os motores estudados como viáveis, o software apresentou os resultados conforme a Tabela 5.20 e o Gráfico 5.15 para a análise do caso do combustível energia elétrica dos portos.

Tabela 5.20 – Conjunto de motores viáveis – SIN - RETScreen

<b>Custo incremental (R\$)</b>	13.956,00
<b>Economia anual de combustível (R\$)</b>	3.457,00
<b>Retorno do investimento (anos)</b>	4,0
<b>Economia de combustível anual (MWh)</b>	6,1
<b>Redução anual de GE (tCO2)</b>	0,5
<b>Equivalência da Redução anual de GEE</b>	215 Litros de gasolina não consumidos

Gráfico 5.15 – Fluxo de caixa acumulado – Motores Viáveis – SIN – RETScreen



Fonte: Autora.

◦ **RESULTADO – MOTORES VIÁVEIS**

Como parte da análise energética dos motores viáveis propostos, o RETScreen calculou o retorno em 1,6 ano para o combustível diesel e 4,0 anos para a eletricidade do porto. A Tabela 5.21 mostra os fatores econômicos e o tempo de retorno total para todos os motores viáveis estudados.

Tabela 5.21 – Resultados – Motores Viáveis - RETScreen

<b>Custo Diesel (R\$)</b>	<b>Custo SIN (R\$)</b>	<b>Custo Total (R\$/ano)</b>	<b>Economia Comb. Diesel (R\$/ ano)</b>	<b>Econ. Comb. SIN (R\$/ano)</b>	<b>Economia Total (R\$/ano)</b>	<b>Retorno do Investimento (anos)</b>
13.956,00	13.956,00	27.912,00	8.611,00	3.457,00	12.068,00	2,3

De acordo com as análises individuais sobre os motores, o RETScreen e o BD Motor resultaram resultados próximos tanto em termos de tempo de retorno do investimento quanto de valor final do fluxo de caixa acumulado. Portanto, a análise do RETScreen basta para o estudo das medidas viáveis, mostradas na Tabela 5.22. O motor mais impactante para este projeto é o motor do compressor do ar

condicionado por conta de sua potência instalada de 30 HP.

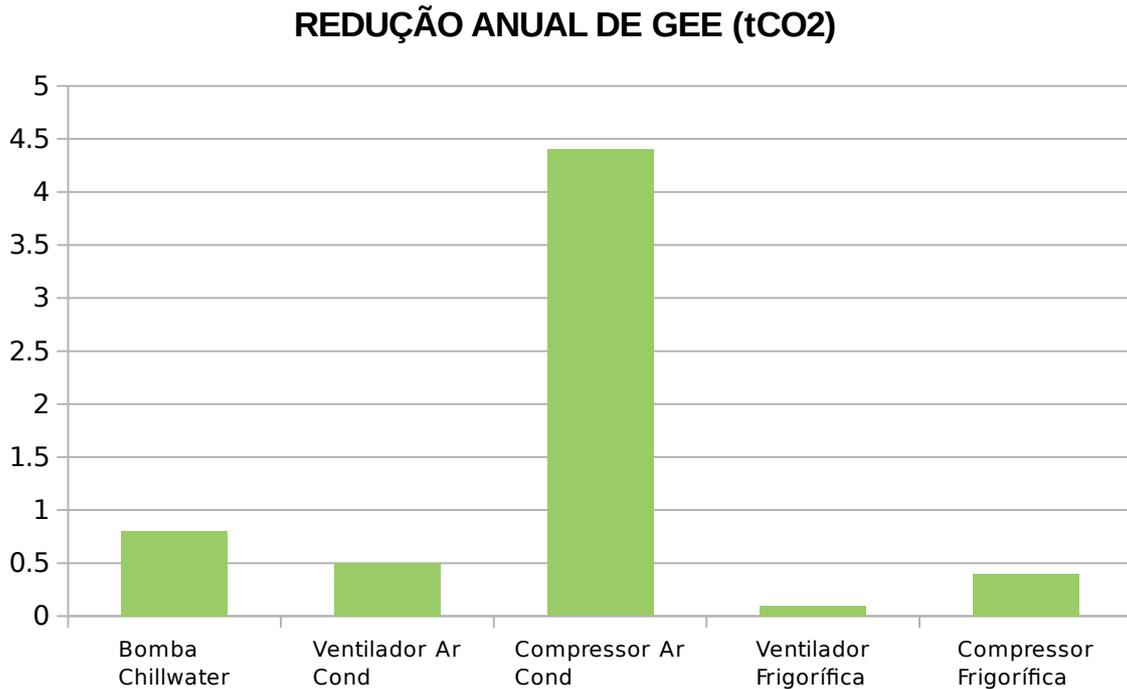
Tabela 5.22 - Resultados para os motores viáveis - RETScreen

