



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

CARLA BISPO MENDES

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE
DIRIGÍVEIS NO TRANSPORTE DE CARGAS INDIVÍSIVEIS
E VOLUMOSAS EM SITUAÇÕES DE DIFÍCIL ACESSO



SALVADOR
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLÍTECNICA
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

CARLA BISPO MENDES

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE
DIRIGÍVEIS NO TRANSPORTE DE CARGAS INDIVÍSIVEIS
E VOLUMOSAS EM SITUAÇÕES DE DIFÍCIL ACESSO**

SALVADOR-BA
2019

CARLA BISPO MENDES

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE
DIRIGÍVEIS NO TRANSPORTE DE CARGAS INDIVÍSIVEIS
E VOLUMOSAS EM SITUAÇÕES DE DIFÍCIL ACESSO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, da Universidade Federal da Bahia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientador: Herman Augusto Lepikson, Dr.Eng.

SALVADOR-BA
2019

A553

Mendes, Carla Bispo

Análise Técnica e Econômica da Utilização de Dirigíveis no Transporte de Cargas Indivisíveis e Volumosas em Situações de Dificil Acesso/ Carla Bispo Mendes. – Salvador, 2019.

112f.: il. color.

Orientador: Herman Augusto Lepikson

Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2019.

Referências: 55-58.

1.Dirigível. 2.Logística. 3. Carga Indivisível e Volumosa I. Herman Lepikson. II. Universidade Federal da Bahia.

CDD.: 665.7

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE DIRIGÍVEIS NO TRANSPORTE DE CARGAS INDIVÍSIVEIS E VOLUMOSAS EM SITUAÇÕES DE DIFÍCIL ACESSO

CARLA BISPO MENDES

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Herman Augusto Lepikson

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Santa Catarina, Brasil, 1998.

Prof. Carlos Arthur Mattos Teixeira Cavalcante

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil, 1999.

Prof. Francisco Uchoa Passos

Doutor em Administração pela Universidade de São Paulo (USP), São Paulo Brasil, 2000.

Salvador, BA - BRASIL
Setembro/2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que me sustenta e me dá forças todos os dias para seguir em frente com minhas inseguranças.

Agradeço aos meus familiares pelo constante apoio e encorajamento diário, em especial minha tia Áurea Barros por se dispor a corrigir palavra por palavra dessa dissertação e ao meu noivo Erisvaldo Costa pela paciência e amor.

Aproveito também para recordar o apoio dos amigos que se fizeram presentes nos momentos de dúvidas e necessidade de acalento, em especial Tiago França, Cassia Macedo e Isabela Cerqueira. As companheiras que o Programa de Engenharia Industrial me concedeu, Izete Silva e Erika Tuany Carvalho e a Rodrigo Santos Silva, por estar sempre disposta a responder às minhas perguntas.

Aos professores Msc Rodrigo Luz, Dr Roberto Musser e Dr José Fontoura, pelo incentivo, também ao meu orientador Dr Herman Lepikson pelo direcionamento no decorrer da construção desta dissertação.

Agradeço também Michael Stewart, chefe executivo da *Skybrid Technologies Ltda*, por contribuir com informações importantes ao desenvolvimento deste trabalho. E minha eterna gratidão aos que contribuíram direta e indiretamente para essa conquista.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB - Código de Financiamento 001.

“Nessa busca constante por conhecimento, só sei que nada sei”

(Adaptado de Sócrates).

“Não vale a pena viver sonhando e esquecer de viver”.
(Harry Potter e a Pedra Filosofal)

RESUMO

O transporte de carga indivisível e volumosa no Brasil é limitado pela magnitude das dimensões de peso e tamanho da carga permitidos por lei. Somado a isso, a infraestrutura logística possui muitos problemas desde as questões burocráticas até a falta de manutenção nas vias, portos e aeroportos. Tais problemas dificultam o transporte e em locais de difícil acesso podem inviabilizar projetos devido ao alto custo. Propor os dirigíveis para o transporte de carga não é algo novo, mas havia sido desconsiderado por conta das limitações técnicas, contudo, graças aos mais recentes avanços tecnológicos, dirigíveis podem vir a ser uma alternativa de atuação em nichos nos quais as condições logísticas sejam desfavoráveis ao transporte convencional, onde a construção de vias de acesso se faça necessária por conta da dimensão da carga ou até mudança de rota, ou por conta de passarelas e torres que dificultam a passagem do transporte. Os dirigíveis apresentam redução de emissões de gases do efeito estufa e dependência mínima de infraestrutura para pouso e operações de carga/descarga. Este trabalho faz uma análise entre os modais de transporte convencionais e os dirigíveis e, num segundo momento, uma análise econômica comparativa entre o dirigível e o modal rodoviário. A partir dessas análises pode-se perceber que, no cenário proposto, o dirigível pode ser uma alternativa viável tanto economicamente quanto tecnicamente.

Palavras-chave: Dirigível; Logística; Carga Indivisível.

ABSTRACT

Transportation of bulky loads in the Brazilian territory demands stiff planning due to cargo dimension and weight that trespasses what is permitted by law. Added to that, logic infrastructure has many problems, from bureaucratic issues to lack of maintenance on roads, ports and airports. Such problems can hinder transportation and, in difficult access locations, can make projects unfeasible due to high costs. Proposing airships for cargo transportation is not new, but it has been disregarded because of its existing technical limitations. Today, thanks to the latest technological advances, airships can prove to be a niche alternative for acting in niches in which logistics conditions are adverse to conventional transportation, where access ways are necessary due to cargo dimension or even route change or due to walkways and towers, which hinder transportation. Airships can be an intermediate solution between speed and cost, as well as the reduction of greenhouse gas emissions and minimal dependence of landing and loading/unloading infrastructure. This paper does a technical comparison between aircrafts and highway models. From these analyzes it is possible to conceive that airships can be a viable alternative both economically and technically.

Keywords: Airship; Logistics; Bulk Loads.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estudo Estrutural da Obra de Arte.....	21
Figura 2 - Conjunto Transportador Específico para o Transporte de Carga Indivisível.....	22
Figura 3 - Exemplos de Envelope.....	27
Figura 4 - Walrus HULA.....	30
Figura 5 - P-971.....	31
Figura 6 - Configuração de um Dirigível Híbrido de Hidrogênio.....	31
Figura 7 - Princípio de Operação de um Dirigível de Elevação Aerostática.....	32
Figura 8 - Funcionamento de Balonetes em um Dirigível com Sustentação Aerostática.....	33
Figura 9 - Representação das Perdas do Dirigível e Sistema de Lastro de Água.....	34
Figura 10 - Aterrisagem de um Dirigível.....	35
Figura 11 - Conceito de Elevação Híbrida.....	35
Figura 12 - Uso da Vetorização de Empuxo para Aumentar ou Reduzir as Forças de Levantamento.....	36
Figura 13 - Protótipo El/SI-100.....	40
Figura 13 - Elementos Básicos da Estrutura do AHP.....	44
Figura 14 - Custo dos Modais de Transporte.....	50
Figura 16 - Trajeto Marítimo e Aéreo.....	51
Figura 17 - Transporte Rodoviário de uma Pá Eólica.....	53
Figura 18 - Movimentação Intermodal e Movimentação do Dirigível.....	54
Figura 19 - Estrutura da AHP para Escolha do Modal.....	61
Figura 20 - Esquema de Tipos de Custos.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Grau de Insatisfação dos Usuários.....	18
Quadro 2 - Densidade de Alguns Gases (Nível do Mar)	25
Quadro 2 - Materiais Sintéticos para Fabricação do Envelope.....	27
Quadro 3 - Testes Realizados nos Envelopes.....	29
Quadro 4 - Fatores de Influência nos Custos Logísticos	41
Quadro 6 - Escala do Julgamento de Importância do Método AHP.....	44
Quadro 7 - R\$/ton.km no Percurso.....	51
Quadro 8 - R\$/ton.km– Transporte de 4 pás eólicas	52
Quadro 9 - Velocidade dos Modais.....	53
Quadro 10 - Tempo para o Transporte de 4 Pás Eólicas até o Destino Final.....	54
Quadro 11 - Tarifas para Utilização do Porto.....	55
Quadro 12 - Tarifas para Utilização das Rodovias.....	56
Quadro 13 - Tarifas Aeroportuárias Utilizadas nos Cálculos dos Preços Aplicáveis aos Serviços na Carga Nacional, Courier e Internação.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Custo Variavel/Km do SI-100	74
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos de Híbridos.....	39
Tabela 2 - Valores do Índice Randômico.....	46
Tabela 3 - Características Operacionais dos Transportes.....	48
Tabela 4 - Quantidade de Viagens para o Transporte de 4 pás.....	52
Tabela 5 - Composição dos Gases nos Combustíveis.....	58
Tabela 6 - Fator de Emissão dos Veículos.....	59
Tabela 2 - Matriz Comparativa - Critérios.....	62
Tabela 3 - Verificação da Consistência.....	62
Tabela 4 - Matriz Comparativa - Custo.....	63
Tabela 5 - Matriz Comparativa - Tempo em Trânsito.....	63
Tabela 6 Matriz Comparativa - Instalação Logística.....	63
Tabela 7: Verificação da Consistência do Critério Instalação Logística.....	64
Tabela 8 - Matriz Comparativa - Capacidade de Carga.....	64
Tabela 9 - Verificação da Consistência da Capacidade de Carga.....	64
Tabela 10 - Matriz Decisão.....	65
Tabela 11 - Composição de Custo de Operação do SI-100 para Transporte de 4 pás eólicas.....	68
Tabela 12 - Composição de Custo Caminhão Truck L para Transporte de 1 pá eólica.....	71
Tabela 18 - Construção de Via x Desmatamento.....	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Vol	Volume
ρ_a	Densidade do ar
$\rho_{gás}$	Densidade do gás
F	Empuxo
C_{laero}	Coefficiente de Elevação Aerodinâmica
L_{aero}	Elevador Aerodinâmico $C_{laero} =$
ρ_a	Densidade do ar
V	Velocidade
S_{aero}	Área Característica do Elevador Aerodinâmico
C_{lbuoy}	Coefficiente de elevação Flutuante
C_l	Coefficiente de Elevação Total
C_{laero}	Coefficiente de Elevação Aerodinâmica
CO_2	Dióxido de Carbono
N_2O	Óxido Nitroso
CH_4	Metano

LISTA DE ACRÔNIMOS

VTOL	<i>Vertical Take-off and Landing</i> - Pouso e Decolagem Verticalmente
STOL	<i>Short Take-off and Landing</i> - Decolagem e Aterrisagem Curtas
AET	Autorização Especial de Trânsito
DER	Departamento Estadual de Rodagem
CET	Companhia de Engenharia e Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Trânsito
PIB	Produto Interno Bruto
FDC	Fundação Dom Cabral
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
CNT	Confederação Nacional de Transporte
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i> - Administração de Aviação Federal
FAR	<i>Federal Aviation Regulations</i> - Regulamento de Aviação Federal
LTA	<i>Lighter than air</i> - Mais Leve que o Ar
HLVs	<i>Heavy Lift Vehicles</i> - Veículos de Elevação Pesada
DHs	Dirigíveis Híbridos
LH2	Hidrogênio Líquido
DCs	Dirigíveis Convencionais
DC	Dirigível Convencional
DH	Dirigível Híbrido
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
GEE	Gases do Efeito Estufa
GNL	Gás Natural Liquefeito
AVTUR	Querosene de Aviação
HGV	<i>Heavy Goods Vehicle</i> - Veículo Pesado de Mercadoria
HTA	<i>Heavier Than Air</i> - Mais Pesado que o Ar

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	17
1.INTRODUÇÃO	17
1.1 MOTIVAÇÃO	17
1.2 OBJETIVOS	22
1.2.1 Geral	22
1.2.2 Específicos	23
CAPÍTULO 2	24
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE	24
2.1 SEGURANÇA	25
2.2 ENVELOPE.....	26
2.3 NOVOS CONCEITOS DE DIRIGÍVEIS	30
2.4 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DOS DIRIGÍVEIS CONVENCIONAIS.....	32
2.5 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DOS DIRIGÍVEIS HÍBRIDOS.....	35
2.6 LEGISLAÇÃO PARA OS DIRIGÍVEIS.....	38
2.7 ESCOLHA DO DIRIGÍVEL.....	39
2.8 ANÁLISE DA VIABILIDADE PARA ESCOLHA DO TRANSPORTE	40
CAPÍTULO 3	43
3 METODOLOGIA	43
CAPÍTULO 4	48
4 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS	48
4.1 CUSTO.....	49
4.2 VELOCIDADE.....	53
4.3 CONFIABILIDADE (CONDIÇÕES CLIMÁTICAS)	57
4.4 PEGADA DE CARBONO.....	58
4.5 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS PARA ESCOLHA DO MODAL.....	61
4.6 ANÁLISE ECONÔMICA	65

4.6.1 Custo Operacional do Dirigível	65
4.6.2 Custo Operacional do Modal Rodoviário	69
4.7 DESVANTAGENS DO DH	73
CAPÍTULO 5	75
5 CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	77
ANEXO A - AET	86
ANEXO B - TABELA DE VALORES DE K	87
APÊNDICE A - SALÁRIOS	88
APÊNDICE B - PRODUÇÃO ACADÊMICA	89

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura logística brasileira apresenta alguns fatores que dificultam o transporte de carga no país, dentre eles estão: o desequilíbrio da matriz de transporte, deterioração da infraestrutura, deficiência na regulação do setor, demora no processo de licenciamento ambiental e déficit nos investimentos, fatores esses que afetam o crescimento e o perfil industrial (MARINHO, 2013). No setor de transporte de cargas volumosas e indivisíveis, a influência desses elementos se agrava devido às dimensões das cargas que ultrapassam o permitido por lei.

