

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS ECONÔMICOS E OPERACIONAIS
EM REGIME DE *SLOW STEAMING***

FERNANDA DIAS BRANDÃO

2013



AVALIAÇÃO DE IMPACTOS ECONÔMICOS E OPERACIONAIS EM REGIME DE *SLOW STEAMING*

Fernanda Dias Brandão

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira Naval e Oceânica.

Orientador: Luiz Antônio Vaz Pinto

Rio de Janeiro
Setembro de 2013

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS ECONÔMICOS E OPERACIONAIS
EM REGIME DE *SLOW STEAMING***

Fernanda Dias Brandão

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRA NAVAL E OCEÂNICA.

Examinada por:

Prof. Luiz Antônio Vaz Pinto, D. Sc.- Professor Orientador

Ulisses A. Monteiro Barbosa – D.Sc., prof Colaborador DENO/UFRJ

Antonio Carlos Ramos Troyman, D.Sc. Eng Pesquisador COPPE/UFRJ

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO de 2013

Brandão, Fernanda Dias

Avaliação de impactos econômicos e operacionais em regime de *slow steaming* / Fernanda Dias Brandão - Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2013.

Orientadores: Luiz Vaz Antônio Pinto

XIII, p. 45 :il.; 29,7 cm

Projeto de Graduação - UFRJ / POLI / Engenharia Naval e Oceânica, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 45-46.

1. *Slow Steaming*. 2. Carga Reduzida. 3. Redução de velocidade 4. Motor Diesel Baixa Rotação Dois tempos. I.Pinto, Luiz. II Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Naval e Oceânica. III. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar forças para chegar até aqui. À Nossa Senhora Aparecida, por todas as graças alcançadas. À Nossa Senhora de Fátima, por todas as orações desesperadas em seus pés pelas madrugadas.

À minha avó Carmem, que mesmo lá no céu, eu a podia sentir perto de mim, me guiando e me dando a serenidade para enfrentar a vida.

Aos meus amados pais. Obrigada por aturar minhas crises de choro, que não foram poucas ao longo desses 5 anos e meio. Mãe, obrigada por me acalmar todas as vezes que eu perdia a cabeça e tinha vontade de largar tudo isso. Obrigada por ser essa mãe companheira e dedicada à família! Pai, obrigada por ser um homem do mar, e passar essa paixão pelo mar e por barcos para mim. Obrigada também por me ensinar a apreciar as coisas simples da vida.

Ao meu irmão Rafael. Obrigada por me fazer rir todos os dias há 16 anos.

À minha avó Helena, que segurou muitas barras para mim ao longo desses anos. Obrigada por me forçar a comer quando o estômago embrulhava. Obrigada por ser esse exemplo de mulher, independente e guerreira, que é o porto seguro da família toda.

Ao meu avô Zé, ao meu tio Alfredo e à minha tia Marli, que sempre me incentivaram a estudar.

Obrigada Ana Clara, Kikita e Kikito pelas histórias sempre engraçadas, pelos passeios em Paquetá. Obrigada por deixarem a minha vida mais leve.

Ao meu namorado que a faculdade me deu, Henrique. A Engenharia Naval, além de me dar uma profissão, me deu também um grande amor. Obrigada por aturar todo o meu mau humor nas semanas de prova e entregas de trabalho.

Ao meu orientador, Luiz Vaz, que me apoiou e me acolheu desde a primeira vez em que o procurei. Obrigada pelos prazos flexíveis e pela confiança depositada.

Às minhas amigas, especialmente Amanda, Larissa e Carol Alvarez. Obrigada por serem minhas amigas sempre, mesmo eu não comparecendo em quase nada que vocês combinavam. Fiz muitas amizades ao longo desse tempo, mas nada se compara a nossa!

À Vale. Empresa que me abraçou de uma forma que me deixou mimada. Obrigada por ter me proporcionado trabalhar com pessoas tão bacanas, que somaram tanto na minha vida profissional quanto na vida pessoal. Em especial, Aurora, Rodrigo e Bruno... Fico torcendo para que exista um dia para que possamos trabalhar juntos novamente. Ao Roberto Soares por todas as explicações, desenhos e fotografias sobre motores e pela ajuda imensa nesse projeto.

Aos meus amigos da NAVAL! Não sei como seria essa caminhada sem vocês... Caninha, estudos enlouquecidos na véspera das provas, pizza super hiper ultra mega gigante na sala de estudos, noites viradas no Fundão fazendo projeto vão ficar pra sempre na minha memória.

A todos que de alguma forma contribuíram com a minha formação como pessoa e como profissional. A Fernanda de hoje é completamente diferente da Fernanda que entrou na faculdade com 17 anos.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Naval e Oceânica.

Avaliação de impactos econômicos e operacionais em regime de *slow steaming*

Fernanda Dias Brandão

Setembro / 2013

Orientador: Luiz Antônio Vaz Pinto

Curso: Engenharia Naval e Oceânica

O aumento do preço do bunker, óleo combustível pesado utilizado por navios com motores diesel dois tempos de baixa rotação, somado a situação econômica mundial, de declínio econômico, fez armadores e afretadores de navios mercantes de grande porte repensarem seu modo de navegar.

A fim de diminuir o consumo de combustível, a prática da redução de velocidades e, conseqüentemente da carga de operação do motor principal, se tornou uma tendência no transporte marítimo global.

Contudo, motores que foram projetados para operarem em carga contínua entre 70 a 85% de seu MCR (*Maximum Continuous Rating*), ao se afastarem dessa faixa de projeto, tendem a sofrer danos no longo prazo, como formação de fuligem do sistema de exaustão e desgaste das camisas dos cilindros, por exemplo.

Apesar dos impactos negativos no motor, os ganhos financeiros podem ser extremamente altos considerando um cenário de elevado preço de combustível e baixo preço de frete no mercado.

Ao longo do trabalho serão mostrados os impactos técnicos desse tipo de operação e uma análise financeira ilustrando diferentes cenários econômicos e as tendências de velocidade ótima observada que minimiza o consumo de combustível.

Palavras-Chave: Slow Steaming, Carga Reduzida, Aspectos Técnicos

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Assessment of economics and technical impacts on slow steaming operations

Fernanda Dias Brandão

September / 2013

Advisor: Luiz Vaz Pinto

Course: Naval Architecture and Marine Engineering

The increase in the price of bunker fuel, heavy fuel oil used by diesel two-stroke low speed vessels, in addition with the global economic situation, economic decline, did ship owners and charterers of ships large commercial rethink their way of shipping.

In order to reduce fuel consumption, reducing the speed and, consequently operation load of the main engine, has become a trend in global shipping.

However, engines that were designed to operate on continuous rating between 70-85% of its MCR (Maximum Continuous Rating), as they withdraw this design range, tend to suffer long-term damage, since the whole system was designed machines also due to this design load.

Despite the negative impact on the engine, the financial gains can be extremely high considering a scenario of high fuel prices and low freight in the market.

Throughout the work will present the technical impacts of this kind of operation and a financial analysis illustrating different economic scenarios and trends observed optimal speed to minimize fuel consumption.

Keywords: Slow Steaming, Low Load Operation, Technical Aspects

Índice Geral

1.	Apresentação	1
1.1.	Introdução	1
1.2.	Objetivo	1
1.3.	Motivação	2
1.4.	Metodologia	2
2.	Decifrando o Slow Steaming.....	2
2.1.	O que é <i>Slow Steaming</i> ?	2
2.2.	Histórico	3
2.2.1.	Elevação do preço de óleo combustível marítimo	3
2.2.2.	Necessidade de redução da emissão de gases poluentes, sobretudo gás carbônico CO2	3
2.2.3.	Absorção da frota mercante em cenários de recessão da economia global	4
2.2.4.	Pioneirismo da MAERSK.....	7
2.3.	Classificação de <i>Slow Steaming</i>	9
3.	Aspectos Técnicos.....	9
3.1.	Fundamentação Teórica	10
3.1.1.	Principais componentes do motor sujeitos à falha por conta da operação em <i>slow steaming</i>	13
3.2.	Modos de Operação	18
3.3.	Falhas observadas	19
3.3.1.	Redução do fluxo de ar.....	20
3.3.2.	Incrustação nos sistemas de exaustão e nos turbochargers.....	21
3.3.3.	Corrosão Fria.....	22
3.3.4.	Excesso de óleo lubrificante	22
3.3.5.	Desgaste excessivo das camisas do cilindro	23
3.3.6.	Sopradores Auxiliares (<i>Auxiliary Blowers</i>)	24

3.3.7.	Caldeira de Recuperação (HRSG).....	24
3.3.8.	<i>Flap Valves</i>	25
3.3.9.	Aumento de depósitos no <i>Air Cooler</i>	26
4.	Aspectos Financeiros e Econômicos	28
4.1.	Custos dos Transportes Marítimos	29
4.1.1.	Custos de manutenção.....	30
4.2.	Estudo de Casos	32
4.2.1.	Por viagem	33
4.2.2.	Intervalo de tempo fixo	38
5.	Conclusões.....	43
6.	Bibliografia.....	45
7.	Anexos	47
7.1.	Anexo I	48
7.2.	Anexo II	49

Índice de Figuras

Figura 3-1: Motor 14K98MC7.1	11
Figura 3-2: Ciclo de funcionamento de um motor diesel dois tempos	12
Figura 3-3: Eixo de Manivelas (Crankshaft)	13
Figura 3-4: Camisa do cilindro	14
Figura 3-5: Sistema de resfriamento da camisa	14
Figura 3-6: Pistão	15
Figura 3-7: Esquema do sistema gás de exaustão-turbocharger-air coole.....	16
Figura 3-8: Funcionamento de um turbocharger	16
Figura 3-9: Soprador Auxiliar	17
Figura 3-10: Economizador	18
Figura 3-11: Esquema do sistema common rail	22
Figura 3-12: Incrustações por conta do excesso de óleo lubrificante	23
Figura 3-13: Camisa do cilindro desgastada	24
Figura 3-14: Acúmulo de fuligem observado no economizador	25
Figura 3-15: Flap valves quebradas.....	26
Figura 3-16: Tendência do consumo específico de combustível (SFOC)	27
Figura 3-17: Casco e propulsor com incrustações	28
Figura 4-1: Custos do transporte marítimo.....	29
Figura 4-2: Relações de consumo em condições de lastro	34
Figura 4-3: Relações de consumo em condições de carga.....	34
Figura 4-7: Análise em um intervalo de tempo fixo	39

Índice de Tabelas

Tabela 4-1: Estimativas de custos de peças de reposição do motor	31
Tabela 4-2: Gastos com equipamentos para a viabilidade do slow steaming.....	32
Tabela 4-3: Custos Operacionais Dry Bulk Fonte: Drewry	35
Tabela 4-4: Análise do custo frete para uma viagem	36

Índice de Gráficos

Gráfico 2-1: Evolução histórica do preço do bunker	5
Gráfico 2-2: Projeção do preço de bunker.....	6
Gráfico 2-3: Correlação entre potência, velocidade e consumo de combustível.....	7
Gráfico 2-4: Definições de Slow Steaming	9
Gráfico 4-1: Custo frete em função da velocidade para diferentes faixas de preço de bunker	37
Gráfico 4-2: Aproximação da curva do custo frete	38
Gráfico 4-3: Balanço Financeiro para o bunker a 500 US\$/ton	42
Gráfico 4-4: Balanço Financeiro para o bunker a 700 US\$/ton	42
Gráfico 4-5: Balanço Financeiro para bunker a 900 US\$/ton	43

1. Apresentação

1.1. Introdução

O crescente aumento do preço do combustível marítimo que vem se observando ao longo dos últimos anos, fez com que grandes armadores optassem por operar seus navios em velocidade reduzida e consequente utilização parcial da carga do motor, a fim de reduzir os custos com combustível. Esse tipo de operação é conhecida no mercado como *slow steaming*.

Quando os navios viajam à velocidades mais lentas, a resistência ao avanço é substancialmente reduzida, assim como a rotação e potência do motor de propulsão, como resultado obtém-se menor consumo de combustível.

Prevê-se que nos próximos anos, os navios já sejam projetados para funcionar em velocidades mais lentas, com motores e sistemas de propulsão de tamanho reduzido, permitindo também a redução do tamanho do navio como um todo, aumentando ainda mais a economia de combustível.

Contudo operar na condição diferente da de projeto implica em atenção e cuidados adicionais com todo o sistema de máquinas.

1.2. Objetivo

O objetivo desse projeto é avaliar os reais impactos observados por conta da operação contínua em carga parcial pelos motores diesel de baixa rotação ao longo dos últimos anos.

Além de listar os impactos e as consequentes falhas nos componentes mecânicos do motor principal, há também o objetivo de entender como evitar essas falhas e avaliar, mesmo que qualitativamente por meio de tendências, os impactos financeiros desse tipo de operação.

1.3. Motivação

A motivação para a elaboração deste projeto reside na necessidade teórica de melhor compreensão dessa tendência operacional que começou no mercado da navegação de porta-contentores há cerca de quatro anos.

1.4. Metodologia

Como o *slow steaming* ainda é uma experiência nova, que vem sendo testada e observada, não foram encontradas produções científicas (artigos em Congressos ou em Revistas) que tratem dos impactos desse modo operacional.

Para a realização deste projeto, foi realizada intensa pesquisa em sítios da internet e busca por relatos técnicos e operacionais emitidos por armadores, afretadores e fabricantes de motores.

Além disso, através de entrevista com importantes armadores nacionais, teve-se acesso ao *logbook* de alguns navios e acesso a dados históricos operacionais que ajudaram para a realização de um estudo de caso ao final do projeto.

2. Decifrando o Slow Steaming

2.1. O que é *Slow Steaming*?

A redução de velocidade dos navios, conhecido no mercado como *slow steaming*, apesar de não ser um conceito novo, é algo que vem sendo amplamente utilizado no transporte marítimo, motivado, sobretudo, por fins econômicos.

O *slow steaming* nada mais é que a navegação em velocidades inferiores à velocidade de projeto visando à redução do consumo de combustível. A redução de velocidade implica em menor demanda de potência por parte do motor principal, e conseqüentemente uma alteração em todos os parâmetros de máquinas envolvidos no sistema de máquinas e propulsão quando comparados à condição de projeto.

A dinamarquesa *Maersk*, detentora da maior frota de porta contentores do mundo, foi a pioneira na adoção desse modo operacional. Atualmente, quase toda frota mercante, sobretudo de minério de ferro e óleo, opera ou estuda a possibilidade de operar em

slow steaming, mesmo já tendo velocidades mais baixas quando comparadas aos navios porta-contentores.

2.2. Histórico

A operação em *slow steaming* foi motivada por uma combinação de fatores que fez desse modo de operação, uma tendência entre os grandes armadores e companhias de navegação. Dentre esses fatores, destacam-se:

2.2.1. Elevação do preço de óleo combustível marítimo

A redução de velocidade garante uma diminuição imediata no consumo de bunker, combustível marítimo usado em motores diesel de baixa rotação dois tempos, e uma consequente redução nos custos de combustível.

De acordo com [1], em navios do tipo porta-containers, esse custo pode exceder mais que a metade de todos os custos operacionais. Sendo assim, qualquer alteração nessa parcela deste custo tem um impacto significativo no transporte marítimo.

2.2.2. Necessidade de redução da emissão de gases poluentes, sobretudo gás carbônico (CO₂)

Segundo [1], consumindo cerca de 265 milhões de toneladas de combustível anualmente, o transporte marítimo emite atualmente para a atmosfera cerca de 840 milhões toneladas de gás carbônico, representando cerca de 3% do total das emissões globais de CO₂.

Apesar de existirem inúmeras formas de redução de emissões, desde a fase de projeto até a operação do navio, como projeto de cascos com linhas hidrodinâmicas que reduzem o arrasto e limpezas de casco e propulsor a fim de reduzir a resistência ao avanço, a adoção da prática do *slow steaming* representa uma alternativa imediata à redução das emissões de gás carbônico, reduzindo os impactos ambientais.

2.2.3. Absorção da frota mercante em cenários de recessão da economia global

Ainda de acordo com [1], a prática do *slow steaming* permite absorver a frota mercante disponível durante períodos de desacelerações da economia.

Durante os anos 2009 e 2010, muitos armadores receberam a entrega de seus navios encomendados antes da crise econômica mundial, quase dobrando sua capacidade de navios disponíveis.

Como o cenário da entrega dos navios era bem diferente de quando os mesmos foram encomendados, muitos armadores viram sua frota ociosa. Em relação ao mercado de porta-contentores, aproximadamente 5% de toda frota mundial está atualmente ociosa por conta da baixa demanda por transportes de mercadorias.

Como em *slow steaming*, os navios demoram mais tempo navegando do que em condições normais, as cargas e mercadorias tendem a acumular o que poderia gerar um possível atraso das entregas. Para evitar esse tipo de problema de não cumprimento de prazos, o que acarreta multas aos afretadores, outros navios passam a ser utilizados para suprimento do transporte marítimo.

Dentre os motivos listados acima, pode-se destacar o aumento do preço com combustível como a principal causa para a operação dos navios em velocidade reduzida.