Equipamento	Custo - Diesel (R\$)	Custo - SIN (R\$)	Custo Total (R\$)	Economia Comb. Diesel (R\$/ ano)	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	Economia Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
Motor Bomba Chillwater	944,01	944,01	1.888,02	1.013,00	407,00	1.420,00	1,3
Motor Ventilador Ar Cond.	2.477,63	2.477,63	4.955,26	777,00	312,00	1089,00	4,5
Motor Compressor Ar Cond	8.648,24	8.648,24	17296,48	6.053,00	2.430,00	8.483,00	2,0
Motor Ventilador Frigorífica	641,77*	641,77*	641,77	192,00	77,00	269,00	2,3
Motor Compressor Frigorífica	1.244,15	1.244,15	2.488,30	577,00	232,00	809,00	3,0
<b>TOTAL</b>	<b>13.634,91</b>	<b>13.634,91</b>	<b>27.269,83</b>	<b>8.612,00</b>	<b>3.458,00</b>	<b>12.070,00</b>	<b>2,2</b>

\* Somente um motor, com o tempo de utilização dividido metade para cada caso, 'Diesel' e 'SIN'.

Na análise de emissões observou-se que, em todos os casos em que o combustível é o diesel, a redução das emissões foram maiores, como esperado. O motor do compressor da unidade condicionadora de ar representam 70,9% da redução das emissões de gases do efeito estufa dos motores analisados. O projeto completo sobre os motores conteria as emissões equivalentes a 2.664 litros de gasolina por ano, ou seja, 6,2 toneladas de gás carbônico não seriam injetados na atmosfera anualmente. Ao fim da vida do projeto, as medidas sobre estes motores deixarão de emitir 124 tCO<sub>2</sub> na atmosfera. O Gráfico 5.16 mostra as reduções das emissões de gás carbônico anuais para o conjunto de motores analisados como viáveis.

Gráfico 5.16 – Reduções das emissões por motor viável.



Fonte: Autora.

A análise financeira, a partir dos gráficos dos fluxos de caixa totais acumulados mostrados nos Gráficos 4.12 e 4.13, exibiu uma economia total ao fim dos 20 anos para o conjunto de motores viáveis de aproximadamente R\$ 270.000,00 através da economia de combustível e dos fatores econômicos de reajuste de combustível e inflação. Se for considerada somente a economia de combustível exibida na Tabela 4.22, o fluxo de caixa acumulado ao fim da vida do projeto é de R\$ 214.846,00. Portanto, cerca de R\$ 55.000,00 da economia indicada no RETScreen para os motores viáveis é obtida através dos fatores econômicos brasileiros de inflação e reajuste de combustível.

## 6 CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

As medidas de eficiência energética sobre as lâmpadas do navio – estudo de caso, através da troca destas por unidades com eficiência luminosa maior mostrou-se viável para as lâmpadas fluorescentes compactas e tubulares. Se analisados somente a economia de combustível, o tempo de retorno do investimento é de 2,8 anos, economizando R\$ 74.338,40 ao fim da vida útil do projeto. Quando a economia de operação e manutenção é adicionada, o tempo de retorno caiu para 1,6 ano, com a contenção de gastos de R\$ 138.128,80 em 20 anos. E, o RETScreen também utiliza fatores econômicos de taxa de inflação e reajuste de combustível anual, ponderando em conjunto aumento dos preços das lâmpadas não trocadas e do combustível não utilizado, acrescendo o fluxo de caixa acumulado para R\$ 280.000,00. A análise ambiental pelo RETScreen apontou a redução anual do projeto sobre o sistema de iluminação equivalente a 858,9 litros de gasolina, ou seja, 2 toneladas de gás carbônico não serão injetados na atmosfera anualmente.

Os cálculos no BD Motor e no RETScreen foram equivalentes sobre os motores verificados como viáveis: da bomba chillwater, do ventilador e do compressor do ar condicionado e do ventilador e compressores da câmara frigorífica. As ações sobre os motores viáveis do P-49, através da troca destes por exemplares com maior rendimento, apresentaram o tempo de retorno do investimento de 2,2 anos, economizando R\$ 214.846,00 ao fim da vida útil do projeto com a economia de combustível. Quando os fatores econômicos de taxa de inflação e reajuste de combustível annual são inseridos nas análises, o fluxo de caixa acumulado é acrescido de cerca de R\$ 55.000,00, totalizando a economia total de aproximadamente R\$ 270.000,00. As reduções de gases do efeito estufa

para estes motores apontaram a redução anual de 6,2 tCO<sub>2</sub>, o que equivale a contenção das emissões de 2.664 litros de gasolina por ano. A Tabela 6.1 mostra os dados de economia e tempo de retorno dos motores e lâmpadas verificados como viáveis.