Propor os dirigíveis a esse setor pode trazer vantagens tanto econômicas quanto técnicas, os mesmos apresentam características de pouso e decolagem vertical (*VTOL - Vertical Take-off and Landing*) e decolagem e aterrissagem curtas (*STOL - Short Take-off and Landing*), que podem influenciar no custo de operação, dispensando a construção de infraestrutura, de pontos de ligação e redução do tempo de realização da operação.

1.1 MOTIVAÇÃO

O histórico de investimentos em infraestrutura é baixo e apresentou pequenas variações no decorrer dos anos. Nas décadas de 1980 e 1990 a parcela do PIB (Produto Interno Bruto) destinada a infraestrutura foi cerca de 0,2% e em 2016 foi de 0,6%, um aumento de pouco impacto para as questões de infraestrutura (NETO; SILVA, 2016). O baixo investimento no setor resulta em longas filas de caminhões e navios nos portos, alto preço dos fretes, precárias condições das estradas e ferrovias, refletindo na baixa competitividade das empresas em âmbito nacional e internacional (PBLOG, 2013).

No ano de 2015, o Brasil apresentou uma queda de 18 posições no relatório global de competitividade ocupando a posição de 75º em uma análise com 140 países. Tais problemas proporcionam um elevado grau de insatisfação por parte dos usuários das vias como mostrado no quadro 1 (FDC, 2015a; FDC, 2015b).

Quadro 5 - Grau de Insatisfação dos Usuários

Modal	Classificação	Usuários Insatisfeitos (%)
Aéreo	Razoável	45%
Ferroviária	Péssimo	58%
Portuária	Ruim	45%
Rodoviária	Ruim	52%

Fonte: Adaptado de FDC (2015b)

No geral o transporte marítimo é responsável por 14% do transporte de carga e sua classificação foi considerada ruim na pesquisa realizada pelo FDC - Fundação Dom Cabral, 2015 e de acordo com o IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2010) é comum encontrar um ou mais desses problemas nos portos brasileiros:

- 1) Congestionamento de caminhões dentro da área do porto;
- 2) Estrutura ferroviária do porto: as ferrovias atrapalham o trânsito gerando congestionamento de caminhões com trens;
- 3) Entraves burocráticos;
- 4) Dificuldade de acesso rodoferroviário para chegar ao porto;
- 5) Falta de espaço e de retroáreas¹ para armazenamento de contêineres;
- 6) Terno de 12 homens: sob a tutela do operador portuário, que é um órgão privado, este sistema trabalhista eleva custos pelo emprego desnecessário de contingente excessivo de mão de obra;
- 7) Áreas nobres ocupadas por produtos com pouco valor agregado.

O modal rodoviário realiza 61% do transporte de carga no país e apresentou a segunda pior classificação em infraestrutura, como destacado no quadro 1. Apesar de uma participação expressiva no transporte de carga, o CNT - Confederação Nacional do Transporte em 2016 estudou 103.259 km de rodovias incluindo todas as federais e principais estaduais do Brasil e

¹ Retroporto ou retroárea de um porto, é uma área adjacente ao porto organizado destinada a suprir as deficiências de área de armazenagem do porto. É utilizada muitas vezes até para desembarço aduaneiro (Antaq, 2009).

evidenciou que 58,2% das rodovias apresentam algum tipo de problema em estado geral e nas individualidades 48,3% das rodovias possuem deficiências em pavimentação; 51,7% em sinalização e 77,9% em geometria da via.

Além disso, há uma desigualdade na distribuição da malha rodoviária brasileira, seja por questões geográficas, históricas ou uma combinação de diversos fatores que contribuem para desenvolvimento de algumas regiões mais do que outras. Assim, o norte e nordeste obtiveram maiores índices de deficiência na infraestrutura em relação às demais regiões com 76,6% e 63,1% de suas vias apresentando algum tipo de problema, enquanto sul, centro-oeste e sudeste obtiveram 59,3%, 59,3% e 44,6% respectivamente.

A baixa qualidade das rodovias provoca elevação dos custos operacionais, potencializa a ocorrência de acidentes, redução do desempenho dos veículos e qualidade dos serviços prestados, além de aumentar os impactos ambientais (CNT, 2016). Os problemas de pavimentação podem gerar uma elevação média de 24,9% do consumo de combustível. Em 2016 foi estimado um consumo de 774,88 milhões de litros de diesel decorrente desses problemas, “isso representa um incremento de 2,07 MtCO₂ emitidos pela combustão de óleo diesel” (CNT, 2016). O resultado é o aumento das emissões de gases do efeito estufa e elevação do preço final repassado aos clientes.

Os custos para recuperação da infraestrutura são altos. Para a recuperação dos portos são necessários R\$ 42,88 bilhões para realização de 265 obras que envolvem construção, ampliação e recuperação de áreas portuárias; obras de acessos terrestres; dragagem e derrocamento e outras obras de infraestrutura. Essas demandas e investimentos foram cotados em 2008 com o objetivo de melhorar a situação dos portos até o ano de 2025, mas de acordo com a pesquisa realizada pelo FDC em 2015, 45 % dos usuários estão insatisfeitos com a situação portuária, mesmo após 7 anos de investigação dos problemas (IPEA, 2010).

Assim como no modal marítimo, no modal rodoviário são necessários um total de R\$ 292,54 bilhões que englobam: recuperação de pavimentos desgastados, adequação da capacidade das vias (duplicação) e construção e pavimentação.

Quando se trata de carga indivisível e volumosa, além do impacto da questão da infraestrutura para realização da movimentação da carga, tem-se também a questão burocrática.

Carga indivisível e volumosa é uma carga unitária representada por uma única peça estrutural ou por um conjunto de peças fixadas por rebiteagem, solda ou outro processo, para fins de utilização direta como peça acabada (...) e suas dimensões e/ou peso ultrapassam os limites fixados pelo CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito (CAMPOS; RISSARDO, 1987).

Como exemplo tem-se peças de geradores eólicos, tubulações de gasoduto, torres de telecomunicações, assim como cargas para perfuração e exploração de petróleo em alto mar. No Brasil, os modais que possuem maior participação no transporte de cargas indivisíveis e volumosas são o rodoviário e o marítimo.

De acordo com Capó (2005, p. 25), o transporte desse tipo de carga exige um planejamento minucioso para sua execução, como mencionado abaixo:

1. Vistoria na peça a ser transportada;
2. Verificação dos principais e possíveis pontos de apoio e amarração;
3. Especificação do tipo de veículo ou equipamento mais adequado para efetuar o transporte da carga especial;
4. Estudo de viabilização do trajeto - análise do gabarito horizontal e vertical. Em alguns casos, avaliação das obras de arte (ex: pontes) por meio de laudo estrutural a ser confeccionado por uma empresa de engenharia especializada;
5. Apoio das concessionárias de serviços públicos que acompanham as travessias nas rodovias, como: energia elétrica, telefonia, televisão a cabo, via férrea, rede semaforico etc.;
6. Consulta aos órgãos - Departamento Estadual de Rodagem - DER, Companhia de Engenharia de Trânsito - CET, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT;
7. Obtenção prévia da Autorização Especial de Trânsito - AET (Anexo A);
8. Acompanhamento de escolta.

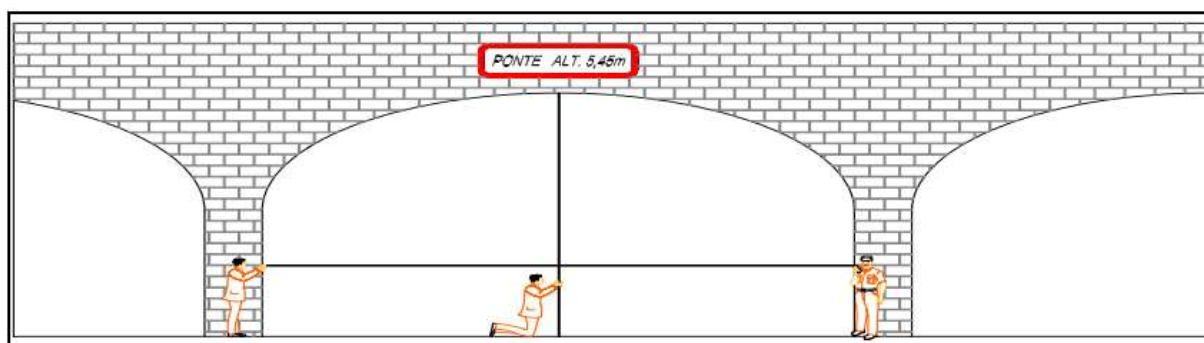
Caso não se tenha uma AET, a carga não pode se movimentar em vias brasileiras, esse documento é concedido conforme a resolução 2264/81 do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - DNER - e demais regulamentos administrativos do Departamento Nacional de

Infraestrutura e Transporte - DNIT, e de acordo *Capo apud* Guia do Transporte Rodoviário de Cargas (2004, p. 26) o requerimento deverá ser acompanhado da seguinte documentação:

- I. Projeto do veículo transportador e da carga, assinado pelo responsável técnico, apresentando os seguintes detalhes: - dimensões e peso do veículo com a carga; - posicionamento e amarração da carga; - distribuição de peso por eixo ou conjunto de eixos;
- II. Manifesto da carga, catálogos, ou declaração do fabricante da peça, para fins de comprovação do peso;
- III. Cópia do alvará ou da declaração provisória de inscrição no Departamento Nacional de Estradas e Rodagem para este tipo de transporte;
- IV. Estudo de Viabilidade do Percurso.

Conhecer a geometria da via e fazer o estudo do trajeto para identificação de pontes e viadutos através de uma análise da viabilidade técnica e estrutural da obra de arte (Figura 1) permitem compreender o trajeto escolhido e se seria necessária uma mudança de rota. Caso seja possível, é fundamental o contato prévio com órgãos competentes para programar e ter conhecimento das normas que regem a rodovia específica (por exemplo quanto a restrição de horário) que pode variar de estado para estado e até de uma cidade para outra. Caso a carga ultrapasse as dimensões das cabines de pedágios também é necessário combinar com a concessionária para a passagem do conjunto transportador (CAPO, 2005).