Os preços de bunker oscilam constantemente devido às forças do mercado e do preço do petróleo cru. Além disso, os preços do combustível variam de um porto para outro, o que torna relevante a decisão sobre qual porto o navio deve ser reabastecido.

Segue no gráfico a seguir, a evolução do preço de bunker 180 no porto de Cingapura. Os dados utilizados foram obtidos através de uma fonte interna da Petrobras, companhia estatal brasileira que atua nas áreas de exploração, produção, refino, comercialização e transporte de petróleo e seus derivados.

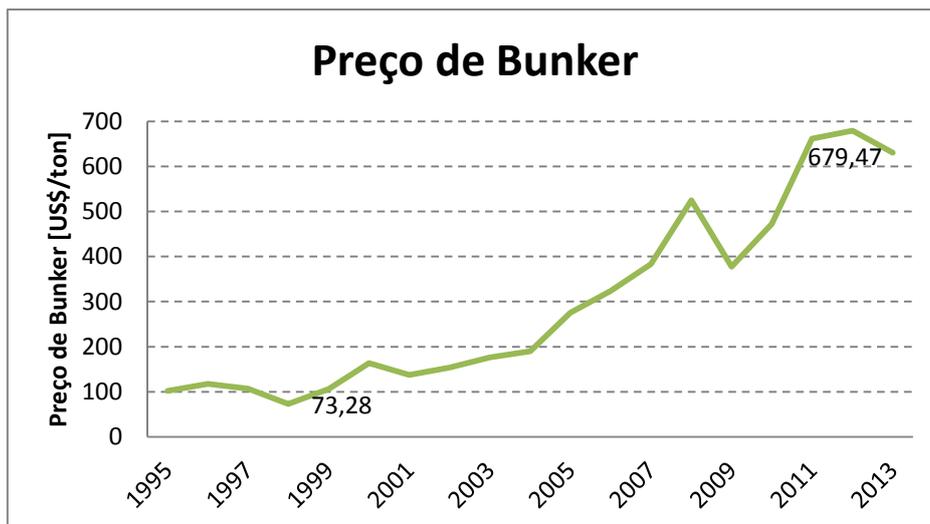


Gráfico 2-1: Evolução histórica do preço do bunker

Fonte: BR

O Gráfico 2-3 abaixo ilustra a projeção do preço do barril de óleo cru até o ano de 2023, segundo um estudo do Comitê Interno de Petróleo.

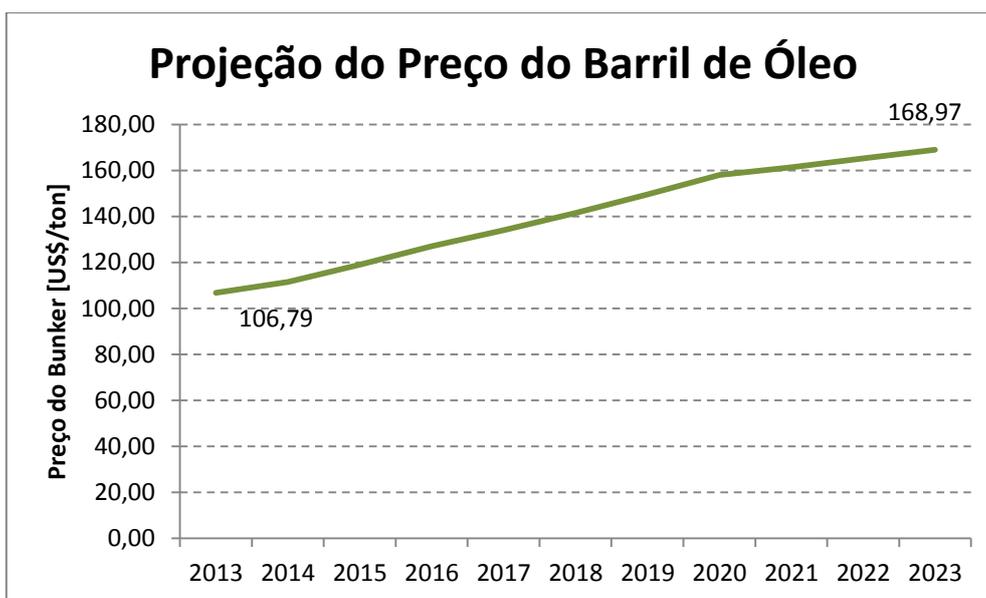


Gráfico 2-2: Projeção do preço do barril de óleo

Fonte: Comitê Interno de Petróleo

Extrapolando os valores do preço do barril de óleo para o preço de bunker, tem-se a seguinte tendência para o combustível pesado como ilustrada no Gráfico 2-3.

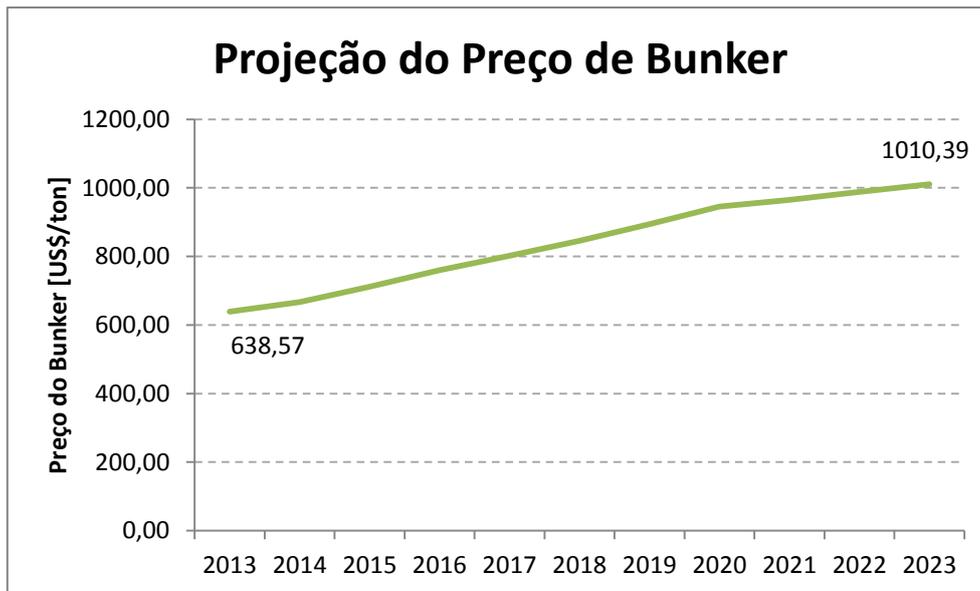


Gráfico 2-3: Projeção do preço de bunker

Fonte: Comitê Interno de Petróleo

Como ilustrado no gráfico Gráfico 2-3, a tendência do preço de bunker acompanha o preço do barril de petróleo, chegando superando o valor de 1.000,00 US\$/ por tonelada em 2023.

No transporte marítimo, o custo de maior peso, sobretudo para contêineres e outros navios de grande porte, é o óleo combustível. E a maneira mais fácil de reduzir esse o consumo de combustível é reduzindo a velocidade do navio.

O sistema propulsivo típico de navios mercantes de grande porte é formado pelo motor principal, um motor dois tempos de baixa rotação, que se conecta a um hélice de passo fixo por meio de um eixo. Para reduzir a velocidade do navio, reduz-se a velocidade de rotação do propulsor e conseqüentemente a rotação do motor, reduzindo sua potência. Como a potência é uma função cúbica da rotação do motor ($Potência=C.n^3$, sendo C=constante e n=rotação), qualquer redução da velocidade impacta numa redução de potência, e conseqüentemente de consumo total de combustível. Essa correlação entre velocidade do navio, consumo de combustível e potência do motor pode ser visualizada no Gráfico 2-4 a seguir.

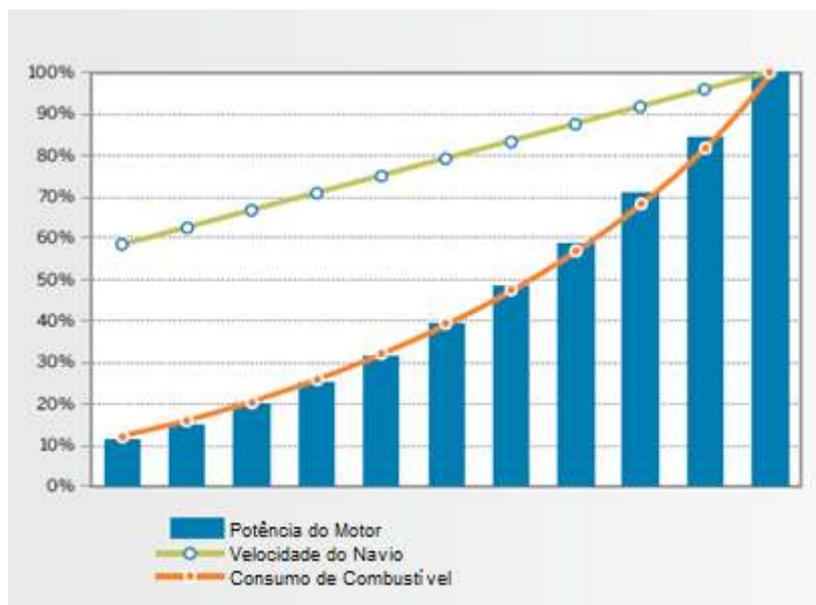


Gráfico 2-4: Correlação entre potência, velocidade e consumo de combustível

Fonte: Wärtsilä

Segundo um exemplo publicado em um boletim técnico da Wärtsilä de fevereiro de 2010 [2], foi observado em um porta-contentor que a redução da velocidade nominal de 27 para 22 nós (-19%) reduz a potência do motor para 42% do seu valor de potência. Essa redução de velocidade implica em uma redução de 58% do consumo de óleo combustível por hora pelo motor principal. Já uma redução para 18 nós garante uma redução em 75% do consumo de combustível.

Logo, pode-se entender porque a elevação do preço do combustível marítimo, o chamado bunker, afeta tão negativamente os ganhos no transporte marítimo, já que há um aumento das despesas enquanto que as receitas tendem a permanecer constantes, reduzindo assim o lucro da operação.

Além dos ganhos econômicos, segundo ainda o relatório da Wärtsilä [2], a prática do *slow steaming* é bem vista do ponto de vista ambiental, já que para cada tonelada de combustível economizada, o navio reduz suas emissões de gás carbônico para a atmosfera em 3 toneladas. Além disso, o consumo de óleo lubrificante pelos cilindros do motor principal tende a reduzir na mesma proporção que o consumo de óleo combustível, reduzindo também a emissão de particulados sólidos.

2.2.4. Pioneirismo da MAERSK

De acordo com [3], em 2007, com a elevação do preço de combustível e sofrendo pressões externas para a redução das emissões de gás carbônico, a MAERSK,

gigante dinamarquesa detentora da maior frota de porta contentores do mundo, se viu obrigada a tomar uma decisão para que essas questões não impactassem, sobretudo, o retorno financeiro de suas operações. A solução enxergada pelos seus especialistas foi o emprego do *slow steaming*.

Em 2009, a empresa observou uma significativa economia de combustível e redução das emissões de gás carbônico ao colocar sua frota de porta-contentores para navegar a 12 nós em vez de 24 nós, e, assim, adotou o *slow steaming* como a operação padrão de sua frota de cerca de 500 navios.

Contudo, até se tornar a operação padrão da empresa, muitos engenheiros temiam os malefícios que a navegação em carga reduzida por longos períodos de tempo poderiam acarretar no longo prazo. Para combater as dúvidas da indústria marítima, a MAERSK implementou programas de monitoração do desempenho, através de rotinas de vistorias e inspeções sempre que um navio chegasse a um porto, como também relatórios com procedimentos para navegação em velocidade reduzida.

Desse modo, a empresa mostrou ao mercado os benefícios econômicos e a viabilidade técnica das operações em *slow steaming*. Para fundamentar mais ainda esse novo tipo de operação, no começo do ano 2009, as principais fabricantes de motores diesel de baixa rotação, a MAN B&W e a Wärtsillä, publicaram certificados de não objeção à operação em carga parcial, desde que feita corretamente todas as alterações necessárias nos sistemas de máquinas para modo de operação.

Sendo assim, nos últimos anos, a empresa tem estado envolvida em projetos para investigar o efeito de operar os navios com menores cargas do motor e em velocidades reduzidas. Os resultados têm demonstrado que é possível operar os motores de forma eficiente a 10 por cento de carga, sem comprometer a segurança. Essa iniciativa garante mais flexibilidade na velocidade e aumenta ainda mais a eficiência energética das embarcações, reduzindo as emissões de gás carbônico em até 20%.

Além disso, convencida que o *slow steaming* é a tendência na navegação mercante, os novos navios projetados pela MAERSK, chamados de “Triple-E vessels”, já trazem o conceito de velocidade reduzida na fase do projeto, contando com motores de menor potência e casco projetado para navegação em baixa velocidade.

2.3. Classificação de *Slow Steaming*

A redução de velocidade recebe diferentes nomes de acordo com a faixa de rotação em que o motor se encontra.

Essa nomenclatura, entretanto, pode variar de acordo com o fabricante ou até mesmo pelo armador e tripulação, não existindo ainda um padrão.

Segundo relatório da Wärtsilä [2], para um navio do tipo porta-contentor, o *slow steaming* recebe as seguintes definições em função da sua faixa de operação, como mostra o gráfico abaixo:

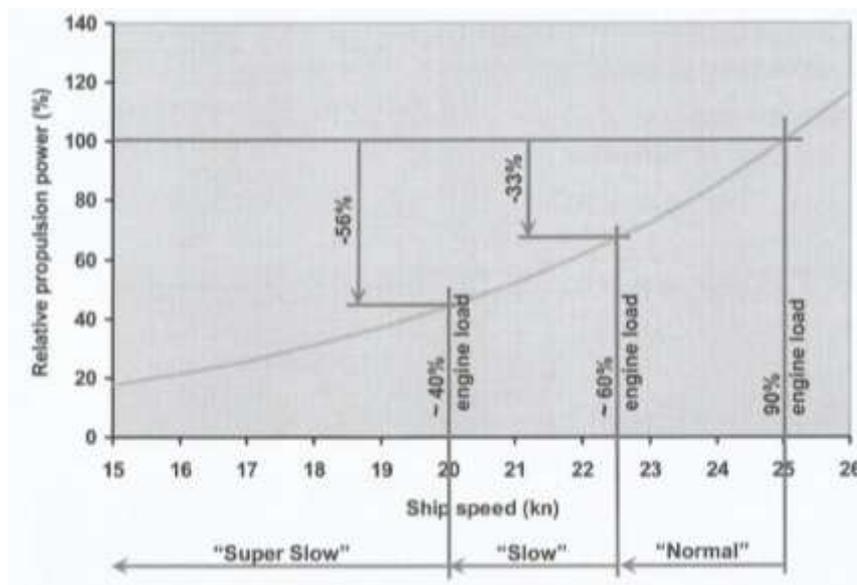


Gráfico 2-5: Definições de Slow Steaming

Fonte: Wärtsilä

3. Aspectos Técnicos

Qualquer embarcação é projetada para um fim específico a fim de ser a mais eficiente ao executar uma tarefa em uma rota ou região de atuação já conhecida, como por exemplo um navio que faz o transporte de minério de ferro do Brasil para a China ou um navio de apoio offshore que atua na Bacia de Campos para auxiliar as operações de ancoragem. Ou seja, o cenário que o navio se insere já deve ser conhecido mesmo antes de se começar a se projetá-lo de fato, para que o navio seja o melhor possível para realização do que lhe é proposto no local desejado.

Por isso, navios são projetados e construídos para os intervalos de carga de máquina e velocidade desejados, onde a eficiência total de seu sistema propulsivo é otimizada, a chamada condição de projeto.

Como já dito em tópicos anteriores, o sistema propulsivo de um navio mercante de grande porte é formado basicamente por um propulsor de passo fixo, um motor de baixa rotação dois tempos, chamado de motor principal, e o eixo propulsivo, que faz a ligação entre o motor e o hélice. Como o hélice é de passo fixo e guiado diretamente pelo motor principal, o motor principal também é projetado para operar em uma faixa ótima.

Em motores dois tempos, a faixa ótima de operação corresponde ao intervalo entre 70% e 85% da carga máxima disponível pelo motor, a carga máxima é conhecida em inglês como *Maximum Continuous Rating* (MCR). A eficiência do consumo de combustível, os parâmetros operacionais, as especificações dos turbocarregadores, resfriadores, sistemas auxiliares, caldeiras de recuperação dos gases de exaustão e demais sistemas e equipamentos são escolhidos e otimizados para operarem dentro dessa faixa de carga.

Sendo assim, é de se esperar, que quando o motor principal opera em regime contínuo com uma carga inferior a 60%, todo o sistema que se relaciona ao motor não está mais otimizado.

Por falta de experiência com esse tipo de operação em carga reduzida, engenheiros navais e técnicos que lidam diariamente com operações de navios, como também fabricantes de motores, foram inicialmente relutantes quanto à adoção dessa nova tendência. Isso é justificado pelo fato da indústria naval não usar motores em carga reduzida nos últimos 20 anos, e assim, ninguém ter uma grande experiência com esse tipo de operação.