Tabela 6.1 – Economia e tempo de retorno dos equipamentos viáveis

Equipamento	Custo - Diesel (R\$)	Custo - SIN (R\$)	Custo Total (R\$)	Economia Comb. Diesel (R\$/ano)	Economia O&M Diesel (R\$/ano)	Econ. Comb. SIN (R\$/ano)	Economia O&M Diesel (R\$/ano)	Economia Total (R\$/ano)	Retorno do Investimento (anos)
Lâmpadas	6.522,00	6.522,00	12.519,00	3.256,00	1.631,00	1.066,00	1.554,00	7.507,00	1,6
Motores	13.634,91	13.634,91	27.269,83	8.612,00	-	3.458,00	-	12.070,00	2,2
<b>TOTAL</b>	<b>20.156,91</b>	<b>20.156,91</b>	<b>39.788,83</b>	<b>11.868,00</b>	<b>1.631,00</b>	<b>4.524,00</b>	<b>1.554,00</b>	<b>19.577,00</b>	<b>2,0</b>

Assim, as medidas eficientizadoras sobre as lâmpadas e sobre os motores, quando combinadas, indicam o tempo de retorno de 2,0 anos, evitando a emissão de 164 toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera em 20 anos e economizando cerca de R\$ 352.974,80 ao fim da vida do projeto, justificando, assim, a sua execução.

A redução do impacto ambiental proporcionada, então, por esta ação de eficiência energética na embarcação-estudo de caso mostrou o potencial da metodologia proposta através das medidas eficientizadoras em navios.

Se convertida a redução das emissões de gases de efeito estufa da medida proposta em crédito de carbono, o Brasil poderia converter 8,2 tCO<sub>2</sub>e (toneladas de gás carbônico equivalente) anualmente somente neste navio. Isto significa que o P49, além de economizar com a redução de combustível e gastos extras com operação e manutenção também poderia lucrar com a “venda” de 8 créditos de carbono no mercado internacional anualmente. O valor do crédito de carbono muda diariamente, como no mercado de ações, mas, de qualquer forma representa um ganho a mais, fortalecendo ainda mais a concretização da medida.

## 6.2 CONTRIBUIÇÕES

No presente estudo verificou-se uma pequena falha no software canadense RETScreen 4, dificultando a pesquisa em eficiência energética em navios ou em outro tipo de planta que se utilize de duas fontes de energia para alimentar sua

rede de distribuição em momentos e/ou para cargas diferentes. O trabalho implementou uma ação eficientizadora sobre um navio da Marinha do Brasil através da troca de suas lâmpadas e alguns motores elétricos por unidades de maior rendimento e eficiência luminosa a fim de reduzir gastos e impactos ao meio ambiente. Foram comparadas as respostas do simulador brasileiro do PROCEL, BD Motor, desenvolvido em 2008, e do software RETScreen 4, lançado em 2007, na análise de motores elétricos em uso e novos com o objetivo de incrementar as pesquisas de eficiência energética na área naval, mostrando a importância da atualização dos equipamentos.

### 6.3 RECOMENDAÇÕES

- Analisar novas medidas de eficiência energética sobre o navio patrulha Guarujá, direcionando os estudos para a inserção de uma fonte de energia renovável;
- Comparar os resultados obtidos em outros softwares ou técnicas, complementando-os com novos equipamentos;
- Realizar um estudo mais abrangente em navios de diversos tipos para comparar e avaliar a eficácia da efficientização de motores elétricos e lâmpadas;
- Realizar um estudo da qualidade da energia no navio estudado para a verificação das consequências do emprego de cargas não lineares em sua rede de distribuição.