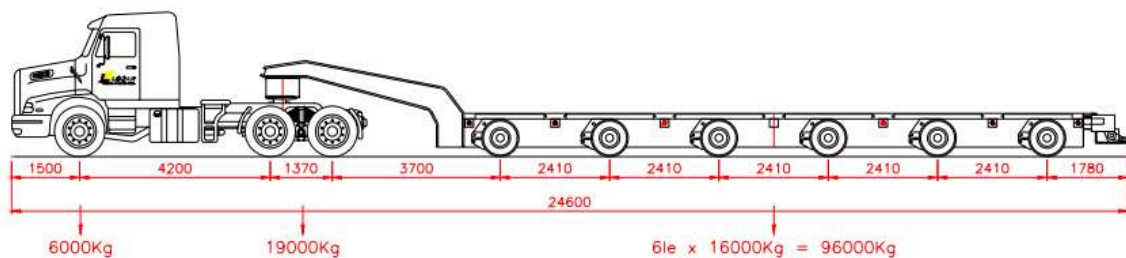
Figura 5 - Estudo Estrutural da Obra de Arte



Fonte: *Capo apud* Locar (2004)

O veículo (Figura 2) responsável pela movimentação da carga deve cumprir as exigências impostas, “...veículos e equipamentos adequados, devem apresentar estruturas, estado de conservação e potência motora compatíveis com a força de tração a ser desenvolvida..., atendendo a distribuição de peso por eixo...” (CAPO, 2005, p. 27).

Figura 6 - Conjunto Transportador Específico para o Transporte de Carga Indivisível



Linha de eixo "pescoço" de 6 eixos

Fonte: Capó *apud* Locar (2004)

A movimentação desse tipo de carga dispense muita energia para sua execução, por isso esse trabalho propõe os dirigíveis nesse segmento. O uso do dirigível pode trazer ganhos econômicos, desburocratização do transporte e redução de tempo, visto que, a infraestrutura necessária é mínima, podem viajar por mar ou terra no formato de entrega ponto a ponto (da origem ao destino final) e em locais de difícil acesso e sem necessidade de infraestrutura especializada na origem, percurso ou destino (PRENTICE, 2009).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Fazer uma comparação técnica/econômica da utilização de dirigíveis no transporte de cargas indivisíveis e volumosas em situação de difícil acesso.

1.2.2 Específicos

- Levantar informações a respeito dos problemas logísticos dos transportes convencionais de cargas volumosas e indivisíveis.
- Analisar e comparar tecnicamente diferentes meios de transporte de cargas e os dirigíveis;
- Analisar e comparar economicamente os dirigíveis e o modal rodoviário;

CAPÍTULO 2

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE

Os primeiros balões dirigíveis guiados foram projetados e construídos pelo brasileiro Alberto Santos Dumont. Esses veículos aéreos independem da força aerodinâmica ao redor das asas e tinham capacidade de gerar sustentação com voos controlados e motorizados e no início do século XX foram denominados de gigantes dos céus (ILIEVA, 2014).

Dentre os modelos existentes, as aeronaves produzidas pela empresa *Luftschiffbau Zeppelin* do Conde Ferdinand von Zeppelin tiveram notoriedade e grandes participações na Primeira Guerra Mundial e nos transportes intercontinentais. Um dos grandes destaques foi o LZ-129 ou *Hindenburg* a maior aeronave já produzida com 240 m de comprimento, 50 m de largura, capacidade para 70 passageiros e uma tripulação mínima de 30 pessoas, mas, em 1937 por conta de um incêndio, as atividades de transportes intercontinentais e de cargas tiveram fim (STOCKBRIDGE et al., 2012; GOMES, 2012).

O estigma instituído pelo acidente limitou as aeronaves apenas para propaganda, porém, com o desenvolvimento tecnológico, novos motores, sistemas avançados de controle e engenharia e a disponibilidade de materiais mais resistentes, porém, mais leves e seguros, despertaram o interesse de empresas para atuação desses veículos em diversos setores.

Os sistemas e componentes atuais são altamente avançados em comparação com a tecnologia dos anos 30. O controle de voo por exemplo, era em grande parte mecânico e a liberação de lastro e válvulas do gás de elevação eram manuais. Atualmente, o sistema de controle *fly-by-wire* que é comum em aviões e helicópteros foi introduzido ao dirigível (ARDEMA, 1977). A utilização desse sistema trouxe diversos benefícios dentre eles a estabilização automática da aeronave (COLLINSON, 2011).

Com o progresso no desenvolvimento de componentes eletrônicos tornou-se também possível a introdução de muitos dispositivos de navegação, tais como VOR / DME / ILS, TACAN, radar, LORAN e OMEGA que são sistemas aviônicos de rádio navegação e são utilizados para comandar ou gerenciar múltiplas funções, tais como sistemas de navegação e comunicação, piloto automático, sistemas de controle de voo e torres de comando (ARDEMA, 1977, p. 3).

2.1 SEGURANÇA

Uma das exigências de segurança da FAA (*Federal Aviation Administration* - Administração da Aviação Federal dos EUA) juntamente com a FAR (*Federal Aviation Regulations* - Regulamentação da Aviação Federal dos EUA), foi a não utilização do hidrogênio como gás de elevação para uso apenas do hélio. O hidrogênio possui densidade menor que a do hélio (gás inerte) quando comparado ao ar atmosférico (Quadro 2) e 8% a mais de capacidade de elevação, contudo quando em contato com o ar torna-se inflamável e o risco de vazamento de gás não pode ser descartado (CARICHNER; NICOLAI, 2013).

Quadro 6 - Densidade de Alguns Gases (Nível do Mar)

Gases	Densidade
Ar	1,201 Kg/m ³
Hélio	0,1778 Kg/m ³
Hidrogênio	0,09002 Kg/m ³

Fonte: Carichner e Nicolai (2013)

Além dessa mudança, foram instituídos também algumas normas e procedimentos que são tão rígidas quanto às das aeronaves de asa fixa. Alguns documentos e certificações são apresentados abaixo:

1. FAA-P-8110-2: Critérios de Design de Dirigíveis - prescrevem requisitos de aeronavegabilidade aceitáveis, aplicáveis a dirigíveis convencionais e não rígidos. Estes critérios são aplicáveis aos dirigíveis certificados na categoria que tenham uma configuração de assentos para passageiros de nove assentos ou menos, excluindo os assentos do piloto. Requisitos adicionais podem ser necessários para cobrir características de projeto do dirigível ou características operacionais não previstas neste documento (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 1995).
2. AC 21.17 - 1 A: Circular Consultiva - Certificação de tipo de dirigíveis (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION

ADMINISTRATION, 1992).

3. CS - 30 N: Certificação da agência europeia para a segurança da aviação para dirigíveis de categoria normal (CARICHNER; NICOLAI, 2013).
4. CS - 30 T: Certificação da agência europeia para a segurança da categoria de transporte (CARICHNER; NICOLAI, 2013).

Apesar da rigidez para atestar a segurança do veículo, ainda há uma diferença em quantidades de certificações entre as aeronaves convencionais e dirigíveis, contudo, levando em conta o contexto de desenvolvimento das aeronaves LTA² (*Lighter than air* - mais leve que o ar) é previsível o aumento de especificações à medida que ganharem espaço.

2.2 ENVELOPE

O envelope consiste em um composto laminado que pode ter 3 ou mais camadas. Dentre essas camadas, pelo menos uma terá função de impermeabilidade, impedindo o vazamento do gás, em geral hélio, uma camada que suporta as variações de temperatura e uma camada que seja resistente a rasgo para suportar a exposição a longas horas de voo sob sol, chuva ou mesmo granizo. Sendo assim, para que desempenhe bem a sua função o material deve ter: leveza, baixo vazamento de gás, flexibilidade a baixa temperatura, alta resistência a rasgo e facilidade de fabricação e vedação.

Inicialmente, o algodão emborrachado foi o material utilizado na fabricação dos envelopes. Por ser pesado, limitava que as aeronaves LTA alcançassem grandes altitudes (SONAWANE et al., 2014). O avanço tecnológico permitiu a fabricação de materiais sintéticos (Quadro 3) que proporcionam leveza e influenciam diretamente no desempenho do veículo.

² Os dirigíveis são enquadrados como uma categoria específica dentre as aeronaves LTA, que inclui também, entre outros, os balões de recreação, tripulados ou não.

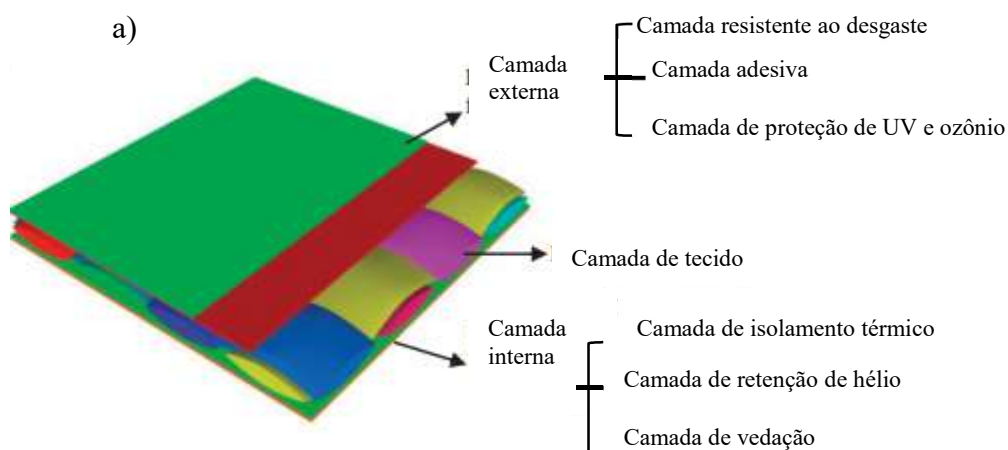
Quadro 7 - Materiais Sintéticos para Fabricação do Envelope

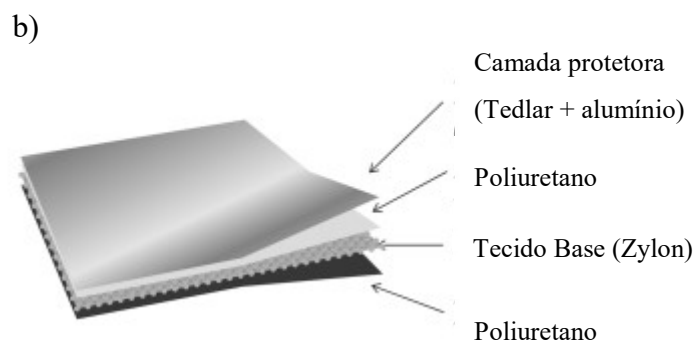
Fibra	Tipo
Dracon	Poliéster
Nylon	Poliamida
Kevlar	Aramida
Vectran	Polímero de cristal líquido
Spectra	UHMWPE (S-2000)
Carbon	PAN (T 1000)
Zylon	PBO
Dyneema	UHMWPE
Spectra	Fibra de vidro (S-2)
Titanium	(Ref)

Fonte: Carichner e Nicolai (2013).

Como exemplo de envelope, tem-se o desenvolvido por Meng et al (2016), com 10 camadas e espessura de 0,16 mm que inclui camadas de função externa, camada de tecido (fibra kevlar) e camadas de função interna (Figura 3a) e o desenvolvido por Maekawa et al (2008) (Figura 3b) que desenvolveu um envelope de 4 camadas e o tecido base é o zylon.

Figura 3 - Exemplos de Envelope





Fonte: Meng et al (2016); Maekawa et al (2008).

De acordo com Ortega (2006) a fibra Zylon é um polímero cristalino rígido de alto desempenho poli (p-fenileno-2,6-benzobisoxazol) e dentre as principais características estão: grande estabilidade, não absorção de umidade, resistência a abrasão e resistência a altas temperaturas.

Ortega (2006) também comenta que o Kevlar é composto por um polímero constituído por longas cadeias de amidas aromáticas chamadas poli-parafenilenotereftalamida com orientação radial, orientação esta que provoca um alto grau de simetria e regularidade. Essa regularidade cristalina é o fator que mais contribui para a resistência do kevlar; o mesmo é cinco vezes mais resistente que uma chapa de aço do mesmo peso, sendo ao mesmo tempo mais leve. Dentre as principais características estão: resistência a altas temperaturas, baixa condutividade elétrica e alta resistência a corte.

Para assegurar que o material atenda todos os requisitos mínimos que são exigidos ao envelope, alguns testes devem ser realizados, como os apresentados no quadro 4.