3.1. Fundamentação Teórica

Como nos tópicos seguintes serão expostos alguns casos de falhas observados nos motores diesel dois tempos de baixa rotação, cabe aqui uma breve fundamentação teórica dos componentes mecânicos desse tipo de motor que são afetados nesse modo operacional e como se dá seu ciclo de operação.

Motores diesel dois tempos de baixa rotação são muito empregados na indústria naval, sobretudo em navios de grande porte, onde se é demandada grandes potências.

Na propulsão naval, os motores apresentam grandes dimensões, particularmente na altura, para que o curso dos pistões seja suficientemente grande, o que aumenta a sua potência.

A figura abaixo ilustra a grandiosidade dessas máquinas. Trata-se de um motor da MAN, modelo 14K98MC7.1, com 87.220 kW de potência instalada, 2.446 toneladas, consumo diário de 370 toneladas de bunker a plena carga, e dimensões de 27,9 x 4,6 x 14,8 m.



Figura 3-1: Motor 14K98MC7.1

Fonte: MAN

O uso de baixas rotações, com valores inferiores a 100 RPM, permitem a utilização eficiente de combustíveis pesados, o bunker, e, conseqüentemente, a redução de custos já que esse combustível é mais barato, além de permitir o acoplamento direto ao eixo do propulsor, sem a necessidade do uso de caixas redutoras.

Como já dito anteriormente, trata-se de um motor com ciclo dois tempos, onde um ciclo completa-se em apenas uma volta completa do eixo de manivelas, ou seja, em dois cursos do pistão (em 180°, a Admissão e Compressão e em 180° a Expansão e Descarga).

O ar utilizado para a limpeza dos gases dentro do cilindro é chamado de ar de lavagem, e é geralmente fornecido pelo turbo-compressor e penetra no cilindro através

de janelas ou válvulas, que são abertas e fechadas pelo próprio êmbolo durante o seu movimento, enquanto que os gases queimados na combustão, os chamados gases de exaustão, são eliminados do cilindro através de outras janelas ou válvulas.

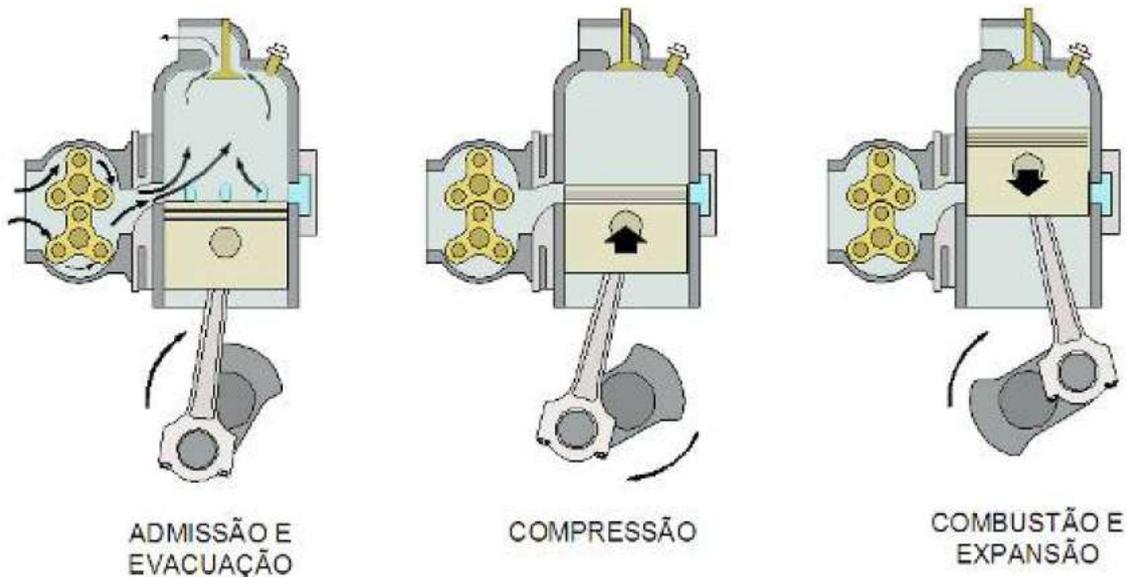


Figura 3-2: Ciclo de funcionamento de um motor diesel dois tempos

Fonte: Escola Náutica Infante D. Henrique

A compressão inicia-se quando o pistão se encontra no ponto morto inferior (PMI), que é a posição mais afastada da cabeça do cilindro. Com o pistão nessa posição, as janelas do ar de lavagem estão abertas, permitindo a entrada de ar pressurizado e expulsando assim os gases de exaustão (por isso, ar de lavagem) através das janelas ou válvulas de exaustão que também se encontram abertas nesse momento.

No caso da saída dos gases de exaustão por janelas, o pistão ao subir fecha primeiro as janelas de entrada do ar de lavagem e depois as de saída dos gases de exaustão, iniciando a compressão do ar no interior do cilindro. Já em motores que utilizam válvulas na cabeça do cilindro comandadas pelo eixo de cames, as válvulas são mantidas abertas durante a fase de lavagem e fechadas após se ter completado a saída dos gases da combustão. A existência de válvula de exaustão ao invés de janela de exaustão garante um curso maior para o pistão, favorecendo o aumento de potência.

A injeção do combustível começa um pouco antes do pistão atingir o ponto morto superior (PMS), iniciando o processo de combustão dos gases que já estão altamente comprimidos e aquecidos.

A expansão dos gases queimados empurra o pistão para o ponto morto inferior (PMI), impulsionando assim o eixo de manivelas e produzindo trabalho. Na etapa final do curso, o pistão começa a abrir as janelas de saída, ou são abertas as válvulas de exaustão, permitindo a saída do gás de exaustão.

O pistão desce um pouco mais permitindo a abertura das janelas do ar de lavagem, que penetra no cilindro sobre pressão, expelindo o restante dos gases queimados para fora do cilindro, que fica novamente preenchido por uma nova carga de ar fresco, reiniciando assim um novo ciclo.

O movimento vertical do pistão é transmitido através das bielas, que são conectadas ao eixo de manivelas, transformando o movimento vertical em movimento rotacional do eixo. Esse eixo rotaciona, acionando o propulsor permitindo a movimentação do navio.

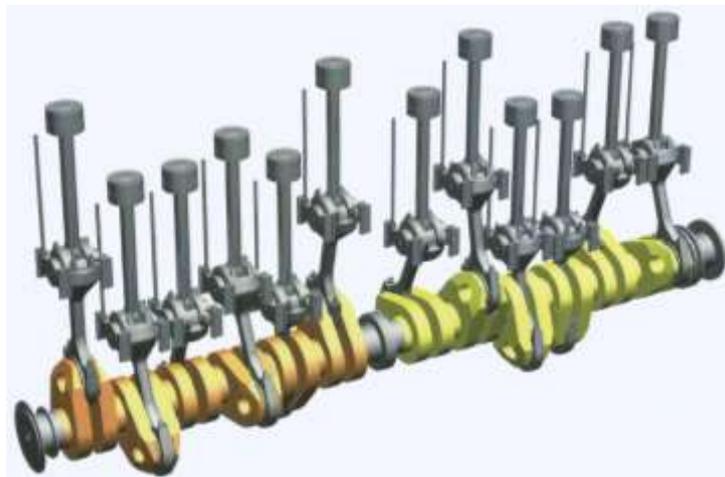


Figura 3-3: Eixo de Manivelas (Crankshaft)

Fonte: MAN

3.1.1. Principais componentes do motor sujeitos à falha por conta da operação em *slow steaming*

Como já citado, a redução da carga do motor altera o regime de operação de todos os componentes do motor e também sistemas auxiliares. Dentre os componentes que mais sofrem impactos com esse tipo de operação, destacam-se os seguintes:

- **Camisas (*Liners*)**

As camisas dos cilindros destinam-se a guiar os pistões do motor, sendo independente do bloco do motor em motores de maiores dimensões o que permite a sua substituição quando seu desgaste atinge o valor máximo admissível.



Figura 3-4: Camisa do cilindro

Fonte: MAN

No espaço entre a face exterior da camisa e o interior do bloco, há a circulação de fluidos de resfriamento como ilustra a imagem abaixo.



Figura 3-5: Sistema de resfriamento da camisa

Fonte: MAN

- **Pistões (*Piston*)**

É a peça que se movimentam verticalmente dentro do cilindro, sendo o componente responsável pelo recebimento da potência oriunda da queima na câmara de combustão, transmitindo a energia em forma de movimento para o eixo de manivelas através das bielas.



Figura 3-6: Pistão

Fonte: MAN

Como pode-se observar na ilustração acima, o pistão possui rasgos em sua extremidade onde se alojam os anéis de segmento. Os anéis de segmento são aros de compressão que devem garantir a vedação entre o pistão e a camisa, impedindo a passagem dos gases da combustão para a parte inferior do motor, a fim de garantir o aproveitamento máximo da força expansiva. Os anéis mais inferiores têm a função de distribuir o óleo lubrificante por toda a face interna da camisa.

- **Turbocarregador (Turbocharger)**

O turbocarregador, mais conhecido pelo seu nome em inglês como turbocharger, é o componente que garante o aumento da massa de ar para dentro do cilindro, aumentando a potência gerada na combustão, aproveitando a entalpia dos gases de exaustão. De acordo com [4], cerca de 35% da energia térmica fornecida pela queima do combustível é desperdiçada para os gases de exaustão. O turbocharger aumenta a

eficiência do sistema, utilizando cerca de 20% dessa energia desperdiçada pelos gases de exaustão.

Os gases de exaustão vão girar as pás da turbina que está fixada a um mesmo eixo de um compressor rotativo. O ar é aspirado da praça e máquinas e comprimido pelo movimento da turbina, e por conta da compressão, sua temperatura se eleva. Esse ar pressurizado é resfriado através da passagem em um resfriador (*air cooler*), que reduz sua temperatura e aumenta sua massa específica, para então ser injetado como ar de lavagem dentro do cilindro.

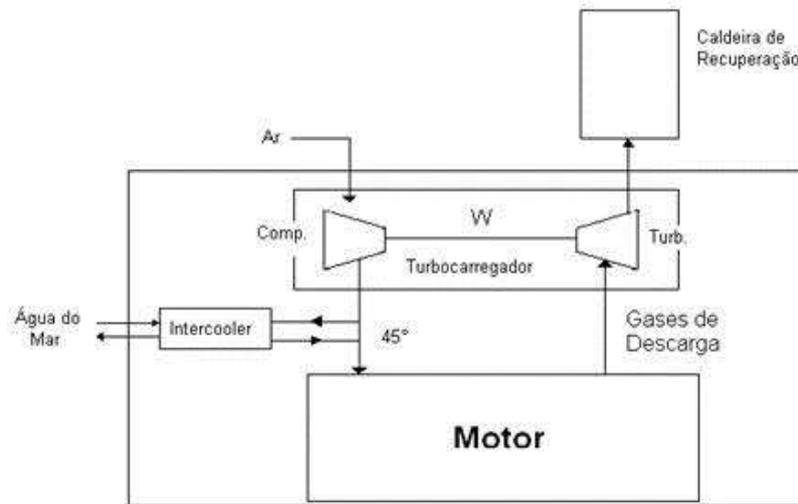


Figura 3-7: Esquema do sistema gás de exaustão-turbocharger-air cooler

Fonte: Oceânica

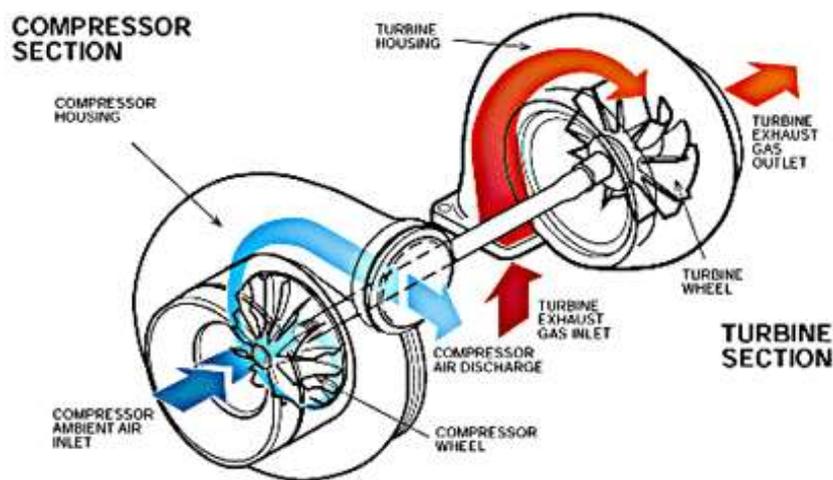


Figura 3-8: Funcionamento de um turbocharger

Fonte: Oceânica

A velocidade do turbocharger é variável e depende do carregamento do motor. A plena potência, um turbocharger pode operar com rotações superiores a 10.000 RPM.

- **Soprador Auxiliar (*Auxiliary Blower*)**

Como o motor precisa ser abastecido com ar quando começa a operar em baixas velocidades, é necessária a utilização de um soprador auxiliar alimentado por um motor elétrico.

O soprador auxiliar, conhecido em inglês como auxiliary blower, deve desligar automaticamente quando o volume de ar fornecido pelo turbocharger for suficiente para o suprimento de ar para o motor.



Figura 3-9: Soprador Auxiliar
Fonte: Marine Diesel Engines

- **Caldeiras de Geração de Vapor**

Navios de grande porte, como minereiros e porta-contentores, demandam um grande produção de vapor para aquecimento dos seus tanques de combustível que precisam se manter até uma certa temperatura para manutenção da viscosidade do óleo.

Essa geração de vapor a bordo é garantida pela operação das caldeiras de recuperação dos gases de exaustão e/ou por caldeiras auxiliares.

A caldeira de recuperação, *HRSG (Heat Recovery Steam Generator)*, recupera parte do calor dos gases de exaustão, após a passagem na turbina do turbocharger, gerando vapor d'água a partir destes gases.



Figura 3-10: Caldeira de Recuperação
Fonte: Planta Industrial

Quando a geração de vapor saturado não é suprida pela caldeira de recuperação, a caldeira auxiliar entra em operação através da queima de óleo combustível pesado.

3.2. Modos de Operação

Segundo [5], praticamente todos os motores principais diesel de baixa rotação, podem operar em carga reduzida em três diferentes modos de acordo com a carga em que o motor se encontra. Essa diferença no modo de operação diz respeito a necessidade ou não do uso da caldeira auxiliar e soprador auxiliar, como mostrado nos tópicos abaixo:

- Com a caldeira auxiliar e soprador auxiliar desligados, de modo que toda demanda de vapor é suprida pelas caldeiras de recuperação dos gases de exaustão. O uso de vapor deve ser otimizado em todo o navio, visto que a geração de vapor é reduzida. O turbocharger deve garantir toda a demanda de ar de lavagem para os cilindros.
- Operação contínua da caldeiras auxiliar e sopradores auxiliares desligados. O vapor é produzido pelas caldeiras de recuperação e pelas caldeiras auxiliares. O turbocharger é responsável pelo suprimento da demanda de ar para o motor.
- Caldeira auxiliar operando continuamente e soprador auxiliar também funcionando. Com a redução das temperaturas dos gases de exaustão, a demanda de vapor é suprida pela operação intermitente das caldeiras auxiliares. Os turbochargers não conseguem suprir a demanda de suprimento de ar por conta da baixa entalpia dos gases de exaustão, havendo a necessidade de utilização dos sopradores auxiliares.

Normalmente, quando se opera em *slow steaming* os armadores tendem a instruir a navegação com a rotação mais baixa possível, mas de modo que a caldeira de recuperação de gases de exaustão consiga suprir a demanda de geração de vapor e que não haja necessidade do uso de sopradores auxiliares, a fim de evitar gastos com combustível e manutenção com o funcionamento destes dois equipamentos.

3.3. Falhas observadas

Um estudo preliminar da Wärtsilä concluiu que seus motores modernos dois tempos poderiam operar com segurança em faixas de operação entre 10% MCR a 100% MCR, sem necessidades de grandes mudanças nos sistemas de máquinas desde que todos os parâmetros e precauções operacionais fossem devidamente seguidos como instruídos em seus manuais de operações. Contudo, ainda assim desgastes e falhas operacionais são frequentes e preocupam os chefes de máquinas.

Além disso, como a redução de velocidade pode implicar em diferentes níveis de redução da carga do motor, diferentes condições de máquina podem ser observadas.

A Wärtsilä e MAN, inicialmente a pedido de grandes armadores e operadores, começaram um trabalho de investigação sobre as mais variadas preocupações que foram lançadas a respeito das operações em carga reduzida. E sempre que recebem

de seus clientes algum relato de falha por conta desse tipo de operação, emitem relatórios técnicos explicando a causa do problema e a possível solução para evitar a reincidência do problema, quando possível.