## REFERÊNCIAS

- [1] IMO, “International Maritime Organization”. Acesso ao site: <http://www.imo.org/>, em 31 de março de 2016.
- [2] Wikipédia Portugal, acesso ao site: [https://pt.wikipedia.org/wiki/RMS\\_Titanic](https://pt.wikipedia.org/wiki/RMS_Titanic), em 01 de abril de 2016.
- [3] VAGSLID, E. S. “IMO activities on control of GHG emissions from ships”, IMO – Climate change: A challenge for IMO too!, 2010.
- [4] NOGUEIRA, S., “Estabilidade de Plataformas Semi-Submersíveis: Teoria e Controle de Emergências”. Petrobras - Relatório técnico, Revisão 2, Fevereiro de 2002.
- [5] UFRJ, “Universidade Federal do Rio de Janeiro”. Acesso ao site: [http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod\\_academic/relatorios/2008/Victor+Abrahamo/relat1/Rel\\_11\\_arquivos/image163.jpg](http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2008/Victor+Abrahamo/relat1/Rel_11_arquivos/image163.jpg), em 01 de abril de 2016.
- [6] CUMMINS Inc. “Meeting the Next Challenge. IMO Tier II and III”, Buletin 4082094. Charleston – EUA, 2011.
- [7] FUEL TRADE, Acesso ao site: <http://ft-maritime.com/index.php?story=17>, em em 31 de março de 2016.
- [8] SARDINHA, A. “Poluição e o Transporte Marítimo”, Coleção Mar Fundamental – Referência CMF0012013. Lisboa, Julho de 2013.
- [9] MT, Ministério dos Transportes. “Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT”, Relatório Final - Secretaria de Política Nacional de Transportes – SPNT/MT LOGIT-GISTRAN. Brasília, Setembro de 2012.
- [10] MME, Ministério de Minas e Energia. “Plano Nacional de Eficiência Energética – Premissas e Diretrizes Básicas”, EPE – Empresa de Pesquisa Energética, Versão 18-10-11. Brasília, Outubro de 2011.
- [11] SOHN, S.I., “Design of a Fuel-Cell-Powered Catamaran-Type Unmanned Surface Vehicle” – IEEE Journal of Oceanic Engineering, Volume 40 – 0364-9059, Abril de 2015.
- [12] Dale, S. J et al., “Electric Ship Technologies” – Proceedings of the IEEE, 0018-9219, Volume 103 - Número 12, Dezembro de 2015.
- [13] LI, S. Y. e Cheng, K. WE., “Design of electric vessel based on concentrated photovoltaic for density energy source” – 6<sup>th</sup> International Conference on Power Electronics Systems and Applications, Dezembro de 2015.

- [14] McCoy. T.J., Mohtashamian, A., “Commercially derived hybrid electric drive (HED) systems for efficiency and power generation on naval ships”, Electric Ship Technologies Symposium, Junho de 2015.
- [15] Roa, M.J., “Application of classification rules to hybrid marine electrical propulsion plants”, IEEE Petroleum and Chemical Industry Committee Conference, Outubro 2015.
- [16] Bucci, V., “Inland waterway gas-fuelled vessels: an innovative proposal of a hybrid ship for the European network”, 2165-9400 – International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship propulsion and Road Vehicles”, 2165-9400, Março de 2015.
- [17] Nebb, O. C., “Increase fuel efficiency in ships LVDC Power Distribution Systems”, 1938-8756, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Outubro de 2012.
- [18] Choi, H. et al., “Novel permanente magnet systems for high efficiency electric ships”, Electric Ship Technologies Symposium, Junho de 2015.
- [19] Su, C.-L. et al, “Energy-efficiency electronic light sources for marine vessels”, Industry Applications Society Annual Meeting, 0197-2618, Outubro de 2012.
- [20] Meyer, J, “Slow Streaming in Container Shipping”, dezembro de 2011.
- [21] Kobayashi, E.-I., “Advanced Route Optimization in Ship Navigation”, SIMULTECH / IEEE, Agosto de 2014.
- [22] Zehendner, E., “Operations management at container terminal using advanced information technologies”, Tese de doutorado, École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne, 2015.
- [23] MD/MB, Marinha do Brasil. NPa Guarujá – P49 – Classe Grajaú. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/gpnort/navios/guaruja.html>. Acessado em 27 ago 2015.
- [24] PROCEL, BD Motor: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BA6340DFB-8A42-41FC-A79D-B43A839B00E9%7D&Team=&params=itemID=%7BC8833C81-FF1D-45E3-9CF0-D5656CB0DC15%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>, acessado em 19/06/2015
- [25] Natural Resources Canada, RETScreen: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>, acessado em 27 ago 2015.
- [26] ANEEL. **Contribuição à Audiência Pública nº 012/2015**. Disponível

em:[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/012/contribuicao/light\\_ap\\_012-2015.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/012/contribuicao/light_ap_012-2015.pdf). Acesso em 27 set 2015.

[27] COELBA, “Tabela de Tarifa e Preço Final de Energia Elétrica”, Resolução 2.066 - Maio de 2016.

[28] CDP, “Tarifa Companhia Docas do Pará - Portos de Belém, Outeiro, Miramar, Vila do Conde, Santarém, Itaituba, Óbidos, Altamira, São Francisco e Marabá”, site: [http://www2.cdp.com.br/forms/tarifa\\_portuaria.aspx#Edital1](http://www2.cdp.com.br/forms/tarifa_portuaria.aspx#Edital1), acessado em 24 de Junho de 2016.

[29] ANP, "BOLETIM ANUAL DE PREÇOS - preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional" - ISSN 2238-9458, 2015.

[30] BCB, Banco Central do Brasil. **Inflação**. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pt-br/paginas/default.aspx>. Acesso em 27set 2015.