Quadro 8 - Testes Realizados nos Envelopes

Testes	Descrição	Maquinário
Testes de flexibilidade	Utilizado para testar a flexibilidade do tecido ou seja quantos ciclos o tecido até se romper.	
Teste de tração universal	Determina a carga de ruptura e alongamento do tecido antes de se romper.	
Teste de pressão de ruptura	A força máxima que um material pode suportar antes da ruptura.	
Teste de inflamabilidade	Determina a resistência à propagação da chama	

Fonte: Sonawane et al, (2014)

2.3 NOVOS CONCEITOS DE DIRIGÍVEIS

Além das aeronaves LTA convencionais que passaram por uma releitura até os modelos atuais. Dentre os projetos, existem o HLVs - *Heavy Lift Vehicles* - Veículo de Elevação Pesada, aeronaves de grande porte capazes de transportar cargas de até 1000 toneladas com altitude de operação de 4.572 metros. Um exemplo desse tipo de aeronave é o *Walrus HULA - Hybrid Ultra Large Aircraft* - Aeronave Híbrida Ultra Grande, da DARPA (Figura 4). “O programa *Walrus* teve como objetivo desenvolver e avaliar um conceito de veículo de transporte aéreo muito grande projetado para controlar o levantamento em todos os estágios das operações aéreas ou terrestres ” com uma carga útil de 500 a 1000 toneladas, até 22.224 km de distância em 7 dias e a preço competitivo, de acordo com Stockbridge et al (2012).

Figura 4 - Walrus HULA



Fonte: DID (2019)

Os Dirigíveis Híbridos (DHs) também apresentam modelos que podem contribuir ao ramo logístico, um exemplo é o P-791 (Figura 5) da *Lockheed Martin*. O protótipo levou cerca de 20 anos para ser desenvolvido e comprovar seu desempenho, em 2006 foi posto em voo e completou com sucesso todos os objetivos.

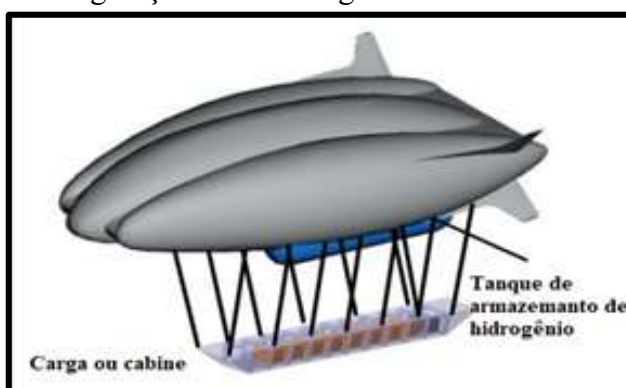
Figura 5 - P-971



Fonte: Lockheed Martin (2018)

Outro conceito que está estabelecendo uma nova era na indústria de aeronaves são os dirigíveis movidos a energia renovável (STOCKBRIDGE et al., 2012). Zhang et al (2017), propõem uma metodologia em um projeto conceitual de DHs que utilizam o LH2 (hidrogênio líquido) como fonte de combustível. O mesmo aponta que os DHs movidos a LH2 podem ser uma opção viável ao transporte de cargas pesadas em áreas remotas e transportes transoceânicos, pois em relação aos combustíveis fósseis o consumo do LH2 é baixo e possui maior eficiência de conversão de energia (Figura 6).

Figura 6 - Configuração de um Dirigível Híbrido de Hidrogênio



Fonte: Zhang et al (2017)

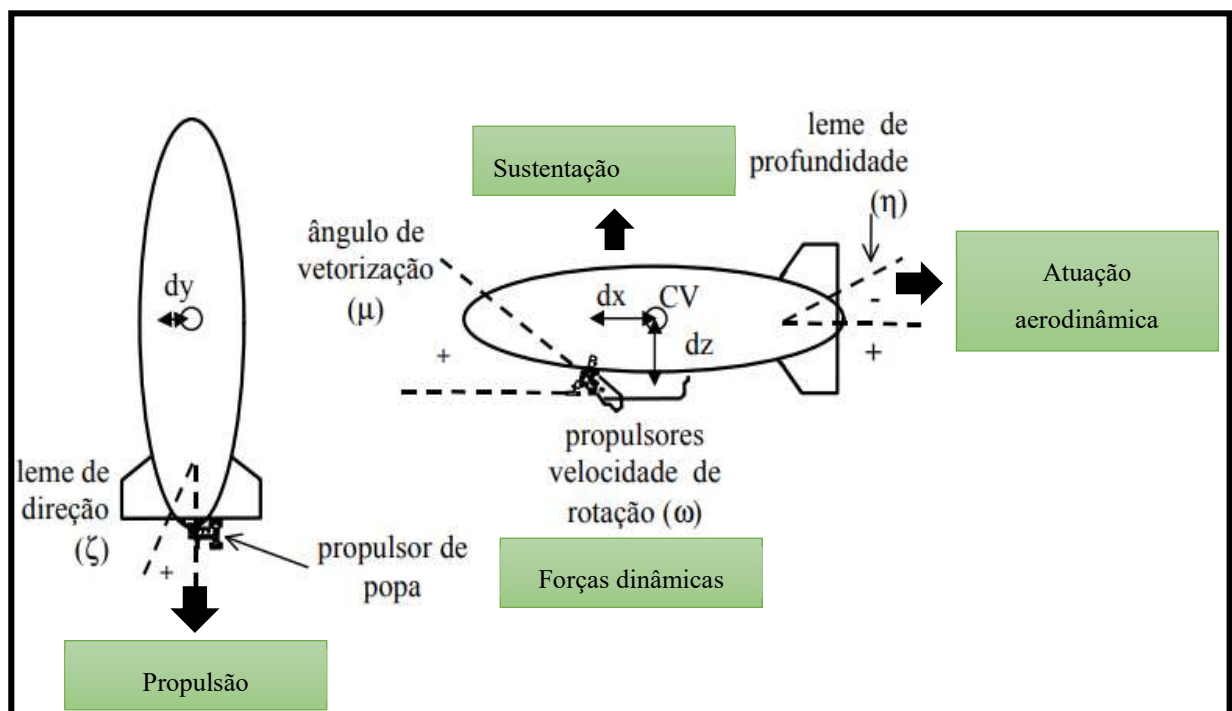
Modelos de dirigíveis para levantamento pesado e movidos a energia renovável são conceitos novos que despertaram interesses e começam a ser pauta de pesquisa, ao contrário

dos híbridos que já são mencionados a algum tempo, por exemplo, Ardema (1977) faz uma comparação entre dirigíveis convencionais (DCs) e híbridos. Contudo, a utilização do DH para movimentação de carga de grande porte é algo recente e que pode favorecer ao setor logístico, um nicho que o DC não comporta. Existem algumas diferenças entre os DHs e os DCs que justificam essa limitação e são comentadas a seguir.

2.4 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DOS DIRIGÍVEIS CONVENCIONAIS

Os dirigíveis possuem baixa densidade e podem apresentar tanto a sustentação aerostática quanto híbrida. Para o princípio de operação, Ramos (2002) diz que 4 forças atuam na aeronave: Força aerostática, força aerodinâmica, força dinâmica e propulsão (Figura 7).

Figura 7 - Princípio de Operação de um Dirigível de Elevação Aerostática



Fonte: Adaptado de Ramos (2002)

A sustentação aerostática pode ser explicada pelo princípio de Arquimedes, em que a “força empuxo (F) exercida num corpo é proporcional ao volume (Vol) de ar deslocado por

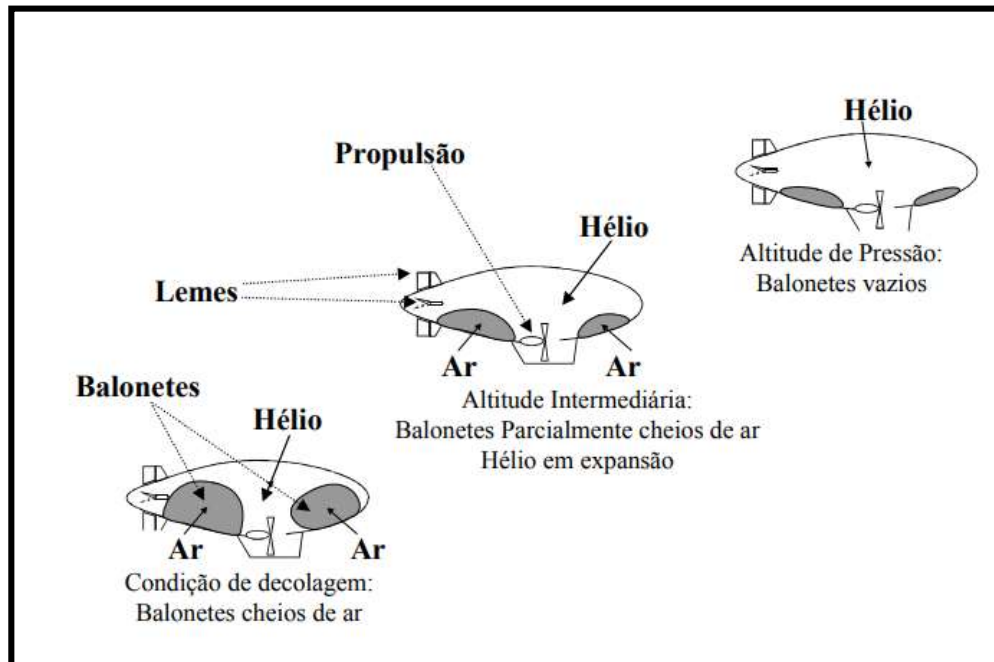
este e também proporcional à diferença de densidade entre o ar (ρ_a) no exterior e o gás ($\rho_{gás}$) no interior do envelope do dirigível”, ou,

$$F = Vol (\rho_a - \rho_{gás})$$

Ou seja, na movimentação vertical, o DC é sustentado por um gás que tem densidade menor do que o ar atmosférico e balonetes preenchidos com ar são adicionados ao envelope para ajudar no controle da fluutuabilidade, assim, quando o dirigível ganha altitude, os balonetes se contraem devido ao aumento de pressão interna pela expansão do hélio e libera o ar contido no seu interior na atmosfera e quando a aeronave perde altitude, o hélio se contrai e as bolsas são recarregadas com ar para compensar o encolhimento do gás de elevação e manter a pressão similar e o volume total do gás dentro do envelope (Figura 8) (GORDON, 2005).

Esse controle da fluutuabilidade é importante pois estabiliza o voo; os veículos seguem padrão de altitude, posição, orientação e velocidade ao longo do tempo “mantendo o curso apesar da presença de perturbações, principalmente por conta de turbulências que ocorrem com o ar” (RAMOS, 2002).

Figura 8 - Funcionamento de Balonetes em um Dirigível com Sustentação Aerostática

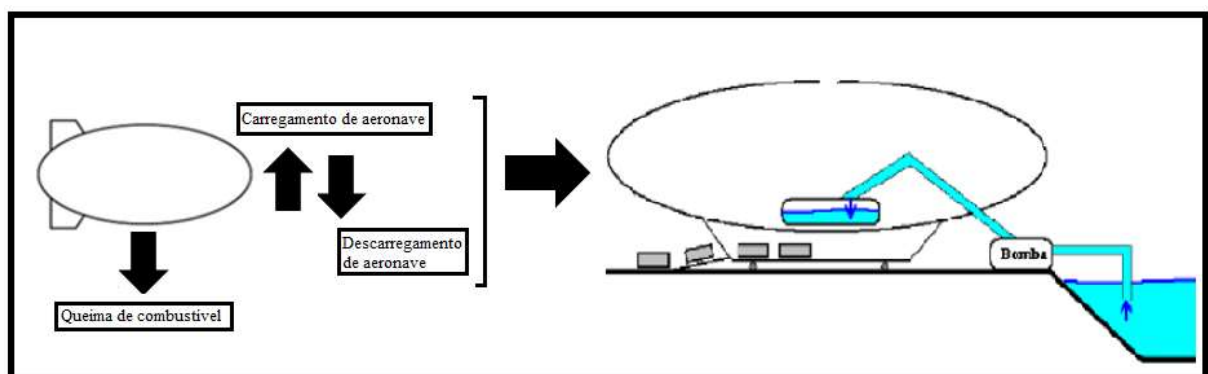


Fonte: Ramos (2002)

Além do controle da pressão interna com os balonetes, lastros de água compensam a perda de massa no descarregamento e com a queima de combustível (Figura 9) (LI et al, 2014; ELFES, 1998). Essa alteração no peso do veículo pode influenciar na operação de voo e pouso devido a força de empuxo maior que o peso da aeronave, pois, quando carregado o DC parte com uma elevação neutra, ou seja, com a quantidade de hélio suficiente para sustentar o seu peso e o da carga útil. Quando descarregado, o veículo fica com uma elevação positiva que o torna instável, com o acréscimo do lastro de água há o retorno da elevação neutra (GOMES; RAMOS, 1998).