Atualmente, esses dois fabricantes trabalham desenvolvendo tecnologias para a viabilidade técnica e econômica desse tipo de operação, como desenvolvimento de sistemas inteligentes de injeção eletrônica, equipamentos que cortem a operação do turbocharger, sistemas de ajuste de lubrificação, entre outros.

As principais ocorrências observadas por conta da operação contínua em carga reduzida, bem como suas possíveis soluções, quando existem, seguem listadas nos tópicos abaixo.

3.3.1. Redução do fluxo de ar

Com os turbochargers funcionando em faixas de operações inferiores à de projeto, é de se esperar que haja uma queda na produção do fluxo de ar a ser injetado para dentro do cilindro, o ar de lavagem, em condições em que o soprador auxiliar não opera.

Essa redução da produção do fluxo de ar implica em uma redução da pressão e da massa do ar de lavagem, resultando em uma combustão pobre e levando ao acúmulo de depósitos de particulados.

Além disso, pode-se observar um aumento nas temperaturas dos gases de exaustão, o que pode comprometer os componentes envolvidos nas máquinas.

A fim de se combater essa questão, tanto a MAN B&W quanto a Wärtisilä desenvolveram “kits” com componentes que permitem que os turbochargers sejam desligados ao operarem em carga parcial.

Esta solução de desligamento automático dos turbochargers amplia a faixa de rotação tida como ideal e confiável do motor, implicando também em uma redução do consumo específico de combustível em intervalos de carga reduzida.

A economia do combustível se dá pela suspensão da operação de um dos turbogeradores, o que aumenta a pressão e a massa do ar de lavagem e assim uma melhor combustão.

É claro que a economia de combustível como também a faixa de rotação em que o turbocharger se desliga depende do motor e do número de turbocompressores. Por

exemplo, um motor Wärtsilä RT-flex96 que conta com 3 turbocharges, tem um turbocharger cortado automaticamente quando se opera em intervalos de carga parcial entre 10 e 60%.

Segundo os fabricantes, a instalação desse equipamento não impede a operação em carga plena do motor, podendo operar a qualquer momento até sua potência máxima instalada.

3.3.2. Incrustação nos sistemas de exaustão e nos turbochargers

A formação do acúmulo de fuligem na superfície dos sistemas de exaustão e nos turbochargers se dá por conta de problemas na combustão consequentes da má injeção de combustível e atomização do mesmo. Uma das causas da combustão pobre é a redução do fluxo de ar, como visto no tópico anterior.

Uma das formas de se melhorar a combustão, é garantir que a perfeita condição do bico injetor e a manutenção de temperaturas elevadas do combustível, para que este atinja viscosidades mais baixas, entre 12/13 cSt.

Motores modernos, equipados com sistema *common rail* de injeção eletrônica de combustível e controle flexível das válvulas dos gases de exaustão, apresentam características melhoradas de injeção, resultando em menor probabilidade de depósitos de fuligem e assim menos chance de incrustação nos turbochargers e demais sistemas de exaustão.

O sistema *common rail* trata-se de um sistema criado pela FIAT nos anos 90, e posteriormente desenvolvido e patenteado pela BOSCH. Segundo [6], nesse sistema, a geração de pressão e a injeção de combustível são separadas, o que significa que a bomba gera alta pressão que está disponível para todos os injetores através de um tubo distribuidor comum. Essa pressão pode ser controlada independente da rotação do motor, o que é uma grande vantagem em operação de *slow steaming*. A pressão do combustível, do início ao fim da injeção são precisamente calculados pela unidade de comando a partir de informações obtidas dos diversos sensores instalados no motor, proporcionando assim um melhor desempenho do motor.

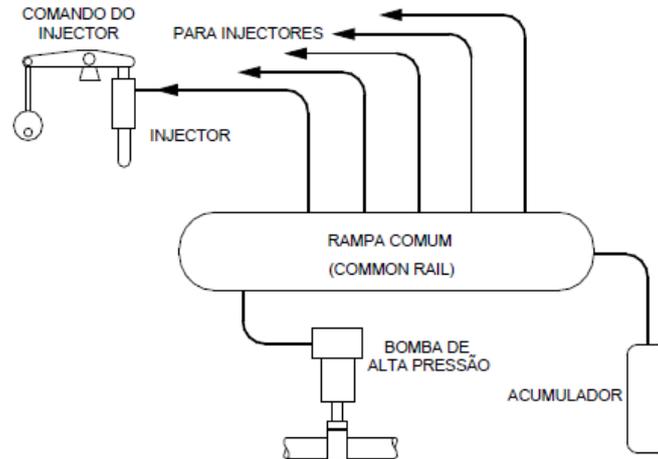


Figura 3-11: Esquema do sistema common rail

Fonte: Escola Náutica Infante D. Henrique

3.3.3. Corrosão Fria

Ao operar em carga reduzida, se o suprimento de ar de lavagem for mantido, as temperaturas dos componentes do motor tendem a cair, aumentando a probabilidade de formação de ácido sulfúrico.

A formação de ácido sulfúrico se dá pelo fato que o enxofre, presente no óleo lubrificante e no bunker, é queimado na câmara de combustão, formando os óxidos de enxofre que ao reagirem com o vapor d'água formam o ácido sulfúrico. Se o vapor d'água se condensar, esse ácido sulfúrico ataca as superfícies metálicas das camisas, válvulas, economizador etc.

Segundo [2], a corrosão fria pode ser evitada em alguns níveis aumentando a temperatura da água de resfriamento até que se tenha uma temperatura de saída do motor por volta de 90°C, e mantendo a temperatura do *Air Cooler* por volta de 35°C a fim de se manter a temperatura do ar de lavagem dentro dos limites ideais. Motores da Wärtsilä tendem a manter a temperatura dos gases de exaustão acima dos 250°C para prevenção da corrosão fria nos cilindros e nas caldeiras de recuperação.

3.3.4. Excesso de óleo lubrificante

Segundo o site [7], o excesso de óleo lubrificante foi observado nos cilindros de alguns navios, como também a formação de uma superfície abrasiva nos anéis de segmento dos pistões.



Figura 3-12: Incrustações por conta do excesso de óleo lubrificante

Fonte: Marine Diesels

Além de se observar o excesso de óleo lubrificante no cilindro, observou-se também a formação de incrustações em partes do turbocharger e nas pás das turbinas. O óleo de cilindro não queimado pode acumular-se no coletor de escape levando a um risco de incêndio e um aumento descontrolado da velocidade do turbocharger, podendo danificar a um ponto que comprometa sua utilização.

Para evitar esse risco de incêndio, recomenda-se que em operação de *slow steaming* utilize a carga plena do motor por pelo menos 30 minutos ao dia, ou por uma hora duas vezes na semana para ajudar a espalhar todos esses acúmulos de óleo lubrificante.

Para combater esse problema, os motores mais modernos da MAN B&W e Wärtsilä já contam com sistemas de lubrificação que garantem com maior precisão o tempo da injeção de óleo do cilindro através do anel de segmento do pistão, otimizando a lubrificação, enquanto que a pressão do anel de segmento aumenta e a velocidade do pistão se reduz. Além disso, esses sistemas reduzem também em cerca de 20 a 30% o consumo específico de óleo lubrificante.

3.3.5. Desgaste excessivo das camisas do cilindro

Ainda de acordo com [7], essa questão está parcialmente relacionada à lubrificação do cilindro. Para evitar o acúmulo de óleo de cilindro, como visto anteriormente, reduz-se a lubrificação do mesmo. Desse modo, considerando a redução da velocidade do pistão e a redução de óleo lubrificante, fica mais difícil de construir o filme hidrodinâmico entre os anéis do pistão e a camisa, aumentando o atrito entre as superfícies, gerando o desgaste, como ilustrado na figura abaixo.



Figura 3-13: Camisa do cilindro desgastada

Fonte: Marine Diesels

3.3.6. Sopradores Auxiliares (*Auxiliary Blowers*)

Em condições de projeto, os sopradores auxiliares são utilizados apenas para a partida do motor, já que é necessário o abastecimento de ar para a realização da combustão, e como o motor estava desligado, os turbocarregadores não dispõem de ar para direcionar ao cilindro.

Quando um navio opera continuamente em carga reduzida, o volume dos gases de exaustão é reduzido de modo que os turbocarregadores não conseguem inflar ar suficiente para a câmara de combustão, havendo a necessidade de utilização dos sopradores auxiliares.

Desse modo, há um aumento do tempo de operação dos sopradores auxiliares que não estava previsto na fase de projeto, o que vêm provocando um histórico de falhas e avarias nesses equipamentos em diversos navios.

3.3.7. Caldeira de Recuperação (HRSG)

Como já comentado anteriormente, em condições de carga parcial, a combustão tende a ser pobre em ar, afetando a qualidade dos gases de exaustão.

Segundo o relatório da fabricante de economizadores Kangrin [8], a circulação desse gás de exaustão em piores condições na caldeira de recuperação tende a comprometer a performance a vida útil deste equipamento.

Além disso, a redução do fluxo de gás exaustão implica em uma conseqüente redução da velocidade do gás que entra na caldeira de recuperação. Essa redução de

velocidade acarreta a formação de fuligem e uma transferência de calor deficiente, resultando o declínio na geração de vapor.

Ainda de acordo com [8], uma solução proposta para os problemas supracitados seria a adoção de dutos by-pass na entrada da caldeira de recuperação, desviando o fluxo de gás de exaustão. Nesse caso, a caldeira auxiliar teria que ser acionada durante toda a navegação em que o fluxo de gás de exaustão está desviado.

Além disso, a tripulação deve se atentar mais a condição de operação da caldeira de recuperação, checando-a com mais frequência e fazendo as limpezas necessárias para evitar o acúmulo de fuligem.

Essas medidas implicam em um gasto adicional de combustível para a caldeira auxiliar, como também o custo de instalação de todo o sistema necessário para o desvio dos gases.



Figura 3-14: Acúmulo de fuligem observado no economizador

Fonte: Marine Diesels

3.3.8. Flap Valves

Os flaps funcionam abrindo e fechando o caminho para que o ar que vêm dos turbochargers ou dos sopradores auxiliares

Em condições normais de operação, esses flaps ficam ou abertos ou fechados. Contudo, segundo [9], quando o motor opera em carga extremamente reduzida, inferiores a 10%, esses flaps podem ficar em uma posição intermediária, abrindo e fechando continuamente, provocando a fadiga do material e sua consequente ruptura.



Figura 3-15: Flap valves quebradas

Fonte: MAN

3.3.9. Aumento de depósitos no *Air Cooler*

O tamanho do *air cooler*, no que diz respeito a sua superfície de troca de calor, é selecionado baseado de acordo com a carga térmica necessária para uma faixa de operação.

Segundo [10], durante a operação de carga parcial do motor, a água de arrefecimento do *air cooler* deve ser controlada, através de by-pass do cooler e estrangulamento das válvulas de água para manutenção da temperatura ideal do ar de lavagem, a fim de evitar a redução da temperatura, aumentando a probabilidade de ocorrência da corrosão fria, como visto em 3.3.3.

Contudo, a redução do fluxo de água através do estrangulamento das válvulas, aumenta as taxas de depósito de particulados sólidos presentes na água, provocando o acúmulo de depósitos e contaminação dos dutos.

Além dessas preocupações relacionadas aos componentes dos motores, há também outras questões observadas em operações em *slow steaming*, como:

- **Perda de eficiência do propulsor**

Na fase de projeto, assim como todo sistema de máquinas, este é selecionado para operar em uma dada faixa de rotação. Ou seja, se escolhe o propulsor que melhor se

adequa para aquela determinada faixa de operação, e não necessariamente vai ser o melhor para outras faixas de operação.

- **Aumento do consumo específico de combustível (SFOC – *Specif Fuel Oil Consumption*)**

Apesar de o consumo em geral diminuir, o consumo específico aumenta quando se sai da faixa de rotação de projeto, que é a faixa pra onde o navio teve seu consumo otimizado. Esse aumento do consumo específico também influencia a má combustão observada.

No gráfico abaixo tem-se a curva do consumo específico de combustível para um navio do tipo PANAMAX equipado com um motor diesel de baixa rotação. Logo, essa tendência é a mesma para todo navio equipado com esse tipo de motor.

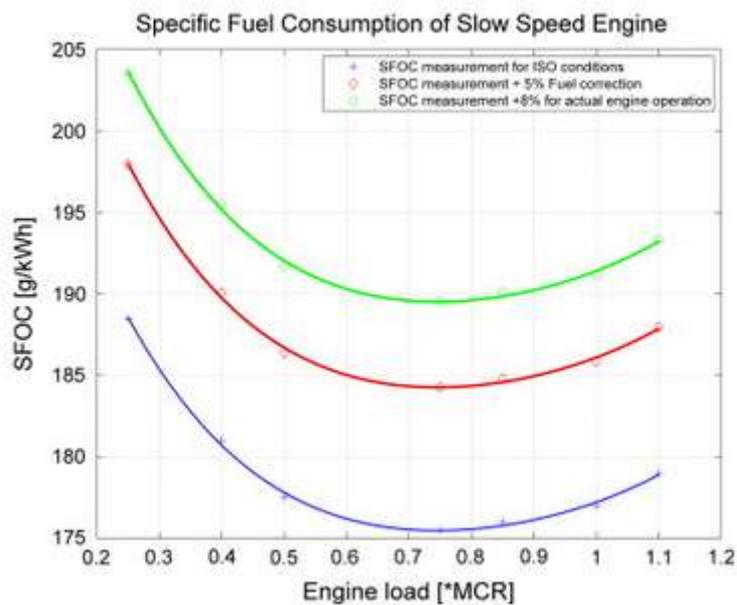


Figura 3-16: Tendência do consumo específico de combustível (SFOC)

Fonte: Science Direct

- **Geradores de Eixo**

Assim como todos os demais equipamentos, a seleção dos geradores de eixo é feita para uma determinada faixa de operação do sistema de máquinas. Rotações muito baixas podem tornar os geradores de eixo inutilizáveis.

- **Deterioração do desempenho do casco**

De acordo com [11], o casco do navio é revestido por uma pintura com função de evitar a formação de incrustações quando navegando a uma faixa específica de velocidade. Quando o navio navega em uma velocidade fora desses limites por um período prolongado, essa proteção tende a não ser mais efetiva, aumentando a probabilidade de formação de incrustações no casco. O mesmo ocorre com o propulsor, que ao operar em rotações inferiores, tende a ser mais vulnerável a esse tipo de problema.

Para evitar a formação dessas cracas, os armadores devem considerar uma rotina de inspeções subaquáticas mais frequentes, bem como a limpeza do casco e propulsor.



Figura 3-17: Casco e propulsor com incrustações

Fonte: European Coatings

4. Aspectos Financeiros e Econômicos

A ampla aceitação do slow steaming por grandes armadores e afretadores de navio é justificada pelo cenário mundial em que a economia se encontra atualmente: altos preços de combustíveis, estagnação da economia mundial e diminuição das taxas de frete.

Apesar de estudos demonstrarem o interesse por parte de armadores para a manutenção desse perfil operacional nos próximos anos, como a MAERSK que

incentiva o uso de menores potências instaladas nos projetos de seus futuros navios como visto em [3], nada se pode garantir sobre isso.

Caso o preço de bunker reduza, a economia mundial acelere e as taxas de frete no mercado marítimo subam, a utilização de navios com velocidade reduzida deve ser descartada.

Ainda assim, mesmo considerando todas as condições de volatilidade do mercado, cabe aqui uma análise financeira dos custos que envolvem o transporte marítimo, na tentativa de estimar os ganhos e perdas financeiras consequentes desse tipo de operação.

4.1. Custos dos Transportes Marítimos

Os custos dos transportes marítimos são classificados em, segundo a empresa de consultoria inglesa marítima DREWRY, em custos de capital, custos operacionais e custos de viagem, pagos pelo armador ou pelo afretador, de acordo com o tipo de contrato. Essa divisão dos custos e contratos seguem ilustrados na Figura 4-1 abaixo.



Figura 4-1: Custos do transporte marítimo

Fonte: Drewry

Os custos de capital englobam os custos de aquisição do bem, ou seja, os investimentos feitos para a construção e compra de todos os equipamentos que formam o navio. É o somatório dos custos do pagamento da entrada, do principal do empréstimo e os respectivos juros. É um custo fixo que acompanha o navio por toda sua vida útil.

Os custos de operação são os custos inerentes para a manutenção da operação do navio. Compõe o custo operacional os gastos com os salários e todos os benefícios sindicais da tripulação, o seguro do navio, os custos com reparos e manutenção, peças sobressalentes e estoques necessários a bordo, custos com óleo lubrificante e custos com equipe mobilizada e infraestrutura necessária em terra para administrações das operações.

Por fim, têm-se os custos de viagem que são os custos que dizem respeito à navegação realizada, ou seja, os custos com o combustível, as despesas portuárias e demais taxas necessárias para navegação em canais e demais locais que demandem custos adicionais.

Em relação ao tipo de contrato, sendo chamado no mercado de navegação como “*charter party*”, um navio pode ser afretado a casco nu, a time charter ou a Voyage charter.

Em linhas gerais, um contrato do tipo casco nu, o afretador, além de pagar um valor pelo aluguel do navio ao armador, arca também com todos os custos de capital, operacional e de viagem. É o tipo de contrato menos utilizado. O contrato time charter, o armador cobra uma taxa de frete ao afretador, que também arca com os custos de viagem. Já em um contrato do tipo voyage charter, o armador cobra uma taxa de frete ao afretador que já inclui todos os custos e o adicional do lucro da operação pelo armador.

Analisando apenas um navio, pode-se dizer que a alteração da faixa de velocidades em que o navio navega acarreta mudanças consideráveis apenas nos **custos com combustível** e uma variação nos custos de **manutenção, reparo e de peças reposição**. Custos de capital, custos com tripulação, seguro, administração e gerenciamento das operações, como também custos portuários e demais taxas tendem a se manter constantes.

Dessa maneira, nos tópicos seguintes serão comparados os custos de combustível para a condição de operação em que o navio é projetado e como esses custos se alteram quando a embarcação opera em *slow steaming*. Serão comentados também possíveis fatores que podem influenciar nos custos de capital.

4.1.1. Custos de manutenção

Apesar de todas as falhas já observadas, a operação em *slow steaming* pode ser considerada tecnicamente viável desde que alinhada com todas as recomendações

dos fabricantes de motores e demais equipamentos expostos ao desgaste por conta desse tipo de operação.

Contudo, como visto no tópico 3.3., para que alguns problemas observados fossem solucionados, é necessária a instação de equipamentos adicionais e a maior frequência de vistorias e inspeções, por exemplo.

Assim, enquanto se observa uma inegável economia em combustível, a redução de velocidades traz também um custo adicional de manutenção e compras de equipamentos que viabilizam a operação segura, que não era considerado na condição de projeto, quando o navio foi concebido.

Diferentemente da economia de combustível, que é um ganho imediato, os custos de manutenção adicionais desse de operação em velocidade reduzida só poderão ser observadas no longo prazo. Como essa tendência é recente, ainda não se pôde observar esse impacto significativo no incremento nos custos de manutenção, não havendo nenhuma estimativa, nem por parte das grandes fabricantes de motores como também das companhias de navegação.

Os custos de manutenção do motor tendem a aumentar ao longo das suas horas de operação, termo conhecido em inglês como running hours. Atualmente, só se pode estimar esses custos em condições de carga plena, a cerca de 85% do MCR. De forma simplista, a partir de informações coletadas por especialistas marítimos ao longo deste projeto, pode-se estimar os custos de manutenção para um motor dois tempos de baixa rotação variando na faixa entre cerca de 4 a 8 Euros/MW*h.

Como já citado, como a operação de carga parcial é algo recente, com cerca de 4 anos, não se pode estimar o quanto desse valor aumenta nesse perfil operacional. Além disso, apesar desse custo ser uma função da potência, ainda que a potência diminua, armadores e fabricantes não esperam uma redução desse custo.

Já os gastos com peças de reposição, para o motor principal e turbocarregador ao longo de 10 anos, com cerca de 6.000 running hours por ano, podem ser estimados, em dólares, conforme ilustrado na tabela abaixo.

Tabela 4-1: Estimativas de custos de peças de reposição do motor

	Custo com peças de reposição (fleet spares)										
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Total
Motor Principal	-	24.904,00	101.989,00	140.341,30	-	214.967,50	41.996,00	238.188,60	-	193.134,00	955.520,40
Turbocarregador	-	4.986,30	-	57.533,40	-	4.986,30	-	57.533,40	-	4.986,30	130.025,70
Total:	-	29.890,30	101.989,00	197.874,70	-	219.953,80	41.996,00	295.722,00	-	198.120,30	1.085.546,10

Operando em *slow steaming*, segundo as recomendações dos fabricantes dos motores, algumas medidas devem ser tomadas como a instalação do equipamento que corta o funcionamento do turbocharger e a sobressalentes para os sopradores auxiliares, por exemplo, para que a operação em regime contínuo em carga parcial não danifique o motor. Espera-se, contudo, que esses equipamentos sejam instalados apenas uma vez e que não haja necessidade de troca ao longo da operação. A Tabela 4-2 abaixo ilustra estimativas de gastos com esses equipamentos.

Tabela 4-2: Gastos com equipamentos para a viabilidade do *slow steaming*

Aquisições de novos equipamentos, sobressalentes e instalações:	Custos [US\$]	Frequência
Turbo Charger Cut Out	88.000,00	1 x
Sobressalentes - Soprador auxiliar	25.200,00	1 x
Sist. monitoramento temp. e vibração dos mancais do motor elétrico dos sopradores	3.000,00	1 x
Total:	116.200,00	

Ainda não se têm informações suficientes que possibilitem a estimativa para os demais gastos com sobressalentes ao longo dos anos de operação em *slow steaming*.

Em relação à rotina de vistorias e inspeções, a frequência em carga parcial é maior. Por exemplo, em condição de carga plena, a própria tripulação do navio deve fazer uma inspeção nas camisas dos cilindros a cada 6.000 horas. Operando em *slow steaming*, a ordem para a tripulação é a realização dessa inspeção a cada 2.000 horas. Como essas inspeções são feitas pela própria tripulação, não acarretam custos adicionais ao armador ou afretador, e devem ser feitas em condições de porto, onde o motor principal está desligado, a fim de evitar paradas na navegação, o que acarretaria um incremento dos custos diários da viagem.

4.2. Estudo de Casos

Nos tópicos abaixo serão feitas duas análises financeiras das operações em *slow steaming* para diferentes intervalos de tempo.

A primeira análise consiste em uma análise de curto prazo, considerando um intervalo de tempo pequeno correspondente a uma viagem.

Já a segunda análise considera um intervalo de tempo de um ano de operação, comparando os resultados financeiros da condição de navegação em carga plena com a condição de carga reduzida.

Como referência, foram utilizados valores de um navio do tipo VLOC, Very Large Ore Carrier, que transporta cerca de 390.000 toneladas de minério de ferro na rota China – Brasil – China, mais especificamente dos portos de Qindao – Ponta da Madeira – Qindao, totalizando cerca de 12.460 milhas náuticas por trecho, segundo [12].

4.2.1. Por viagem

Essa análise de curto prazo ilustra a relação entre a variação da velocidade e a variação do preço de bunker e o conseqüente custo frete da viagem, em US\$/toneladas.

O objetivo dessa análise é demonstrar o ponto ótimo da velocidade que minimiza o custo frete. Enquanto que a redução da velocidade implica em uma redução do custo de combustível, por outro lado faz a viagem ficar mais longa, aumentando assim os gastos com os custos fixos diários, que são os custos de capital e operacional. Já o aumento da velocidade, apesar de incrementar os gastos com bunker, reduz os gastos com os custos fixos.

Considerou-se nessa análise uma faixa de velocidades, variando de 2 a 16 nós, e os respectivos consumos de combustível do motor principal de acordo com as curvas de consumo para as condições de lastro e de carga exibidas na Figura 4-2 e na Figura 4-3 a seguir.

Navegação em Lastro	
Velocidade Média [nós]	Consumo de IFO [ton/dia]
7	22,2
7,5	25,2
8	28,4
8,5	31,8
9	35,4
9,5	39,1
10	43,0
10,5	47,1
11	51,4
11,5	55,8
12	60,4
12,5	65,1
13	70,0
13,5	75,1
14	80,3
14,5	85,7
15	91,3
15,5	97,0
16	102,9

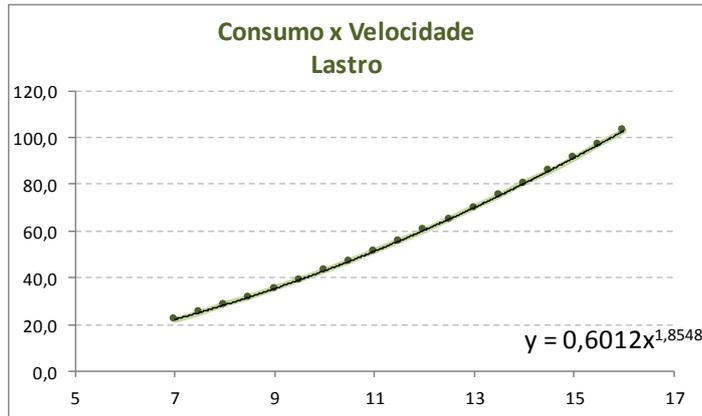


Figura 4-2: Relações de consumo em condições de lastro

Navegação com Carga	
Velocidade Média [nós]	Consumo de IFO [ton/dia]
7	22,8
7,5	26,3
8	30,1
8,5	34,2
9	38,6
9,5	43,2
10	48,2
10,5	53,4
11	58,8
11,5	64,6
12	70,6
12,5	76,9
13	83,6
13,5	90,4
14	97,6
14,5	105,1
15	112,8
15,5	120,9
16	129,2

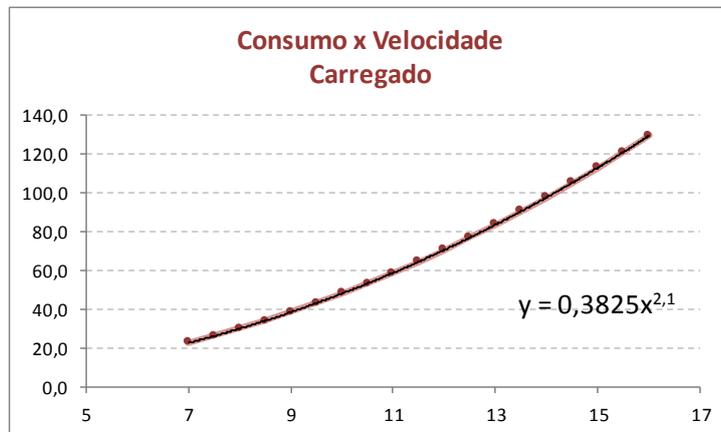


Figura 4-3: Relações de consumo em condições de carga

Todos esses valores de velocidade e consumo indicados na figura acima são dados reais de um navio do tipo VLOC, que a pedido do armador, não pode ter seu nome e demais características relevadas. Tratam-se de dados reais observados, acumulados desde o início da operação do navio em meados de 2011. Os dados foram separados de acordo com a condição de navegação, em lastro e em carga, já que apresentam diferentes relações de velocidade e consumo.

Vale ressaltar, que as velocidades de 2 a 6,5 nós, como também a velocidade de 16 nós, são velocidades extrapoladas a partir dessas curvas, já que o navio nunca apresentou esses números. Contudo, ainda assim é interessante utilizar esses valores para ilustrar a tendência da variação do frete em função da velocidade.

Como visto anteriormente na Figura 4-1, os custos do transporte marítimo são divididos em custo de capital, custo operacional e custos de viagens. Para mensurar esses custos, foram consideradas algumas premissas e estimativas.

Considerou-se um custo de capital igual a 28.000,00 US\$/dia, baseado em valores médios observados no mercado para um navio do tipo VLOC.

O custo operacional diário foi retirado do último relatório publicado pela Drewry Maritime Research [13], sendo um valor igual a 8.882,00 US\$/dia, como ilustrado na imagem abaixo.

Tabela 4-3: Custos Operacionais Dry Bulk

Fonte: Drewry

	Dry Bulk						VLOC
	Handysize	Handymax	Supramax	Panamax	Post Panamax	Capesize	
<i>Crew Numbers</i>	18	18	18	20	21	21	22
Manning	1.809	1.809	2.286	2.400	2.406	2.693	2.707
Insurance	720	755	825	830	875	1.110	1.415
Stores/Lubes	640	655	680	805	815	915	1.055
R&M	1.645	1.690	1.900	2.170	2.455	2.715	2.860
Admin	660	660	710	760	805	850	845
Total Opex	5.474	5.569	6.401	6.966	7.356	8.283	8.882

Os custos portuários foram estimados em um valor médio de 100.000,00 US\$/viagem, a partir de custos médios observados para esse tipo de navio nos portos considerados.

Além disso, foi considerado também um tempo de 25 dias por viagem, considerando dados históricos de tempo de carregamento, tempo de descarregamento, permanência na região de fundeio aguardando liberação para atracação e os períodos de abastecimento de combustível.

Para melhor entender o efeito do preço do combustível na variação da velocidade ótima, foram considerados seis valores diferentes para bunker: 500 US\$/ton, 600 US\$/ton, 700 US\$/ton, 800 US\$/ton, 900 US\$/ton e 1000 US\$/ton.

Considerando todas esses dados, foi montada uma planilha no software Microsoft Office Excel para a realização do cálculo do preço de frete, como mostrada na Tabela 4-4. Essa planilha pode ser vista em tamanho superior no Anexo I.

Tabela 4-4: Análise do custo frete para uma viagem

Velocidade	Consumo de Bunker ME [ton/dia]		Duração Lastro	Duração Carregado	Duração Porto	Duração Viagem	Custos Fixos	Consumo IFO [ton/viagem]		Consumo Bunker Total	Custo Frete Total [USD/ton]					
											Preço do Bunker: 500	Preço do Bunker: 600	Preço do Bunker: 700	Preço do Bunker: 800	Preço do Bunker: 900	Preço do Bunker: 1000
											US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton
[nós]	Lastro	Carga	[dias]	[dias]	[dias]	[dias]	[US\$]	Lastro	Carga	[ton]	[US\$]	[US\$]	[US\$]	[US\$]	[US\$]	[US\$]
2,0	2,2	1,6	259,6	259,6	25,0	544,2	20.075.396,67	564,5	425,7	990,1	53,00	53,26	53,51	53,76	54,02	54,27
3,0	4,6	3,8	173,1	173,1	25,0	371,1	13.691.031,11	798,3	664,9	1.463,2	37,24	37,61	37,99	38,36	38,74	39,11
4,0	7,9	7,0	129,8	129,8	25,0	284,6	10.498.848,33	1.020,9	912,4	1.933,3	29,66	30,15	30,65	31,14	31,64	32,13
5,0	11,9	11,2	103,8	103,8	25,0	232,7	8.583.538,67	1.235,4	1.166,3	2.401,7	25,34	25,96	26,58	27,19	27,81	28,42
6,0	16,7	16,5	86,5	86,5	25,0	198,1	7.306.665,56	1.443,7	1.425,3	2.869,0	22,67	23,41	24,14	24,88	25,61	26,35
7,0	22,2	22,8	74,2	74,2	25,0	173,3	6.394.613,33	1.647,1	1.688,7	3.335,8	20,93	21,78	22,64	23,50	24,35	25,21
8,0	28,4	30,1	64,9	64,9	25,0	154,8	5.710.574,17	1.846,2	1.955,9	3.802,1	19,77	20,75	21,72	22,70	23,67	24,65
9,0	35,4	38,6	57,7	57,7	25,0	140,4	5.178.543,70	2.041,8	2.226,4	4.268,2	19,01	20,10	21,20	22,29	23,38	24,48
10,0	43,0	48,2	51,9	51,9	25,0	128,8	4.752.919,33	2.234,2	2.500,0	4.734,2	18,51	19,73	20,94	22,15	23,37	24,58
11,0	51,4	58,8	47,2	47,2	25,0	119,4	4.404.681,21	2.423,9	2.776,3	5.200,2	18,22	19,55	20,88	22,22	23,55	24,88
12,0	60,4	70,6	43,3	43,3	25,0	111,5	4.114.482,78	2.611,0	3.055,2	5.666,2	18,07	19,52	20,98	22,43	23,88	25,34
13,0	70,0	83,5	39,9	39,9	25,0	104,9	3.868.930,26	2.795,9	3.336,4	6.132,3	18,04	19,61	21,18	22,76	24,33	25,90
14,0	80,3	97,6	37,1	37,1	25,0	99,2	3.658.456,67	2.978,8	3.619,8	6.598,5	18,10	19,79	21,48	23,17	24,86	26,56
15,0	91,3	112,8	34,6	34,6	25,0	94,2	3.476.046,22	3.159,7	3.905,2	7.064,9	18,23	20,04	21,85	23,66	25,47	27,28
16,0	102,9	129,2	32,4	32,4	25,0	89,9	3.316.437,08	3.338,9	4.192,5	7.531,4	18,42	20,35	22,28	24,21	26,14	28,07

Os cálculos realizados em cada coluna seguem as formulações matemáticas abaixo:

$$\text{Consumo } ME_{\text{lastro}} = 0,6012 * \text{velocidade}^{1,9} \left[\frac{\text{ton}}{\text{dia}} \right]$$

$$\text{Consumo } ME_{\text{carregado}} = 0,3825 * \text{velocidade}^{2,1} \left[\frac{\text{ton}}{\text{dia}} \right]$$

$$\text{Duração}_{\text{lastro}} = \text{Duração}_{\text{carregado}} = \frac{\text{distância} / \text{velocidade}}{24} \text{ [dias]}$$

Sendo a distância igual a 12.460 milhas náuticas, como citado anteriormente.

$$\text{Duração}_{\text{porto}} = 25 \text{ [dias]}$$

$$\text{Duração}_{\text{viagem}} = \text{Duração}_{\text{lastro}} + \text{Duração}_{\text{carregado}} + \text{Duração}_{\text{porto}} \text{ [dias]}$$

$$\text{Custos fixos} = (C. \text{capital} + C. \text{operacional}) * \text{Duração}_{\text{viagem}} + \text{custos portuários} \text{ [US$]}$$

$$\text{Consumo Bunker}_{\text{lastro}} = \text{Duração}_{\text{lastro}} * \text{Consumo } ME_{\text{lastro}} \text{ [ton]}$$

$$\text{Consumo Bunker}_{\text{carregado}} = \text{Duração}_{\text{carregado}} * \text{Consumo } ME_{\text{carregado}} \text{ [ton]}$$

$$\text{Consumo Bunker Total} = \text{Consumo Bunker}_{\text{lastro}} + \text{Consumo Bunker}_{\text{carregado}} \text{ [ton]}$$

$$\text{Custo Frete Total} = \frac{\text{Custos fixos} + \text{Consumo Bunker Total} * \text{Preço do Bunker}}{\text{carga}} \left[\frac{\text{US$}}{\text{ton}} \right]$$

Sendo a carga igual a 390.000 toneladas.