No processo de aterrissagem, uma equipe de solo auxilia a aeronave para o acoplamento ao mastro de amarração que facilita a realização de manobras em terra, ancoragem, carga/descarga, embarque/desembarque de passageiros e reabastecimento (GHANMI; SOKRI, 2010). A amarração do veículo pode ser de ponto único, em que o dirigível é conectado ao mastro pelo seu “nariz” e movimenta-se em torno deste ponto. Junto a este mastro um dispositivo de medição de carga de vento com um sistema de alarme alerta a equipe de terra caso as condições meteorológicas não estejam adequadas para manter o dirigível ao ar livre (KHALEELULLAH et al., 2016; PANT, 2004) (Figura 10).

Figura 9 - Representação das Perdas do Dirigível e Sistema de Lastro de Água



Fonte: Adaptado de Pereira (2011)

Figura 10 - Aterrisagem de um Dirigível



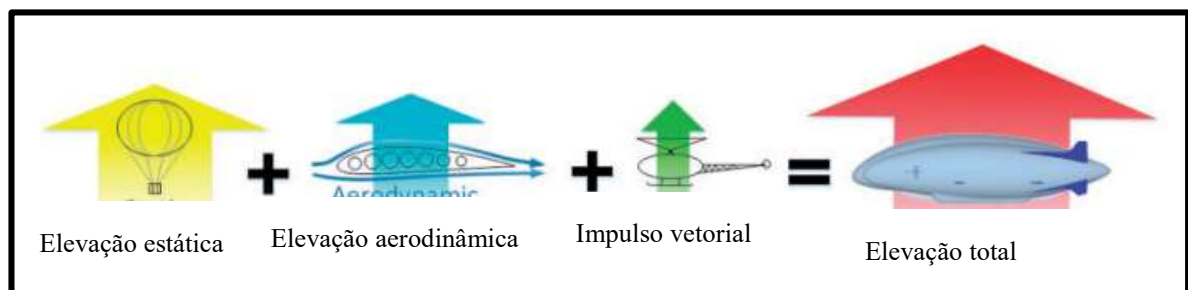
Fonte: Airship do Brasil (2018)

A força de propulsão gerada pelas hélices permite a movimentação do veículo entre os locais. No deslocamento do DC a atuação aerodinâmica é gerada pelo leme que faz o controle da transferência horizontal (RAMOS, 2002).

2.5 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DOS DIRIGÍVEIS HÍBRIDOS

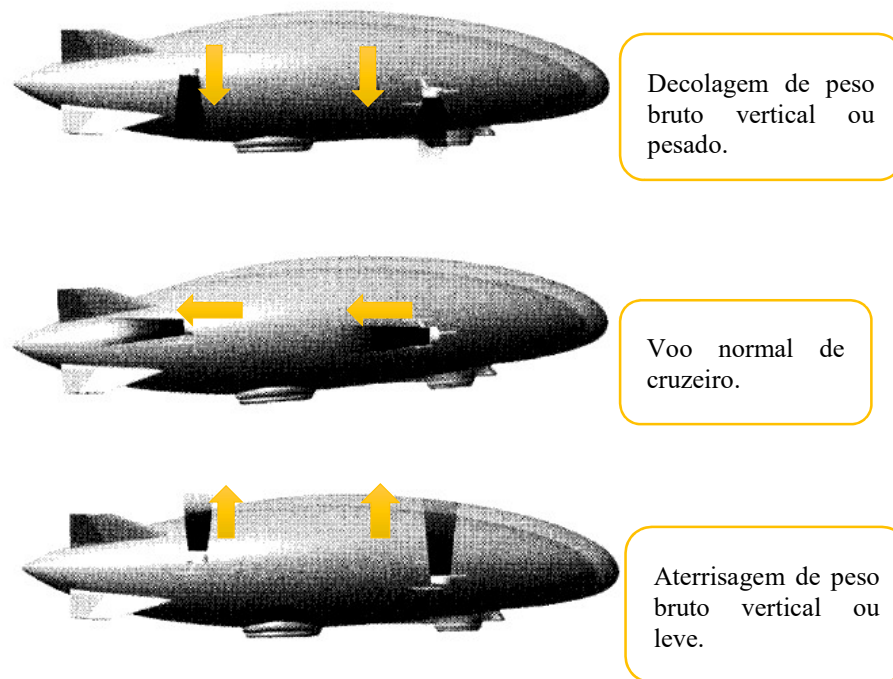
Segundo Marques (2014), os híbridos combinam a tecnologia das aeronaves LTA com aeronaves de asas fixas usando também a sustentação aerodinâmica que é criada pelo fluxo de ar no casco em certo ângulo de ataque (Figura 11) e no empuxo dos rotores laterais (Figura 12).

Figura 11 - Conceito de Elevação Híbrida



Fonte: Zhang (2017)

Figura 12 - Uso da Vetorização de Empuxo para Aumentar ou Reduzir as Forças de Levantamento



Fonte: Carichner; Nicolai (2013).

O coeficiente de elevação de um DH é semelhante à de um avião e pode ser definido por (HAQUE et al., 2015; ZHANG, 2009):

$$C_{laero} = \frac{L_{aero}}{\frac{1}{2} \rho_a V^2 S_{aero}}$$

Onde,

C_{laero} = Coeficiente de elevação aerodinâmico;

L_{aero} = Elevador aerodinâmico;

ρ_a = Densidade do ar;

V = Velocidade de voo;

S_{aero} = Área característica do elevador aerodinâmico.

O S_{aero} é a área de referência da superfície de elevação. Deve ser especialmente definido de acordo com as diferentes geometrias das empresas que produzem dirigíveis de elevação híbrida. No caso do dirigível alado no corpo de um dirigível convencional S_{aero} é igual ao S_{wing} (área da asa). No caso do dirigível de elevação híbrida, corresponde a área de referência do corpo aerostático. (ZANGH, 2009, p. 3)

O coeficiente de elevação total de um dirigível híbrido são definidos por,

$$C_l = \frac{L_{aero}}{\frac{1}{2} \rho_a V^2 S_{aero}} = C_{lbuoy} R_F + C_{laero}$$

C_{lbuoy} = Coeficiente de elevação flutuante;

C_{laero} = Coeficiente de elevação aerodinâmica;

C_l = Coeficiente de elevação total.

Apesar do coeficiente de elevação de um DH ser semelhante à de uma aeronave de asa fixa, existem diferenças entre eles. Os veículos que são mais densos que o ar atmosférico, utilizam a sustentação aerodinâmica fornecida pelas asas ou rotores que é originária da diferença de pressão dinâmica e a pressão estática. Enquanto no DH, parte do seu peso é sustentado pela elevação aerostática (por um gás), utilizando energia mínima da motorização para elevação. Devido a essa característica, há um aumento de carga útil possível em comparação ao dirigível convencional, a dispensa do mastro de amarração e lastro de água (ZHANG, 2010).

A utilização da tecnologia *hovercraft* na parte inferior do casco, possibilita a formação de um colchão de ar "... que permite o pouso e o deslocamento suave da aeronave sobre superfícies diversas e invertendo o fluxo de ar, possibilita que o veículo atinja elevada aderência ao solo facilitando a carga e descarga da aeronave, mesmo na presença de ventos fortes" (GOMES; MIGNON, 2012, p. 324). E de acordo com Pereira (2011), a propulsão vetorizada (Figura 9), melhora a estabilidade de voo e possibilita semelhanças operativas próximas à de um helicóptero, como por exemplo decolem e aterrissem vertical (VTOL) e decolagem e aterrisagem curtas (STOL).

2.6 LEGISLAÇÃO PARA OS DIRIGÍVEIS

Para ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) "O dirigível entra no conceito de

aeronave, e, portanto, aplica-se a esses veículos as regras vigentes no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) de acordo com o tipo de operação desejada e as características da aeronave. Ou seja, as regras operacionais variam de acordo com o uso das aeronaves, se é comercial ou privado e, ainda, conforme as regulamentações, [RBAC-91](#), [RBAC-135](#), [RBAC-121](#). E da mesma forma, os regulamentos de aero navegabilidade [RBAC-21](#), [RBAC-31](#), [RBAC-43](#), [RBAC-145](#) já preveem os requisitos adequados à certificação e manutenção” (Gecivaldo Santos, assessor de imprensa da ANAC, 2018).

A Airship do Brasil, uma empresa brasileira especializada em desenvolver, fabricar, comercializar e operar aeronaves e soluções utilizando tecnologias mais leve que o ar, foi certificada em maio de 2018 pela ANAC na regulamentação [RBAC-21.17 b\)](#), que diz:

(b) Para classes especiais de aeronaves (planadores, dirigíveis e outras aeronaves não convencionais), incluindo motores e hélices instalados nas mesmas, para as quais não existem requisitos de aeronavegabilidade emitidos, são aplicadas partes dos requisitos de aeronavegabilidade contidos nos RBAC vigentes que sejam considerados pela ANAC como apropriados para a aeronave e aplicáveis ao projeto de tipo em questão, ou outros critérios de aeronavegabilidade considerados convenientes para prover um nível de segurança equivalente ao estabelecido pelos referidos RBAC.

Das regulamentações disponíveis, poucas abarcam a operacionalidade do dirigível, esse fator pode ser um problema futuro para quando a aeronave LTA atuar de fato no país. A aplicação de regras de aeronaves HTA (*Heavier Than Air* - Mais pesado que o ar) aos dirigíveis não reconhece esses veículos como um modo de transporte diferente. Faz-se necessário uma discussão mais profunda a respeito dessa questão, no entanto, esse trabalho trata de uma comparação técnica e econômica, não contemplando as questões burocráticas e de regulamentação.

Quanto à habilitação necessária para a tripulação, o Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica determina os requisitos mínimos no [RBHA 61](#) na subparte Q.

2.7 ESCOLHA DO DIRIGÍVEL

Muitos veículos estão em desenvolvimento e podem atuar no cenário proposto. Pelas exigências desse cenário, a opção estudada foi a dos DHs, a tabela 1 destaca alguns modelos de dirigíveis híbridos que estão em fase de pesquisa ou de desenvolvimento de protótipo.

Tabela 13 - Modelos de Híbridos

<i>Fabricante (País)</i>	<i>Modelo</i>	<i>Tamanho CxLxA (m) *</i>	<i>Alcance km</i>	<i>Carga Útil kg</i>	<i>Velocidade cruzeiro</i>
Aeroscraft (E.U.A)	ML 866	67 x 12 x 9	5.741	66.000	185 km/h
Hybrid Air Vehicles (Reino Unido)	Airlander 10	92 x44 x26	17.760	10.000	148 km/h
Lockheed Martin (E.U.A)	LMH – 1	85 x 45x 23	2.600	20.000	111 km/h
Ecoline (Reino Unido)	El/SI-100	130 x 55 x 36	4.150	100.000	185 km/h
	El/SI-10	30 x 34 x 22	4.150	10.000	185 Km/h

* C x L x A = Comprimento x Largura x Altura

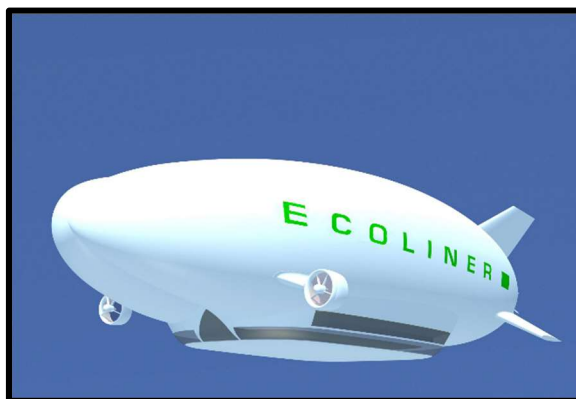
Fonte: Airlander (2018); Aeroscraft (2018); Lockheed Martin (2018)

Dentre os modelos, o Ecoline/Skyline da empresa *SkyBrid Technologies* Ltda. apresenta maior capacidade de carga e velocidade.