Com os valores do custo frete calculados, pode-se então plotar curvas do custo frete em função da velocidade, para cada valor de bunker, representando no gráfico abaixo

por diferentes curvas coloridas, onde cada curva indica os valores de frete para preço de bunker diferente conforme ilustrado na legenda do gráfico.

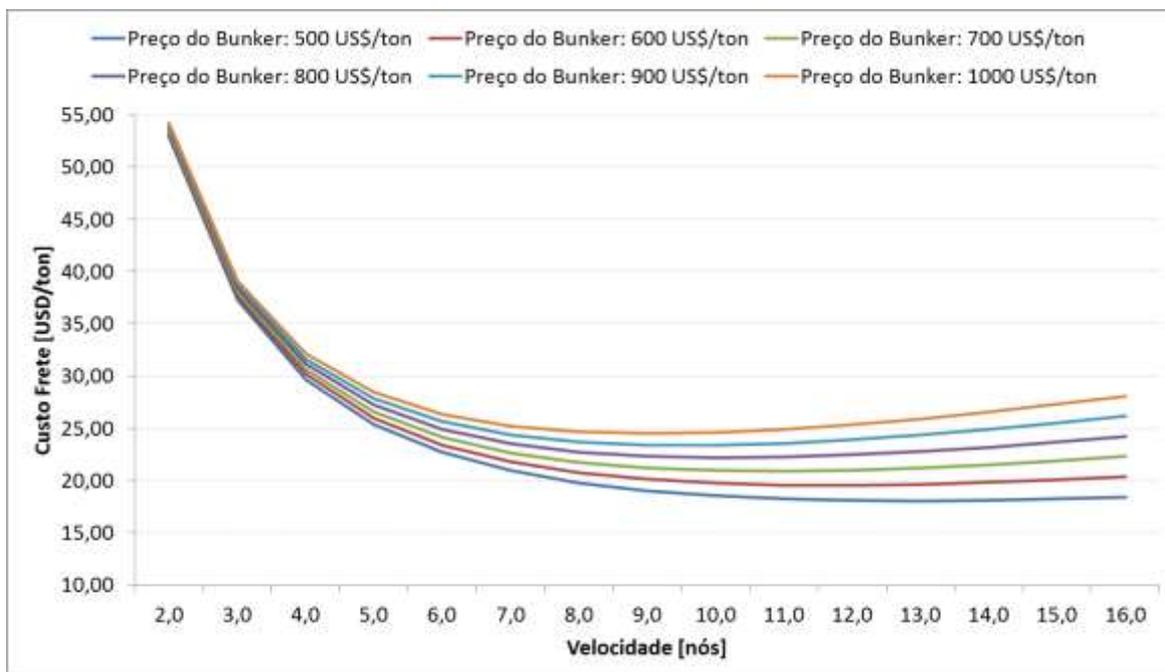


Gráfico 4-1: Custo frete x velocidade para diferentes faixas de preço de bunker

O gráfico acima mostra que para velocidades muito baixas, o custo frete é muito elevado, uma vez que a redução extrema da velocidade implica em um grande aumento do número de dias navegados, e conseqüentemente em uma elevação dos gastos fixos diários, de modo que a redução do consumo de combustível não supera o incremento destes custos.

Aproximando o gráfico acima para intervalos de custo frete entre 17 US\$/ton e 29 US\$/ton, para uma melhor visualização do comportamento das curvas de custo frete, obtém-se o gráfico a seguir.

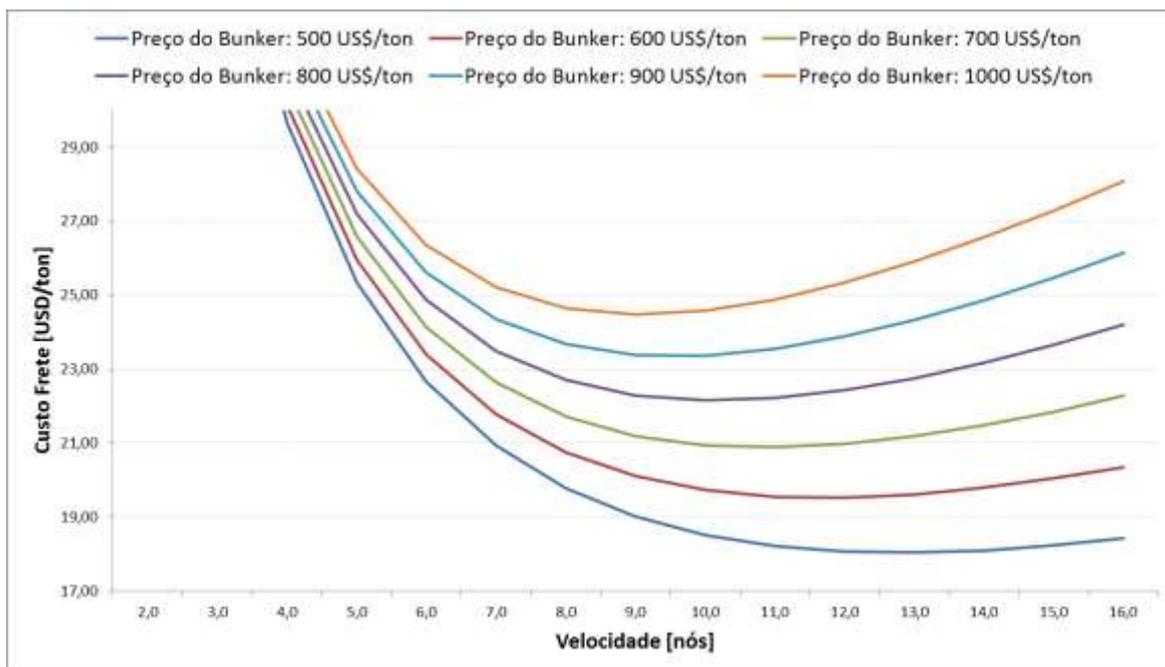


Gráfico 4-2: Aproximação da curva do custo frete

O gráfico acima mostra com maior clareza a influência do preço do bunker e o ponto ótimo da velocidade que minimiza o custo frete da viagem.

Pode-se perceber que em um cenário de preço de bunker elevado, como o valor mais extremo de 1.000,00 dólares a tonelada do combustível, a velocidade que reduz o custo frete é igual a 9 nós. Já em um cenário com o preço de combustível mais barato, como o preço de 500 dólares a tonelada do bunker, a velocidade ótima é igual a 13 nós.

Ou seja, quando o bunker está mais caro, a redução da velocidade é a melhor opção para diminuir o custo de transporte por tonelada transportada, sendo preferível aumentar os dias de navegação, já que o incremento dos gastos com custo de capital e operacional não superam a economia de combustível. Em um cenário contrário, como o bunker a preços reduzidos, é preferível navegar com maiores velocidades para reduzir os custos fixos da operação.

Essa análise mostra, de forma simples, a influência do preço do bunker e a decisão por parte do armador na alteração da velocidade do navio para redução do custo frete.

4.2.2. Intervalo de tempo fixo

Outra forma de se analisar os impactos financeiros da operação em *slow steaming* é calcular o quanto o navio economiza em combustível e o quanto ele deixa de

transportar de carga quando comparado com a condição de *full speed*, considerando um intervalo de tempo fixo,

Pensando em um intervalo de tempo de um ano, por exemplo, quando o navio reduz sua velocidade, ele apresenta inegáveis economias de combustível pelo motor principal. Por outro lado, como demora mais tempo navegando, ele não consegue transportar toda a carga que transportaria quando navegando na velocidade plena de projeto. Essa carga adicional precisa ser transportada por outras embarcações, necessitando do afretamento de navios do mercado para suprir a demanda logística do transporte de carga.

Logo, deve-se então avaliar se os ganhos da economia de combustível compensam os gastos extras com o afretamento de outros navios. Além dos gastos com afretamento, nessa análise cabe também uma avaliação dos possíveis aumentos com custo de manutenção quando o navio opera em carga reduzida, e o consumo de bunker, caso o navio opere em cargas muito reduzidas, havendo a necessidade de funcionamento das caldeiras e sopradoras auxiliares.

Além disso, vale ressaltar que reduzindo a velocidade, reduz o número de viagens em um ano, diminuindo também os gastos portuários.

Caso a economia de combustível supere os gastos adicionais com afretamento, consumo de bunker pelos sistemas auxiliares e gastos adicionais com manutenção, a prática do *slow steaming* é indicada.

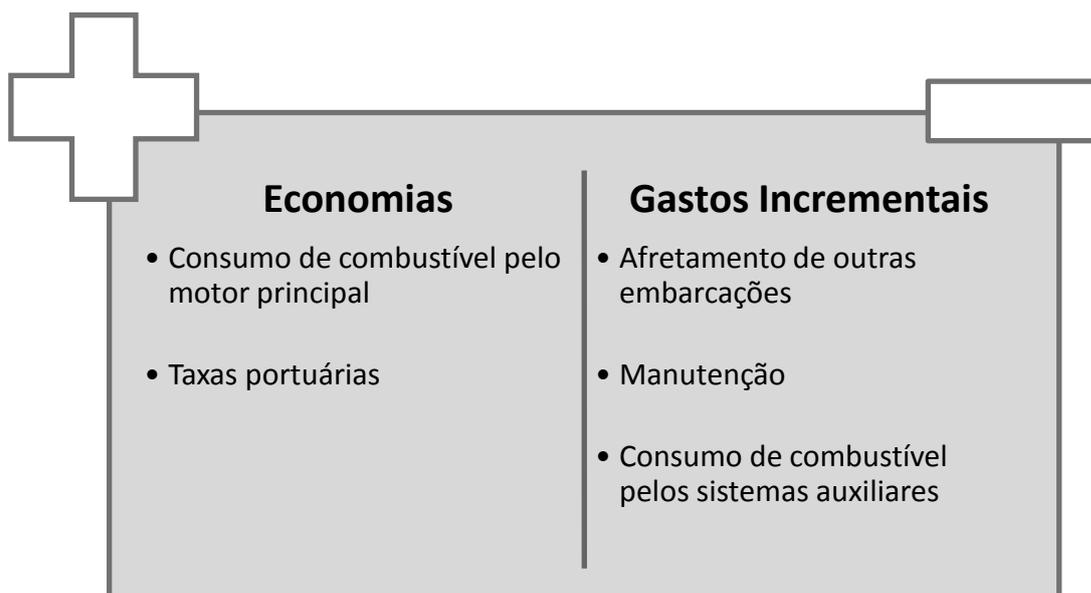


Figura 4-4: Análise em um intervalo de tempo fixo

Nessa análise, como se considera um intervalo de tempo igual e fixo para as duas condições operacionais, não é necessário calcular os custos fixos, já que como são custos fixos diários e independem da velocidade, esses valores seriam o mesmo para ambas as condições.

Para ilustrar o comportamento dessa análise, consideraram-se os valores de velocidade e consumo indicados na Figura 4-2 e na Figura 4-3, assim como as mesmas premissas adotadas na análise anterior, como a rota de 12.460 milhas náuticas por trecho, referente à distância entre o Porto de Ponta da Madeira, no Estado do Maranhão no Brasil e o Porto de Qingdao na China. Além disso, consideraram-se também 25 dias por viagem em operações portuárias, e um valor de taxa portuária igual a 100.000,00 US\$/viagem.

Foram consideradas as economias de consumo de bunker pelo motor principal, comparadas com a condição de carga plena desse tipo de navio quando navega a 14,5 nós, os gastos com taxas portuárias ao longo de um ano e também os gastos extras com a afretamento de navios.

Para avaliar os gastos extras com afretamento, consideraram-se três valores de taxa frete em um contrato Voyage Charter para um navio do tipo capesize: um valor de referência 22,00 US\$ por tonelada de minério de ferro, um valor 20% superior (26,40 US\$/ton) e outro 20% inferior (17,60 US\$/ton).

Esse valor de referência foi obtido através de contatos com empresas de frete e navegação que não podem ser divulgadas por questão de sigilo, já que se trata de uma informação estratégica para a negociação do frete. No contrato Voyage Charter, o afretador paga apenas o frete que o armador exige. Cabe ao armador arcar com todos os custos de capital, operacional e de viagem, repassando esses custos e mais o lucro da operação no custo do frete para o afretador, como ilustrado na Figura 4-1.

Infelizmente, como já dito no tópico 4.1.1, ainda não se tem dados suficientes disponíveis para estimar o incremento do custo de manutenção em operações em carga parcial, e por isso essas estimativas não foram consideradas na análise.

Além disso, conhecendo apenas a velocidade e o respectivo consumo de combustível do motor principal, também não se pôde considerar o consumo de bunker pelas caldeiras e sopradores auxiliares.

Vale ressaltar aqui, contudo, que a falta dessas duas informações não comprometem a análise, pois os incrementos dos gastos com bunker por parte dos sistemas

auxiliares e com manutenção não são da mesma ordem de grandeza quando comparados com a economia de combustível e gastos com afretamento.

Por fim, foram simulados seis cenários, com o preço de bunker fixo a 500, 700 e 900 US\$/ton, e a taxa de frete adicional igual a 17,60 US\$/ton, 22,00 US\$/ton e 26,40 US\$/ton.

Todos esses valores são compatíveis com o mercado, porém nessa análise é mais interessante entender a tendência dos resultados, compreendendo a relação entre taxa de frete, redução de velocidade e preço de combustível.

Sendo assim, o resultado final dessa análise é a seguinte formulação matemática para cada faixa de velocidades:

$$\text{Balanço} = \text{Economias Portuárias} + \text{Economia de Bunker} \\ - \text{Gasto com afretamento de demais embarcações}$$

Logo, segundo a lógica da formulação acima, quanto maior for o resultado do balanço financeiro, maior será a economia observada pela operação em velocidade reduzida, se comparada com a velocidade de projeto.

As economias portuárias foram obtidas considerando a diferença entre o quanto o navio gastaria em condição de projeto, e quanto gastaria em diferentes velocidades. Com a redução da velocidade, o número de viagens em um ano se reduz e por consequência os custos portuários também, já que são calculados por viagem.

A economia de bunker foi calculada segundo a mesma lógica: estima-se o consumo e o respectivo gasto de combustível em um ano em velocidade plena e nas demais faixas de velocidades. A diferença entre os gastos com bunker a plena carga, e os gastos nas demais velocidades significa a economia resultante por conta da redução da velocidade.

Já para o cálculo dos gastos com o afretamento, sabendo que em um ano o navio a plena carga realiza um número de viagens, e que ao reduzir a velocidade, realiza um número inferior, e que em cada viagem pode transportar 390.00 toneladas de minério, pode-se mensurar o volume transportado em cada velocidade em um ano. A diferença observada entre o volume transportado a carga plena e um volume transportado em uma velocidade inferior, quando multiplicada pela taxa de frete do mercado resulta nos gastos adicionais com afretamento.

Os resultados entre as perdas e ganhos observadas em um ano para diferentes velocidades foram calculados em uma planilha no software Microsoft Office Excel, e encontram-se no anexo II.

Foram plotados três gráficos, um para cada preço de bunker, e com os valores do balanço financeiro em função da velocidade, sendo a velocidade de 14,5 nós tida como a velocidade de projeto em plena carga do motor, como já citado anteriormente.

Seguem nas imagens abaixo os três gráficos resultantes do balanço financeiro em função de velocidade para os diferentes preços de bunker.

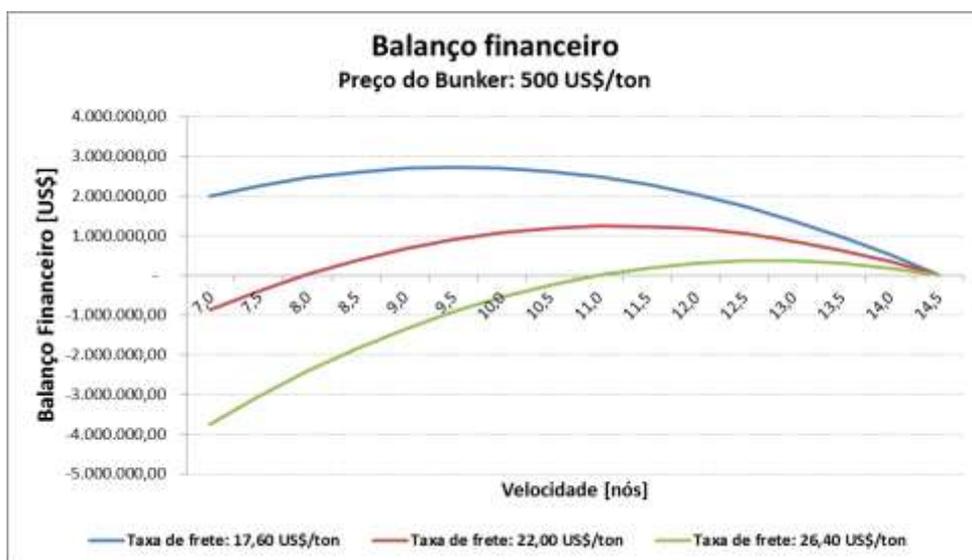


Gráfico 4-3: Balanço Financeiro para o bunker a 500 US\$/ton

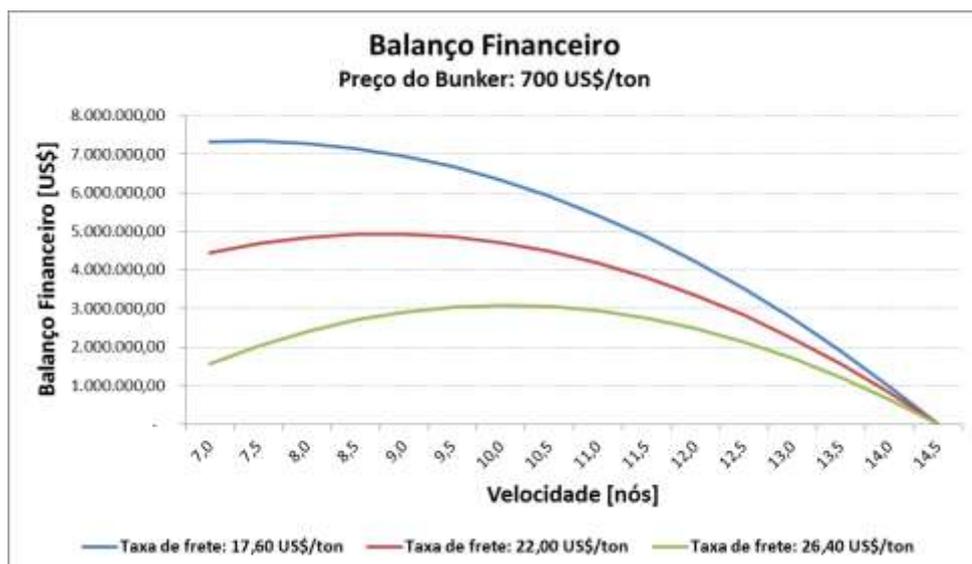


Gráfico 4-4: Balanço Financeiro para o bunker a 700 US\$/ton

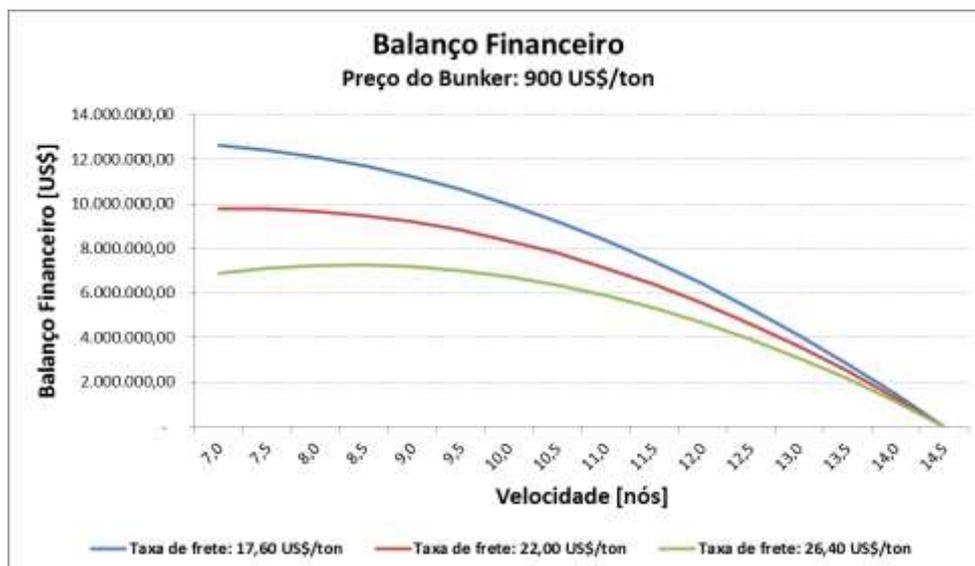


Gráfico 4-5: Balanço Financeiro para bunker a 900 US\$/ton

Segundo os gráficos acima, pode-se perceber que a maior economia financeira depende tanto do preço de combustível, quanto do preço da taxa de frete. Para um preço de bunker baixo (500 US\$/ton) e taxa de frete alta, é mais interessante o navio andar na velocidade próxima a de projeto, ou seja, reduzir a velocidade implica na redução da capacidade de transporte de carga, necessitando de afretar navios no mercado. Já para uma taxa de frete mais baixa com esse mesmo preço de bunker, a redução de velocidades poderá acarretar ganhos financeiros ainda maiores.

Conforme o aumento do preço do bunker, pode-se perceber que a redução de velocidade se torna mais interessante à medida que o preço da taxa de frete se reduza.

Para todas as análises, a economia apresenta um comportamento de uma curva de concavidade negativa, ou seja, existe uma velocidade ótima.

5. Conclusões

Como já comentado ao longo do relatório, segundo os grandes fabricantes de motores diesel de baixa rotação, a operação em *slow steaming* é tecnicamente viável desde que todas as recomendações de adaptações do motor principal sejam atendidas. Para os motores novos, essas preocupações quanto as adaptações dos sistemas de máquinas são menores, já que esses motores tendem a sair de fábrica com sistemas cada vez mais “inteligentes” e melhor se adaptam a diferentes faixas de operação,

como o sistema de lubrificante que regula a dosagem do óleo de cilindro em função da carga da máquina.

Embora os custos de manutenção nesse novo perfil operacional ainda não tenham sido claramente mapeados, estima-se que o incremento destes não inviabilize esse tipo de operação em um cenário atual. Contudo, no longo prazo, com um tempo de operação de dez anos, por exemplo, novos problemas podem ser observados por conta da operação contínua em carga parcial. Caso esses problemas impliquem em uma ameaça a vida útil do motor, a operação em *slow steaming* terá que ser reavaliada.

Além disso, como mostra as análises financeiras realizadas ao longo do projeto, a operação em *slow steaming* é completamente dependente do mercado. Caso haja uma redução do preço de bunker e um aumento das taxas de frete no mercado marítimo, a operação em carga parcial poderá ser descartada.

Contudo, segundo projeções do preço de bunker, mostrados no começo do relatório, estima-se que o preço do óleo pesado marítimo supere os 1.000 US\$/toneladas em 2013, fortalecendo a manutenção desse tipo de operação nos próximos anos.

Cabe ao armador avaliar a situação em que o mercado se encontra e a condição e tempo de operação do seu motor para chegar a melhor conclusão financeira e técnica sobre qual decisão tomar para otimizar suas receitas com a operação de transporte marítimo.

Como proposta para futuros trabalhos acerca desse tema, recomenda-se uma análise mais aprofundada dos custos de manutenção para a operação em carga reduzida, através de um levantamento dos custos de equipamentos sobressalentes, custos de vistorias, e também o possível incremento dos salários da tripulação consequentes da maior demanda de trabalho a bordo. Cabe também a execução de uma análise da relação entre velocidade e consumo para diferentes tipos de navios, na tentativa de se obter uma análise financeira genérica que se adeque a diversos navios com características semelhantes. Além disso, há espaço para realização de um estudo logístico para melhor compreensão da redução da velocidade e atendimento dos prazos.

6. Bibliografia

1. MALONI, M.; ALIYAS, J.; GLIGOR, D. M. Slow Steaming impacts on ocean carriers and shippers. **Maritime Economics & Logistics**, 2013. 151-171.
2. WIESMANN, A. Slow Steaming - a viable long-term option? **Wärtisilä Technical Journal**, p. 49-55, Fevereiro 2009.
3. JORGENSEN, R. Slow Steaming - the full story. **Maersk**. Disponível em: <<http://www.maersk.com/Innovation/WorkingWithInnovation/Documents/Slow%20Steaming%20-%20the%20full%20story.pdf>>. Acesso em: Abril 2013.
4. THE Two Stroke Crosshead Engine: The Turbo Charger. **Marine Diesels**. Disponível em: <http://www.marinediesels.info/2_stroke_engine_parts/turbo_charger.htm>. Acesso em: Agosto 2013.
5. SANGURI, M. How to Test Ship's Main Engine for Slow Steaming? **Marine Insight**, 2012. Disponível em: <<http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/headline/how-to-test-ships-main-engine-for-slow-steaming/>>. Acesso em: Junho 2013.
6. CRS (Sistema Common Rail). **Bosh**. Disponível em: <<http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/diesel/crs.htm>>. Acesso em: Agosto 2013.
7. OPERATION Information: Slow Steaming. **Marine Diesels**. Disponível em: <<http://www.marinediesels.info/>>. Acesso em: Agosto 2013.
8. KANGRIM. **The Impacts of main engine low load operation on economizer**. [S.l.].
9. JENSEN, M. C.; JAKOBSEN, S. B. **Low Load Operation - Service Letter SL11-544/MTS**. MAN Diesel & Turbo. Copenhagen SV. 2011.
- 10 SANGURI, M. Slow Steaming of Ships: Optimization of Ship's Main Engine. **Marine Insight**, 2012. Disponível em: <<http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/headline/slow-steaming-of-ships-optimization-of-ships-main-engine/>>. Acesso

em: Junho 2013.

- 11 KOWALAK, P. **Chief engineer's hands-on experience of slow steaming operation**. Maritime University of Szczecin. Poland. 2013.
- 12 SEA route & distance. **Ports**, 2010. Disponível em: <<http://ports.com/sea-route/ponta-da-madeira,brazil/port-of-qingdao,china/>>. Acesso em: Agosto 2013.
- 13 DREWRY MARITIME RESEARCH. **Ship Operating Costs Annual Review and Forecast**. Londres, p. 27-33. 2012.
- 14 GERDES, J. **Slow Steaming - Technical Challenges and Solution**. Wärtsilä Services. [S.l.]. 2012.
- 15 SILVA, A. P. D.; NOGUEIRA, L. Produção Acadêmica. **Engenharia Naval e Oceânica UFRJ**, 2007. Disponível em: <http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/Alex+Lorena/relat1/Propulsao.htm>. Acesso em: Agosto 2013.
- 16 BLOOMBERG. Iron Ore Drives Biggest Weekly Gain in Shipping Rates Since June. **Bloomberg**, 2013. Disponível em: <<http://www.bloomberg.com/news/2013-08-16/iron-ore-drives-biggest-weekly-gain-in-shipping-rates-since-june.html>>. Acesso em: Agosto 2013.
- 17 WEEKLY Freight Rates. **Metal Bulletin: Iron Ore Index**, 2013. Disponível em: <<http://www.mbironoreindex.com/Article/3219622/Weekly-Freight-Rates-17-June-2013.html>>. Acesso em: Agosto 2013.
- 18 DINGS, J. **Smarter Steaming Ahead: Policy options, costs and benefits of regulated slow steaming**. Seas At Risk. [S.l.]. 2012.
- 19 TAYLOR, D. A. **Introduction to Marine Engineering**. 2^a. ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, v. Único, 1996.

7. Anexos

7.1. Anexo I

Velocidade	Consumo de Bunker ME [ton/dia]		Duração Lastro [dias]	Duração Carregado [dias]	Duração Porto [dias]	Duração Viagem [dias]	Custos Fixos [US\$]	Consumo IFO [ton/viagem]		Consumo IFO Total [ton]	Custo Frete Total [USD/ton]						
	[nós]	Lastro						Carga	Lastro		Carga	Preço do Bunker: 500 US\$/ton	Preço do Bunker: 600 US\$/ton	Preço do Bunker: 700 US\$/ton	Preço do Bunker: 800 US\$/ton	Preço do Bunker: 900 US\$/ton	Preço do Bunker: 1000 US\$/ton
2,0	2,2	1,6	259,6	259,6	25,0	544,2	20.075.396,67	564,5	425,7	990,1	53,00	53,26	53,51	53,76	54,02	54,27	
3,0	4,6	3,8	173,1	173,1	25,0	371,1	13.691.031,11	798,3	664,9	1.463,2	37,24	37,61	37,99	38,36	38,74	39,11	
4,0	7,9	7,0	129,8	129,8	25,0	284,6	10.498.848,33	1.020,9	912,4	1.933,3	29,66	30,15	30,65	31,14	31,64	32,13	
5,0	11,9	11,2	103,8	103,8	25,0	232,7	8.583.538,67	1.235,4	1.166,3	2.401,7	25,34	25,96	26,58	27,19	27,81	28,42	
6,0	16,7	16,5	86,5	86,5	25,0	198,1	7.306.665,56	1.443,7	1.425,3	2.869,0	22,67	23,41	24,14	24,88	25,61	26,35	
7,0	22,2	22,8	74,2	74,2	25,0	173,3	6.394.613,33	1.647,1	1.688,7	3.335,8	20,93	21,78	22,64	23,50	24,35	25,21	
8,0	28,4	30,1	64,9	64,9	25,0	154,8	5.710.574,17	1.846,2	1.955,9	3.802,1	19,77	20,75	21,72	22,70	23,67	24,65	
9,0	35,4	38,6	57,7	57,7	25,0	140,4	5.178.543,70	2.041,8	2.226,4	4.268,2	19,01	20,10	21,20	22,29	23,38	24,48	
10,0	43,0	48,2	51,9	51,9	25,0	128,8	4.752.919,33	2.234,2	2.500,0	4.734,2	18,51	19,73	20,94	22,15	23,37	24,58	
11,0	51,4	58,8	47,2	47,2	25,0	119,4	4.404.681,21	2.423,9	2.776,3	5.200,2	18,22	19,55	20,88	22,22	23,55	24,88	
12,0	60,4	70,6	43,3	43,3	25,0	111,5	4.114.482,78	2.611,0	3.055,2	5.666,2	18,07	19,52	20,98	22,43	23,88	25,34	
13,0	70,0	83,5	39,9	39,9	25,0	104,9	3.868.930,26	2.795,9	3.336,4	6.132,3	18,04	19,61	21,18	22,76	24,33	25,90	
14,0	80,3	97,6	37,1	37,1	25,0	99,2	3.658.456,67	2.978,8	3.619,8	6.598,5	18,10	19,79	21,48	23,17	24,86	26,56	
15,0	91,3	112,8	34,6	34,6	25,0	94,2	3.476.046,22	3.159,7	3.905,2	7.064,9	18,23	20,04	21,85	23,66	25,47	27,28	
16,0	102,9	129,2	32,4	32,4	25,0	89,9	3.316.437,08	3.338,9	4.192,5	7.531,4	18,42	20,35	22,28	24,21	26,14	28,07	