A *SkyBrid Technologies* Ltda. é uma empresa inglesa que surgiu em 2011 após a venda dos ativos da *Advanced Technologies Group* à HAV (*Hybrid Air Vehicle*). A empresa foi estruturada com objetivo de desenvolver, construir e operar seu próprio projeto de dirigível. O El/SI 100 terá a capacidade de carga de 100 toneladas, 130 metros de comprimento, 55 metros de largura e 36 metros de altura, poderá atuar no transporte grandes cargas indivisíveis, como pás de aerogeradores, combate a incêndio e ajuda humanitária.

O EL/SI 100 (Figura 13) é equipado com um *Air Cushion Landing System* (ACLS), colchões de ar que permitem o pouso em qualquer superfície plana como areia, neve, mar, gelo, água ou grama preparada, sem obstáculos como colinas ou cercas. Os sistemas ACLS são retraídos em voo, de modo a reduzir o arrasto.

Figura 13 - Protótipo EI/SI-100



Fonte: Skybrid Technologies (2018)

O dirigível é proposto nesse trabalho como um apoio ao setor logístico para o transporte de carga indivisível e volumosa em situação de difícil acesso. Entende-se como difícil acesso, local em que há necessidade de construção de via de acesso para que a carga chegue até o destino final, locais provenientes de desastres ecológicos ou situações de guerras e necessitam de ajuda. Por isso, é importante conhecer a particularidade de cada modal e analisar se as características atendem ao cenário.

2.8 ANÁLISE DA VIABILIDADE PARA ESCOLHA DO TRANSPORTE

A análise da viabilidade fornece informações para determinar se o produto atende a necessidade do usuário ou não.

Para a realização do estudo da viabilidade do transporte de carga, Fleury (2002) aponta cinco dimensões importantes para a escolha do modal: **velocidade**; **consistência**; **capacitação**; **disponibilidade** e **frequência**. A **consistência** refere-se à capacidade de cumprir o tempo previsto; a **capacitação** está relacionada com a possibilidade de um modal transportar diferentes volumes e variedades de produtos; a **disponibilidade** refere-se à capacidade de atender a entrega; e a **frequência** é a quantidade de vezes em que o modal pode ser utilizado em um dado horizonte de tempo.

O mesmo diz que, “cada modal possui custo e características operacionais próprias, que

o tornam mais adequados para certos tipos de operações e produtos”.

A variável custo, também possui fatores de influência que interferem na escolha do modal, como demonstrado no quadro 5.

Quadro 9 - Fatores de Influência nos Custos Logísticos

Fator	Influência
Distância	Fator de maior influência nos custos variáveis, fazendo com que o custo de frete por km rodado diminua com o aumento da distância, em virtude dos custos fixos permanecerem estáveis.
Volume	O custo de transporte unitário diminui com o aumento do volume de carga. Com uma carga cheia e a ocupação completa da capacidade do modal de transporte possibilitam a diluição dos custos por unidade transportada.
Densidade	É a relação entre peso e volume. O modal normalmente tem maior restrição de espaço do que de peso. Portanto, quanto maior for a densidade, melhor aproveitamento da relação peso/volume.
Mercado	Elementos que podem afetar os valores dos fretes, tais como a sazonalidade, facilidade de encontrar cargas de retorno, condições de tráfego, entre outros
Facilidade de acondicionamento	Refere-se à uniformidade das dimensões da carga. Exemplo: caixas de tamanhos diferentes dificultam a ocupação volumétrica; quanto mais uniforme melhor
Facilidade de manuseio	Caso haja a necessidade da carga utilizar-se de equipamentos especiais para carga e descarga, os custos serão maiores.
Responsabilidade	É nível de responsabilização por eventuais avarias, reclamações, roubo, incêndios, entre outros.

Fonte: Oliveira *apud* Bowersox e Closs (2001).

Essa combinação de preço/custo resulta na escolha do modal mais adequado para uma dada situação de origem - destino e tipo de produto (FLEURY, 2002, p. 3).

O estudo da viabilidade utilizando o dirigível como objeto de pesquisa já foi realizado e com temática em diversos nichos.

Borella et al., (2017), fez uma “Análise de Viabilidade Técnica e Econômica Para Utilização do Dirigível no transporte de Cargas Gerais no Brasil” o cenário criado para desenvolvimento do estudo foi o transporte de materiais cerâmicos em um dirigível com capacidade de carga de 30 toneladas. Eles puderam concluir que a aeronave apenas é viável em situações de infraestrutura inexistente, devido aos custos elevados.

Pereira (2011), fez um estudo da “Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Dirigíveis no Sector do Turismo em Portugal”, O cenário do estudo foi uma zona montanhosa,

que se concluiu que o dirigível se destaca como a aeronave com melhor performance na prestação deste tipo de serviço.

Prentice (2004), fez um estudo do uso de dirigíveis para o transporte de alimentos perecíveis em regiões de recursos escassos, “*Economics of Airships for Perishable Food Trade*”.

Para carga indivisível e volumosa, Machry (2005), propõe o dirigível como uma alternativa para transporte de cargas especiais. O trabalho de Machry (2005), faz um levantamento técnico da tecnologia LTDA e aponta os problemas do transporte de carga especiais e volumosas por vias terrestres, assim como seus custos.

Há diferenças entre este trabalho e o que foi proposto por Machry (2005). Este estudo, faz uma comparação das características operacionais dos transportes que atuam no país e o dirigível e uma comparação dos custos, deste a implantação do empreendimento e os custos de transporte entre modal rodoviário e o dirigível híbrido.

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGIA

A pesquisa em questão é de caráter exploratório e descritivo com uma abordagem quantitativa, em que a pesquisa quantitativa “...recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc” de acordo com Santos et al *apud* Fonseca (2002, p. 20).

A pesquisa foi dividida em três etapas. A primeira etapa foi a pesquisa bibliográfica em relação ao tema proposto e a realização de uma entrevista via e-mail com Michael Stewart, chefe executivo da *Skybrid Technologies Ltda* sobre o SI-100, modelo do DH utilizado nessa dissertação. Também houveram entrevistas com alguns órgãos públicos, como a ANAC e SEINFRA, a respeito do transporte de cargas indivisíveis por meio terrestre e aéreo.

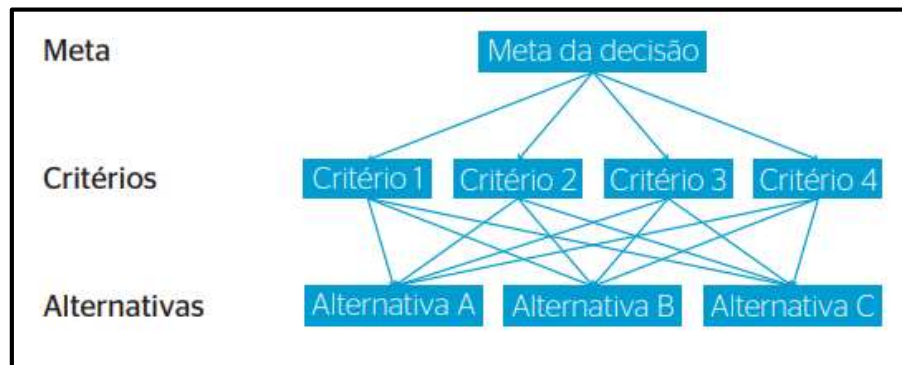
A segunda etapa foi o estudo das características operacionais dos modais de transporte e dirigíveis e a análise dos resultados por meio de um método de multicritério. Existem várias abordagens de multicritérios, o MAUT (*Multi -attribute utility theory*), um modelo de mensuração de valor ele permite que funções de valor sejam construídas para representar o valor de uma opção em relação a outra, apesar de considerar incertezas e poder incorporar preferências, há necessidade de muitos *inputs* e que sejam precisos (CAMPOLINA, 2017, p. 4), sendo assim não atende ao estudo, visto que os valores de alguns *inputs* não são conhecidos. O TOPSIS (*Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solutions*), são modelos baseados em metas, aspiração ou nível de referência, em geral, utilizam métodos de programação linear (CAMPOLINA, 2017, p. 4), contudo, dificultam a inter-relação de critérios e no processo de ponderação, que pode comprometer o resultado da análise.

O processo escolhido foi o AHP (*Analytic Hierarchy Process* - Processo de Hierarquia Analítica). O AHP é um processo de multicritérios (qualitativo e quantitativo) para tomada de decisão e de acordo com Moraes; Santalieu (2007) possui os seguintes passos:

1. Estruturar o problema de forma hierárquica, mostrando os elementos-chave e os relacionamentos entre critérios e alternativas (Figura 14);
2. Organizar critérios e alternativas em matrizes para comparação par a par;

3. Comparar as alternativas de modo consistente, usando o conhecimento sobre o negócio, impressões e sensações que se tenha sobre o tema. Preferencialmente adequar a comparação à escala numérica elaborada por Saaty (Quadro 6);
4. Calcular os pesos das alternativas e dos critérios dentro da hierarquia estabelecida;
5. Calcular a relação de consistência para avaliar se o julgamento feito pelo tomador de decisão é coerente e não levará a uma decisão equivocada;
6. Sumarizar os resultados e montar a escala final de valores com as alternativas ordenadas em ordem de preferência.

Figura 17 - Elementos Básicos da Estrutura do AHP



Fonte: Lima *apud* Vilas Boas (2005)

Quadro 6 - Escala do Julgamento de Importância do Método AHP

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância Igual.	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca de uma sobre a outra.	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Importância forte.	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito forte.	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta.	A evidência, favorecendo uma

		atividade em relação a outra, é do mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes.	Quando é necessária uma condição de compromisso.
Recíprocos	Se a atividade i tem uma das intensidades de importância ou de preferência de 1 a 9 quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i	

Fonte: Hashiba *apud* Saaty (1991)

Após a definição dos critérios e estruturação da hierarquia, é feita uma comparação paritária entre eles. De acordo com Moraes; Santaliestra (2007), na comparação, é montada uma matriz em que os números de linhas e colunas e a quantidade de critérios são iguais. A matriz deve ser preenchida com os valores numéricos que demonstrem a importância de um sobre o outro, esses valores foram descritos no quadro 6.

Salienta-se que quando um critério é comparado a ele mesmo, seu valor é 1. A matriz é uma matriz recíproca, logo, se a comparação de A e B for 5, dizendo que $A = 5B$, então, a comparação de B e A é $1/5$ sendo $B = 1/5A$.

Depois da distribuição dos valores de importância, é calculado o auto vetor (AV) que é a média geométrica do somatório de cada linha. Foi observado durante a consulta as referências bibliográficas, que alguns estudos utilizaram a média aritmética e outros a média geométrica. Neste trabalho utilizou-se a média geométrica, pois, de acordo com Gomes *apud* Rabani (p.92, 2009), “o recíproco da média geométrica de um conjunto de julgamentos é a média geométrica dos recíprocos. Isto não é verdade com a média aritmética ou qualquer outra média”.

Em seguida é calculado o auto vetor normalizado (AVN), que é a linha do AV dividida pelo somatório da sua coluna. Normalizar os valores de cada coluna de tal forma que a soma de todos os seus elementos seja igual a 1 (100%).

A distribuição de valores é algo complexo e por isso pode haver inconsistência aos valores atribuídos a cada critério, Moraes; Santaliestra *apud* Ragsdale (2004, p. 7) diz que,

Quando julgamos algo complexo e com muitas variáveis podemos errar e ser inconsistentes no julgamento. Se o tomador de decisão classificou o critério “A” como mais relevante que o critério “B”, e classificou o critério “B” como sendo muito preferível ao “C”, estará sendo inconsistente caso julgue o critério “A” indiferente em relação ao critério “C”.

E a inconsistência no resultado pode levar o tomador de decisão a uma escolha equivocada. Por isso, deve-se determinar a relação de consistência e seu valor deve ser menor que 0,1 (10%).

Para cálculo do índice de consistência (*Consistency Index* - CI), aplica-se a seguinte equação:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1},$$

Em que,

λ_{max} = É a multiplicação do somatório do AVN pelo somatório dos critérios;

n = Quantidade de critérios adotados.

E para determinar taxa de consistência (*Consistency Ratio* - CR) calcula-se a razão de CI pelo índice randômico (*Random Index* - RI) como mostrado abaixo,

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

O valor correspondente ao índice randômico é determinado pela quantidade de critério adotado (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores do Índice Randômico

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,58

Fonte: Moraes; Santaliestra *apud* Saaty (1995)

A atribuição dos valores de importância dos julgamentos foi baseada em pesquisa bibliográfica, visto que, os operadores logísticos ainda não têm um conhecimento acerca do DH como apoio logístico.

A escolha dos critérios baseou-se em Hashiba (2012) que aponta alguns critérios necessários a escolha do modal,

- O critério custo, que pode ser um elemento de escolha mais sensível (mas não o único);
- Critério de atendimento as particularidades da carga, que avalia a eficácia das alternativas com relação ao atendimento das exigências específicas das cargas e pode ser dividido em: acessibilidade (abrangência do atendimento a região desejada); flexibilidade e oferta de instalação logística.
- Critério de confiabilidade, que está dividido em: pontualidade, perdas e danos, informação ao cliente e *transit time* (tempo em trânsito).

Como se trata de um tipo específico de carga, alguns fatores têm mais relevância que outros. Para montar a estrutura da AHP, alguns critérios foram escolhidos, o critério custo, pois, é um elemento que tem um impacto significativo para a escolha do modal. No grupo atendimento as particularidades da carga, foi escolhido a oferta de instalação logística pois trata-se de uma carga que ultrapassa os limites permitido por lei e a falta de uma infraestrutura adequada pode inviabilizar o transporte da carga e o grupo de confiabilidade, definiu-se o tempo em trânsito.

A terceira e última etapa se caracteriza pela comparação econômica entre o modal rodoviário e o DH. Limitou-se a análise econômica apenas ao modal rodoviário visto que ele possui a maior participação de transporte de carga no país, o equivalente a 61%.

Para uma comparação do DH com modais que atuam no país, foi escolhido um trecho hipotético, em que há necessidade de construção de infraestrutura para se ter acesso ao local de obra e tem uma distância aproximada de 1100 km. Existe a possibilidade de acesso ao local por vias marítimas, aérea ou terrestre. As condições do cenário apresentam-se como ótima. Considera-se um cenário ótimo em que as condições climáticas estejam propícias para voo.

Para fim de estudo foi escolhido o transporte de uma pá eólica de 7 toneladas e 40 metros de comprimento. A escolha desse material se deu a facilidade de obter informações por meio bibliográficos e também ao crescente desenvolvimento do país em parques eólicos.

CAPÍTULO 4

4 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

Prentice (2012) faz uma análise das características operacionais (tabela 3) em uma perspectiva um pouco diferente da mencionada por Fleury (2002). Neste caso a confiabilidade está relacionada à condição climática, é adicionado a pegada de carbono (*carbon footprint* – medi o total de emissões dos gases do efeito estufa) e foi incluído o dirigível híbrido para comparação com os demais modais. Fleury (2000) utiliza apenas os meios de transporte convencionais.

Os números apresentados na tabela classificam o desempenho do modal operacionalmente, quanto menor o número, melhor seu desempenho.

Tabela 3 - Características Operacionais dos Transportes

<i>Características Operacional</i>	<i>Caminhão</i>	<i>Trem</i>	<i>Navio</i>	<i>Avião</i>	<i>Dirigível Híbrido</i>
Custo	2	1	1	5	3
Rapidez	3	4	5	1	2
Capacidade	4	2	1	5	3
Flexibilidade	1	4	5	3	2
Confiabilidade (Clima)	1	2	3	5	4
Pegada de Carbono	4	2	1	5	3

Fonte: Prentice (2012).

Caso fossem analisados de forma geral, somando os valores atribuídos a tabela, o caminhão somaria 15, seguido do trem 15, o navio 16, o dirigível híbrido 17 e por último o avião 24, assim, o caminhão e o trem possuem o melhor desempenho de forma geral. Contudo, nota-se que cada modal possui melhor desempenho em determinada característica, pois, a depender do tipo de material transportado, a distância percorrida e o local, certas características terão maior fator de relevância que outras, por isso devem ser analisadas individualmente e ponderado o resultado e definir qual modal atende ao cenário proposto, nesse caso, transporte de cargas indivisíveis e volumosas em situação de difícil acesso.

Inevitavelmente, nas atuais condições brasileiras, o transporte de cargas volumosas indivisíveis para lugares remotos, imporá o uso de pelo menos mais de um modal complementar

para completar a logística de entrega caso o principal modal escolhido seja trem, navio ou avião. O uso de trens, por exemplo, dependerá de caminhões ou de DH para entregar no trem e, depois, completar a entrega até o destino final. O uso de navios ou aviões impõem situações similares, sendo que o avião ainda sofre de restrições importantes relacionadas ao volume e peso da carga transportada.

O modal ferroviário é um potencial candidato a se considerar no transporte dessas cargas volumosas e indivisíveis. Contudo, não será utilizado no aprofundamento das análises que seguem neste trabalho, apesar de ser concorrente importante do dirigível híbrido. No país, trens são destinados a movimentação de grãos, minérios, entre outras commodities que não é o foco desse trabalho, além do que, a malha ferroviária corresponde a 29.706 quilômetros e não atender a área territorial brasileira que possui cerca de 8.516.000 km² (ANTT , 2016).

4.1 CUSTO

O custo do dirigível híbrido na tabela 3 é maior que o do navio e do caminhão. Além da movimentação da aeronave LTA demandar mais energia que os modais citados, é acrescido também o custo com o gás de elevação. Prentice e Lau *apud* Hybrid Air Vehicles (2016) apresentam na figura 15 uma comparação de R\$/ton feito por *Hybrid Air Vehicles* (HAV) em 2016. A figura foi adaptada e foi incluído os custos do DH SI-100 movido com Gás Natural Liquefeito (LNG -*Liquefied Natural Gas*) e com querosene de aviação (AVTUR), as duas opções de combustível que pode utilizar.

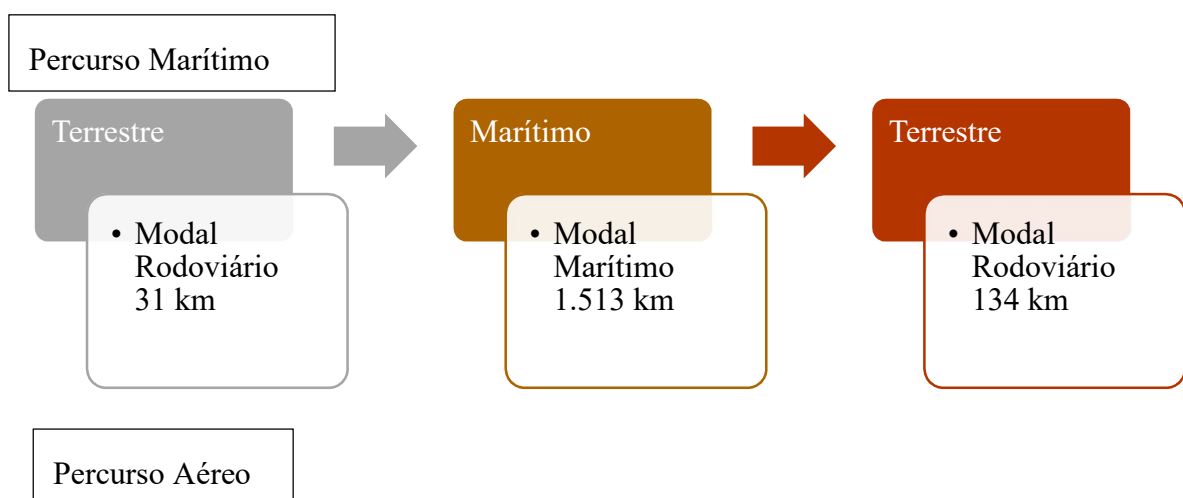
Figura 18 - Custo dos Modais de Transporte

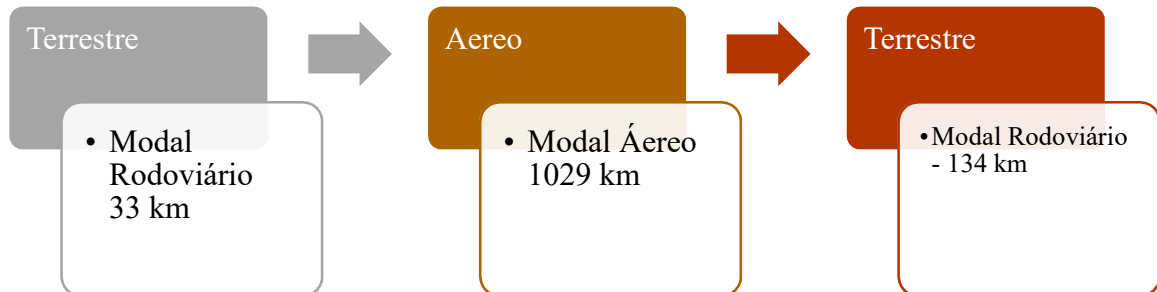


Fonte: Adaptado de Prentice; Lau *apud* Hybrid Air Vehicles (2016)

Para completar o percurso sugerido, os modais marítimo e aéreo dependem de um outro modal, como mostrado na figura 16.

Figura 16 - Trajeto Marítimo e Aéreo





Fonte: Autor (2018).

Utilizando os dados das figuras 15 e 16, pode-se fazer uma estimativa do R\$/ton.km (Quadro 7).

Quadro 7 - R\$/ton.km no Percurso

Modal	Intermodalidade	R\$/ton.km
Marítimo	Rodoviário	R\$ 167,09
	Marítimo	R\$ 2.012,29
	Rodoviário	R\$ 722,26
	Total	R\$ 2.901,64
Aéreo	Rodoviário	R\$ 177,87
	Aéreo	R\$ 41.705,37
	Rodoviário	R\$ 722,26
	Total	R\$ 42.605,50
Rodoviário	*	R\$ 5.920,00
SI-100 GNL	*	R\$ 6.545,00
SI-100 AVTUR	*	R\$ 11.319,00

Fonte: Autor (2018)

Os modais marítimo e rodoviário obtiveram melhores valores R\$/ton.km, contudo, o modal rodoviário possui limitações técnicas que possibilitam apenas o transporte de uma pá eólica por viagem (Figura 17). O transporte marítimo mesmo tendo uma capacidade de carga elevada, ele depende de um outro modal para que carga chegue ao destino final, geralmente o

rodoviário, enquanto a facilidade de acondicionamento do SI-100 (Tabela 4) permite o transporte maior de carga e ponto a ponto. O SI-100 pode transportar 4 pás eólicas em uma única viagem. Caso fosse multiplicado o custo do modal rodoviário por 4, o S-100 movido a GNL e Avtur teriam menores custos (Quadro 8).

Quadro 8 - R\$/ton.km– Transporte de 4 pás eólicas

Modal	Intermodalidade	R\$/ton.km
Marítimo	Rodoviário (x4)	R\$ 668,36
	Marítimo	R\$ 2.012,29
	Rodoviário (x4)	R\$ 2.889,04
	Total	R\$ 5.569,69
Aéreo	Rodoviário (x4)	R\$ 711,48
	Aéreo (x4)	R\$ 166.821,48
	Rodoviário (x4)	R\$ 2.889,04
	Total	R\$ 196.423,00
Rodoviário (x4)	*	R\$ 23.680,00
SI-100 GNL	*	R\$ 6.545,00
SI-100 AVTUR	*	R\$ 11.319,00

Fonte: Autor (2018)

Tabela 4 - Quantidade de Viagens para o Transporte de 4 pás

<i>Modal</i>	<i>Viagens</i>
Marítimo	1
Rodoviário	4
Aéreo	4
SI-100	1

Fonte: Autor (2019)

Figura 17 - Transporte Rodoviário de uma Pá Eólica



Fonte: Pastre (2018)

4.2 VELOCIDADE

No cenário definido a velocidade média de uma carreta para este tipo de carga é de 50 km/h, somando com a lei de obrigatoriedade de descanso (explicado nos próximos capítulos), o modal levaria 35 horas para completar o percurso, enquanto o SI-100, 6 horas, pois sua velocidade é de 185 Km/h, como mostrado no quadro 9.