7.2. Anexo II

- Preço de Bunker igual a 500 US\$/ton

Velocidade	Consumo de Bunker [ton/dia]		Duração Navegando	Duração Porto	Duração Viagem	Nº Viagens /ano	Carga transportada/ano	Consumo Bunker [ton/viagem]		Consumo Bunker [ton/ano]	Custo de Bunker [US\$]	Custos Portuários [US\$]	Quanto deixou de levar de carga [ton/ano]	Economia Custos Portuários [US\$/ano]	Economia de Bunker [US\$/ano]	Afretamento de outras embarcações			Balanço Total			
																17,60	22,00	26,40	Taxa de frete: 17,60 US\$/ton	Taxa de frete: 22,00 US\$/ton	Taxa de frete: 26,40 US\$/ton	
																[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	
[nós]	Lastro	Carga	[dias]	[dias]	[dias]			Lastro	Carga	[ton/ano]	[US\$]	[US\$]	[ton/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]
7,0	22,2	22,8	148,3	25,0	173,3	2,1	821.250,0	1.924,68	1.973,28	8.208,21	4.104.107,23	210.576,92	- 652.212,22	167.233,90	13.306.803,22	- 11.478.935,16	- 14.348.668,95	- 17.218.402,74	1.995.101,97	- 874.631,82	- 3.744.365,61	
7,5	25,2	26,3	138,4	25,0	163,4	2,2	870.938,1	2.062,64	2.150,80	9.409,34	4.704.671,59	223.317,47	- 602.524,09	154.493,36	12.706.238,87	- 10.604.423,94	- 13.255.529,93	- 15.906.635,91	2.256.308,28	- 394.797,70	- 3.045.903,69	
8,0	28,4	30,1	129,8	25,0	154,8	2,4	919.623,1	2.201,85	2.332,59	10.692,24	5.346.121,21	235.800,81	- 553.839,08	142.010,02	12.064.789,24	- 9.747.567,73	- 12.184.459,66	- 14.621.351,59	2.459.231,53	- 22.339,60	- 2.414.552,33	
8,5	31,8	34,2	122,2	25,0	147,2	2,5	967.335,1	2.342,37	2.518,61	12.056,93	6.028.464,35	248.034,64	- 506.127,11	129.776,18	11.382.446,11	- 8.907.837,22	- 11.134.796,53	- 13.361.755,83	2.604.385,07	- 377.425,77	- 1.849.533,54	
9,0	35,4	38,6	115,4	25,0	140,4	2,6	1.014.102,9	2.484,24	2.708,86	13.503,42	6.751.710,95	260.026,39	- 459.359,32	117.784,44	10.659.199,51	- 8.084.724,08	- 10.105.905,09	- 12.127.086,11	2.692.259,87	- 671.078,85	- 1.350.102,16	
9,5	39,1	43,2	109,3	25,0	134,3	2,7	1.059.954,3	2.627,49	2.903,30	15.031,74	7.515.872,40	271.783,15	- 413.507,95	106.027,68	9.895.038,06	- 7.277.739,86	- 9.097.174,83	- 10.916.609,79	2.723.325,88	903.890,91	- 915.544,05	
10,0	43,0	48,2	103,8	25,0	128,8	2,8	1.104.915,9	2.772,15	3.101,91	16.641,92	8.320.961,21	283.311,77	- 368.546,31	94.499,05	9.089.949,24	- 6.486.415,11	- 8.108.018,88	- 9.729.622,66	2.698.033,19	- 1.076.429,42	- 545.174,36	
10,5	47,1	53,3	98,9	25,0	123,9	2,9	1.149.013,5	2.918,26	3.304,69	18.333,98	9.166.990,84	294.618,83	- 324.448,77	83.191,99	8.243.919,61	- 5.710.298,39	- 7.137.872,98	- 8.565.447,58	2.616.813,22	- 1.189.238,62	- 238.335,97	
11,0	51,4	58,8	94,4	25,0	119,4	3,1	1.192.271,6	3.065,82	3.511,63	20.107,95	10.053.975,51	305.710,66	- 281.190,65	72.100,17	7.356.934,94	- 4.948.955,46	- 6.186.194,33	- 7.423.433,19	2.480.079,65	1.242.840,78	5.601,92	
11,5	55,8	64,6	90,3	25,0	115,3	3,2	1.234.714,0	3.214,86	3.722,70	21.963,86	10.981.930,07	316.593,34	- 238.748,21	61.217,49	6.428.980,39	- 4.201.968,47	- 5.252.460,59	- 6.302.952,71	2.288.229,41	- 1.237.737,29	187.245,17	
12,0	60,4	70,6	86,5	25,0	111,5	3,3	1.276.363,6	3.365,41	3.937,90	23.901,74	11.950.869,87	327.272,73	- 197.098,59	50.538,10	5.460.040,59	- 3.468.935,16	- 4.336.168,95	- 5.203.402,74	2.041.643,53	- 1.174.409,74	307.175,95	
12,5	65,1	76,9	83,1	25,0	108,1	3,4	1.317.242,4	3.517,46	4.157,23	25.921,62	12.960.810,69	337.754,47	- 156.219,78	40.056,35	4.450.099,76	- 2.749.468,16	- 3.436.835,20	- 4.124.202,24	1.740.687,96	- 1.053.320,91	365.953,87	
13,0	70,0	83,5	79,9	25,0	104,9	3,5	1.357.371,6	3.671,05	4.380,68	28.023,54	14.011.768,67	348.044,01	- 116.090,59	29.766,82	3.399.141,79	- 2.043.194,33	- 2.553.992,91	- 3.064.791,49	1.385.714,28	- 874.915,70	364.117,12	
13,5	75,1	90,4	76,9	25,0	101,9	3,6	1.396.771,7	3.826,17	4.608,23	30.207,52	15.103.760,18	358.146,58	- 76.690,57	19.664,25	2.307.150,28	- 1.349.754,06	- 1.687.192,57	- 2.024.631,08	977.060,47	- 639.621,96	302.183,44	
14,0	80,3	97,6	74,2	25,0	99,2	3,7	1.435.462,2	3.982,84	4.839,90	32.473,60	16.236.801,85	368.067,23	- 38.000,04	9.743,60	1.174.108,61	- 668.800,70	- 836.000,88	- 1.003.201,06	515.051,50	- 347.851,33	180.651,15	
14,5	85,7	105,1	71,6	25,0	96,6	3,8	1.473.462,2	4.141,07	5.075,66	34.821,82	17.410.910,46	377.810,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- Preço de Bunker igual a 700 US\$/ton

Velocidade	Consumo de Bunker [ton/dia]		Duração Navegando	Duração Porto	Duração Viagem	Nº Viagens /ano	Carga transportada/ano	Consumo Bunker [ton/viagem]		Consumo Bunker	Custo de Bunker	Custos Portuários	Quanto deixou de levar de carga	Economia Custos Portuários	Economia de Bunker	Afretamento de outras embarcações			Balança Total						
																17,60	22,00	26,40	Taxa de frete: 17,60 US\$/ton	Taxa de frete: 22,00 US\$/ton	Taxa de frete: 26,40 US\$/ton				
																[nós]	Lastro	Carga	[dias]	[dias]	[dias]		Lastro	Carga	[ton/ano]
7,0	22,2	22,8	148,3	25,0	173,3	2,1	821.250,0	1.924,68	1.973,28	8.208,21	5.745.750,13	210.576,92	-	652.212,22	167.233,90	18.629.524,51	-	11.478.935,16	-	14.348.668,95	-	17.218.402,74	7.317.823,26	4.448.089,47	1.578.355,68
7,5	25,2	26,3	138,4	25,0	163,4	2,2	870.938,1	2.062,64	2.150,80	9.409,34	6.586.540,22	223.317,47	-	602.524,09	154.493,36	17.788.734,42	-	10.604.423,94	-	13.255.529,93	-	15.906.635,91	7.338.803,83	4.687.697,85	2.036.591,86
8,0	28,4	30,1	129,8	25,0	154,8	2,4	919.623,1	2.201,85	2.332,59	10.692,24	7.484.569,70	235.800,81	-	553.839,08	142.010,02	16.890.704,94	-	9.747.567,73	-	12.184.459,66	-	14.621.351,59	7.285.147,23	4.848.255,30	2.411.363,37
8,5	31,8	34,2	122,2	25,0	147,2	2,5	967.335,1	2.342,37	2.518,61	12.056,93	8.439.850,08	248.034,64	-	506.127,11	129.776,18	15.935.424,56	-	8.907.837,22	-	11.134.796,53	-	13.361.755,83	7.157.363,52	4.930.404,21	2.703.444,90
9,0	35,4	38,6	115,4	25,0	140,4	2,6	1.014.102,9	2.484,24	2.708,86	13.503,42	9.452.395,33	260.026,39	-	459.359,32	117.784,44	14.922.879,31	-	8.084.724,08	-	10.105.905,09	-	12.127.086,11	6.955.939,68	4.934.758,66	2.913.577,64
9,5	39,1	43,2	109,3	25,0	134,3	2,7	1.059.954,3	2.627,49	2.903,30	15.031,74	10.522.221,36	271.783,15	-	413.507,95	106.027,68	13.853.053,28	-	7.277.739,86	-	9.097.174,83	-	10.916.609,79	6.681.341,10	4.861.906,13	3.042.471,17
10,0	43,0	48,2	103,8	25,0	128,8	2,8	1.104.915,9	2.772,15	3.101,91	16.641,92	11.649.345,70	283.311,77	-	368.546,31	94.499,05	12.725.928,94	-	6.486.415,11	-	8.108.018,88	-	9.729.622,66	6.334.012,89	4.712.409,11	3.090.805,34
10,5	47,1	53,3	98,9	25,0	123,9	2,9	1.149.013,5	2.918,26	3.304,69	18.333,98	12.833.787,18	294.618,83	-	324.448,77	83.191,99	11.541.487,46	-	5.710.298,39	-	7.137.872,98	-	8.565.447,58	5.914.381,06	4.486.806,47	3.059.231,87
11,0	51,4	58,8	94,4	25,0	119,4	3,1	1.192.271,6	3.065,82	3.511,63	20.107,95	14.075.565,72	305.710,66	-	281.190,65	72.100,17	10.299.708,92	-	4.948.955,46	-	6.186.194,33	-	7.423.433,19	5.422.853,63	4.185.614,76	2.948.375,89
11,5	55,8	64,6	90,3	25,0	115,3	3,2	1.234.714,0	3.214,86	3.722,70	21.963,86	15.374.702,09	316.593,34	-	238.748,21	61.217,49	9.000.572,54	-	4.201.968,47	-	5.252.460,59	-	6.302.952,71	4.859.821,56	3.809.329,45	2.758.837,33
12,0	60,4	70,6	86,5	25,0	111,5	3,3	1.276.363,6	3.365,41	3.937,90	23.901,74	16.731.217,82	327.272,73	-	197.098,59	50.538,10	7.644.056,82	-	3.468.935,16	-	4.336.168,95	-	5.203.402,74	4.225.659,77	3.358.425,98	2.491.192,19
12,5	65,1	76,9	83,1	25,0	108,1	3,4	1.317.242,4	3.517,46	4.157,23	25.921,62	18.145.134,97	337.754,47	-	156.219,78	40.056,35	6.230.139,67	-	2.749.468,16	-	3.436.835,20	-	4.124.202,24	3.520.727,86	2.833.360,82	2.145.993,78
13,0	70,0	83,5	79,9	25,0	104,9	3,5	1.357.371,6	3.671,05	4.380,68	28.023,54	19.616.476,13	348.044,01	-	116.090,59	29.766,82	4.758.798,51	-	2.043.194,33	-	2.553.992,91	-	3.064.791,49	2.745.371,00	2.234.572,42	1.723.773,83
13,5	75,1	90,4	76,9	25,0	101,9	3,6	1.396.771,7	3.826,17	4.608,23	30.207,52	21.145.264,25	358.146,58	-	76.690,57	19.664,25	3.230.010,39	-	1.349.754,06	-	1.687.192,57	-	2.024.631,08	1.899.920,58	1.562.482,07	1.225.043,55
14,0	80,3	97,6	74,2	25,0	99,2	3,7	1.435.462,2	3.982,84	4.839,90	32.473,60	22.731.522,59	368.067,23	-	38.000,04	9.743,60	1.643.752,05	-	668.800,70	-	836.000,88	-	1.003.201,06	984.694,95	817.494,77	650.294,60
14,5	85,7	105,1	71,6	25,0	96,6	3,8	1.473.462,2	4.141,07	5.075,66	34.821,82	24.375.274,64	377.810,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- Preço de Bunker igual a 900 US\$/ton

Velocidade	Consumo de Bunker [ton/dia]		Duração Navegando	Duração Porto	Duração Viagem	Nº Viagens /ano	Carga transportada/ano	Consumo Bunker [ton/viagem]		Consumo Bunker [ton/ano]	Custo de Bunker [US\$]	Custos Portuários [US\$]	Quanto deixou de levar de carga [ton/ano]	Economia Custos Portuários [US\$/ano]	Economia de Bunker [US\$/ano]	Afretamento de outras embarcações			Balanço Total						
																17,60	22,00	26,40	Taxa de frete: 17,60 US\$/ton	Taxa de frete: 22,00 US\$/ton	Taxa de frete: 26,40 US\$/ton				
																[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]				
[nós]	Lastro	Carga	[dias]	[dias]	[dias]		Lastro	Carga	[ton/ano]	[US\$]	[US\$]	[ton/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]	[US\$/ano]				
7,0	22,2	22,8	148,3	25,0	173,3	2,1	821.250,0	1.924,68	1.973,28	8.208,21	7.387.393,02	210.576,92	-	652.212,22	167.233,90	23.952.245,80	-	11.478.935,16	-	14.348.668,95	-	17.218.402,74	12.640.544,55	9.770.810,76	6.901.076,97
7,5	25,2	26,3	138,4	25,0	163,4	2,2	870.938,1	2.062,64	2.150,80	9.409,34	8.468.408,86	223.317,47	-	602.524,09	154.493,36	22.871.229,96	-	10.604.423,94	-	13.255.529,93	-	15.906.635,91	12.421.299,38	9.770.193,39	7.119.087,41
8,0	28,4	30,1	129,8	25,0	154,8	2,4	919.623,1	2.201,85	2.332,59	10.692,24	9.623.018,18	235.800,81	-	553.839,08	142.010,02	21.716.620,64	-	9.747.567,73	-	12.184.459,66	-	14.621.351,59	12.111.062,93	9.674.171,00	7.237.279,06
8,5	31,8	34,2	122,2	25,0	147,2	2,5	967.335,1	2.342,37	2.518,61	12.056,93	10.851.235,82	248.034,64	-	506.127,11	129.776,18	20.488.403,00	-	8.907.837,22	-	11.134.796,53	-	13.361.755,83	11.710.341,96	9.483.382,66	7.256.423,35
9,0	35,4	38,6	115,4	25,0	140,4	2,6	1.014.102,9	2.484,24	2.708,86	13.503,42	12.153.079,71	260.026,39	-	459.359,32	117.784,44	19.186.559,11	-	8.084.724,08	-	10.105.905,09	-	12.127.086,11	11.219.619,48	9.198.438,46	7.177.257,44
9,5	39,1	43,2	109,3	25,0	134,3	2,7	1.059.954,3	2.627,49	2.903,30	15.031,74	13.528.570,32	271.783,15	-	413.507,95	106.027,68	17.811.068,50	-	7.277.739,86	-	9.097.174,83	-	10.916.609,79	10.639.356,32	8.819.921,36	7.000.486,39
10,0	43,0	48,2	103,8	25,0	128,8	2,8	1.104.915,9	2.772,15	3.101,91	16.641,92	14.977.730,18	283.311,77	-	368.546,31	94.499,05	16.361.908,64	-	6.486.415,11	-	8.108.018,88	-	9.729.622,66	9.969.992,59	8.348.388,81	6.726.785,03
10,5	47,1	53,3	98,9	25,0	123,9	2,9	1.149.013,5	2.918,26	3.304,69	18.333,98	16.500.583,52	294.618,83	-	324.448,77	83.191,99	14.839.055,30	-	5.710.298,39	-	7.137.872,98	-	8.565.447,58	9.211.948,91	7.784.374,31	6.356.799,71
11,0	51,4	58,8	94,4	25,0	119,4	3,1	1.192.271,6	3.065,82	3.511,63	20.107,95	18.097.155,92	305.710,66	-	281.190,65	72.100,17	13.242.482,90	-	4.948.955,46	-	6.186.194,33	-	7.423.433,19	8.365.627,60	7.128.388,74	5.891.149,87
11,5	55,8	64,6	90,3	25,0	115,3	3,2	1.234.714,0	3.214,86	3.722,70	21.963,86	19.767.474,12	316.593,34	-	238.748,21	61.217,49	11.572.164,70	-	4.201.968,47	-	5.252.460,59	-	6.302.952,71	7.431.413,72	6.380.921,60	5.330.429,48
12,0	60,4	70,6	86,5	25,0	111,5	3,3	1.276.363,6	3.365,41	3.937,90	23.901,74	21.511.565,76	327.272,73	-	197.098,59	50.538,10	9.828.073,06	-	3.468.935,16	-	4.336.168,95	-	5.203.402,74	6.409.676,00	5.542.442,21	4.675.208,42
12,5	65,1	76,9	83,1	25,0	108,1	3,4	1.317.242,4	3.517,46	4.157,23	25.921,62	23.329.459,25	337.754,47	-	156.219,78	40.056,35	8.010.179,57	-	2.749.468,16	-	3.436.835,20	-	4.124.202,24	5.300.767,77	4.613.400,72	3.926.033,68
13,0	70,0	83,5	79,9	25,0	104,9	3,5	1.357.371,6	3.671,05	4.380,68	28.023,54	25.221.183,60	348.044,01	-	116.090,59	29.766,82	6.118.455,22	-	2.043.194,33	-	2.553.992,91	-	3.064.791,49	4.105.027,71	3.594.229,13	3.083.430,55
13,5	75,1	90,4	76,9	25,0	101,9	3,6	1.396.771,7	3.826,17	4.608,23	30.207,52	27.186.768,32	358.146,58	-	76.690,57	19.664,25	4.152.870,50	-	1.349.754,06	-	1.687.192,57	-	2.024.631,08	2.822.780,69	2.485.342,18	2.147.903,66
14,0	80,3	97,6	74,2	25,0	99,2	3,7	1.435.462,2	3.982,84	4.839,90	32.473,60	29.226.243,33	368.067,23	-	38.000,04	9.743,60	2.113.395,49	-	668.800,70	-	836.000,88	-	1.003.201,06	1.454.338,39	1.287.138,21	1.119.938,04
14,5	85,7	105,1	71,6	25,0	96,6	3,8	1.473.462,2	4.141,07	5.075,66	34.821,82	31.339.638,82	377.810,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-