Quadro 9 - Velocidade dos Modais

Modal	Velocidade Média	Tempo para Completar o Percurso
Marítimo	37,04 km/h	41 horas
Rodoviário	50 km/h	35 horas
Aéreo	800 km/h	6 horas
SI-100	185 km/h	1,38 horas

Fonte: Adaptado de Rattton et.al (2015)

Adicionando ao percurso do navio o tempo de transporte do modal rodoviário, o tempo de entrega por vias marítimas, para o transporte de 4 pás seriam 181 horas (Quadro 10), aproximadamente 1 semana.

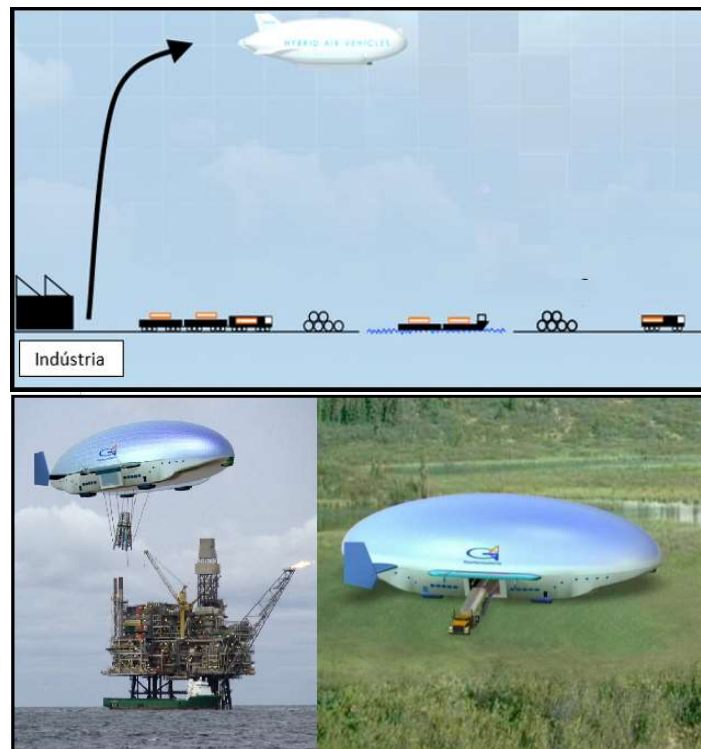
Quadro 10 - Tempo para o Transporte de 4 Pás Eólicas até o Destino Final

Modal	Tempo para transporte de 4 pás eólicas
Marítimo	181 horas
Rodoviário	140 horas
Aéreo	145,52 horas
SI-100	6 horas

Fonte: Autor (2019)

A maior vantagem do dirigível híbrido em relação aos demais modais é a não dependência de grande infraestrutura (Figura 18), dependendo apenas de uma área desimpedida de obstáculos como cercas, colinas, montanhas e a presença de um hangar para manutenção. Segundo Pereira (2011) a configuração ponto a ponto do veículo permite uma redução de tempo e custo significativo. A ideia de retirar a carga na origem e transportar até o destino final sem a necessidade de um outro modal para apoio é no mínimo de grande valia para ganhos mercadológicos.

Figura 18 - Movimentação Intermodal e Movimentação do Dirigível



Fonte: Taylor (2009); Rosaerosystems (2018)

Já os modais convencionais dependem de infraestrutura robusta que além de deficientes são cobradas tarifas para a utilização, como pode ser visto nos quadros 11, 12 e 13, a seguir.

Quadro 11 - Tarifas para Utilização do Porto

Por tonelada de combustível recebido no navio	
Navio atracado	R\$ 3,33
Por tonelada bruta de embarcação sem movimentação de mercadoria na área do porto	
Com atracação no porto	R\$ 0,29
Em outros terminais	R\$ 0,43
Sem atracação nos portos e outros terminais	R\$ 0,14
Valor mínimo a cobrar	R\$ 24,14
Terrestre (tonelada de mercadoria movimentada)	
Carga geral solta ou unitizada	R\$ 4,28
Valor mínimo a cobrar	R\$ 24,14
Armazém para carga de aerogeradores	
Cargas remanescentes, com exceção de naceles, após expirar o prazo de carência de 7 dias	
A partir da descarga, carência de 7 dias	0,50%
Por dia de armazenagem das pás, 21º e o 30º dia (R\$/m ³)	R\$ 0,10
Por dia de armazenagem das pás, 31º e o 60º dia (R\$/m ³)	R\$ 0,15
Por dia de armazenagem das pás, a partir de 61º dia (R\$/m ³)	R\$ 0,20
Equipamentos portuários	
Utilização de guindaste do porto, por tonelada	R\$ 0,91
Guindaste pórtico por hora ou fração	
Com capacidade até 5 toneladas	R\$ 103,80
Com capacidade até 10 toneladas	R\$ 148,46
Com capacidade superior 10 toneladas	R\$ 390,10
Carregador e descarregador de graneis sólidos por tonelada	
Em linha de embarque	R\$ 5,94
Em linha de desembarque	R\$ 8,52
Serviços diversos	
Fornecimento de água, por m³	
Embarcação	R\$ 0,91
Suprimento de energia elétrica às embarcações ou consumidores instalados nas dependências portuárias, por ligação ou desligamento	R\$ 18,64
Pesagem de mercadoria carregada em veículo, incluindo a tara, por tonelada	R\$ 0,48

Fornecimento de certidão, certificado de pesagem, expediente para transferência de mercadoria entre navios, relatório estatístico e desempenho operacional, tarifa portuária, por unidade	R\$ 8,21
Fornecimento de cartão externo, por unidade	
Cartão eletrônico de identificação para pessoas	R\$ 49,67
Cartão de trânsito para veículos	R\$ 8,21
Pelo estacionamento de caminhão/carreta vazia ou equipamento, no interior do porto ou fora das áreas arrendadas, ou de operação não programadas	
Por dia ou fração de dia	R\$ 28,03

Fonte: ANTAQ (2015)

Quadro 12 - Tarifas para Utilização das Rodovias

O que é necessário	Descrição	Forma de cobrança
TUV (Tarifa de utilização da via)	Aplicadas a veículos com peso superior a 74 toneladas.	$TVU = IAM(PBT-L)K$, IAM = Índice Aplicado à Multa de Trânsito; PBT = Peso Bruto Total do veículo, com ou sem carga, em toneladas; L = Limite máximo do peso 74 toneladas; K = Fator, função da distância de transporte. (Anexo B)
AET (Autorização Especial de Trânsito)	Para tráfego em rodovias federais, solicitar ao DNIT; Para tráfego em rodovias estaduais solicitar ao órgão responsável.	Taxa de emissão regular- taxa de emissão + taxa de serviço (varia de acordo ao estado), rodovia federal;
Escolta	É determinada para acompanhamento do conjunto transportador em casos de excesso da carga.	$(\text{Custo de transporte}) = (\text{Diária}) \cdot (\text{Duração de serviço}) + (\text{km}) \cdot (\text{distância percorrida})$.
Pedágio	Taxa paga a concessionária responsável para manutenção da via.	Varia de acordo com a concessionária.

Taxa de carga/descarga em Áreas Rurais/ TAR	Esta taxa é utilizada para ressarcir o acréscimo de custos gerados pelas condições precárias das estradas (ex. não pavimentadas), consumo maior de insumos (combustível, peças, pneus, etc.), além da diminuição da velocidade média (tempo maior para a execução do serviço de transporte).	50% do percentual representado pelo trecho percorrido em áreas rurais sobre o frete original (Ex.: 70% em área rural, TAR de 35% - 50% de 70%).
Taxa de Realocação/ TRA	Caso ocorra mudança ao local de coleta ou entrega da carga seja mudado.	Por quilômetro, tendo como base o valor da faixa de distância correspondente a distância a mais a ser percorrida.

Fonte: DNIT (2015); NTC (2017).

Quadro 13 - Tarifas Aeroportuárias Utilizadas nos Cálculos dos Preços Aplicáveis aos Serviços na Carga Nacional, Courier e Internação

Parâmetro	Valor
Até 999 kg	0,106 por kg
De 1000 kg a 4.999 kg	0,079 por kg
Acima de 5.000 kg	0,053 por kg

Fonte: INFRAERO (2018)

4.3 CONFIABILIDADE (CONDIÇÕES CLIMÁTICAS)

A característica operacional em que o DH apresenta a pior participação é a confiabilidade, particularmente no que se refere às condições climáticas. A vulnerabilidade ao clima se explica pela relação volume/peso, ou seja, o DH possui uma grande área de superfície que o torna sensível a ventos fortes e variáveis advindas de tempestades.

Segundo Pereira (2011), os dirigíveis modernos são equipados com sistemas de navegação por satélite, rádio comunicação radar digital, manômetros que verificam a pressão no interior do envelope, sensores de temperatura e sensores de vento que “em tempo real conseguem prever zonas de turbulência e os pilotos podem agir antecipadamente”.

4.4 PEGADA DE CARBONO

“A pegada de carbono (carbon footprint) mede o total das emissões de gases de efeito estufa (GEE) causados diretamente e indiretamente por um indivíduo, organização, evento ou produto” (EPSTEIN, 2011, p. 3). Na emissão de GEE, o DH é menos poluente que o modal aéreo e o rodoviário. O que o torna ambientalmente sustentável em comparação a esses dois modais é o baixo fator de emissão (destacado em preto na tabela 5) do combustível utilizado, dado que, “esse fator mostra a quantidade de emissão que serão liberados para cada unidade de um combustível específico usado” (LEONARDI et al., 2010, p. 13) e parte de seu peso ser sustentado pela elevação aerostática (ELFES et al., 2014).

A tabela 5 apresenta a composição dos gases presente nos combustíveis. O CO_{2e} ou CO₂ equivalente “é uma medida utilizada para comparar as emissões de vários gases do efeito estufa, baseado no potencial de aquecimento global de cada um, exemplo, o potencial de aquecimento global do metano é 21 vezes maior que o do gás carbônico, ou seja, CO_{2e} do metano é 21” (MMA, 2019, p. 1). Os gases que compõem os combustíveis dos meios de transportes mencionados são: Carbono (CO₂), Metano (CH₄) e o Óxido Nitroso (N₂O).

Tabela 5 - Composição dos Gases nos Combustíveis

<i>Combustível</i>	<i>kg CO_{2e}</i>	<i>kg CO₂</i>	<i>kg CH₄</i>	<i>kg N₂O</i>
GNL	1,24282 l	1,24053 l	0,00164 l	0,00065 l
Diesel	2,68779 l	2,6502 l	0,00042 l	0,03717 l
Querosene de Aviação	2,47333 l	2,47333 l	-	-

Fonte: GOV.UK. (2018); Sanquetta (2014)

Para estimar a quantidade de pegada de carbono que seria lançado pelos modais no trecho sugerido, Leonardi et al., (2010) apresentam quatro formas para realização do cálculo:

1. A partir dos dados de consumo de combustível:

$$\text{Total de emissão} = \text{total de combustível utilizado} * \text{fator de emissão}$$

2. A partir do gasto com combustível:

$$\text{Consumo de combustível} = \text{gasto com combustível} / \text{preço do combustível}$$

Assim sendo,

$$\text{Total de emissão} = \text{consumo de combustível} * \text{fator de emissão}$$

3. O consumo de combustível a partir da quilometragem e eficiência:

$$\text{Consumo de combustível} = \text{distância/eficiência do combustível}$$

Assim sendo,

$$\text{Total de emissão} = \text{consumo de combustível} * \text{fator de emissão}$$

4. A partir da distância:

$$\text{Total de emissão} = \text{distância} * \text{fator de emissão}$$

O total de emissão será calculado através da distância percorrida e o fator de emissão de cada veículo apresentado na tabela 6.

Tabela 6 - Fator de Emissão (FE) dos Veículos

<i>Veículo</i>	<i>Informação</i>	<i>FE KgCO₂e/ton.km</i>
Caminhão	HGV diesel articulado > 33 ton	0,082
Navio	Peso geral não especificado	0,03
Dirigível	----	0,055
Avião	----	1.320

HGV - *Heavy Goods Vehicle* - veículos pesados de transporte de mercadorias.

Fonte: Fabre (2011).

1. Caminhão:

$$\text{Total de emissão} = 1.100 * 0,082 = 90,20 \text{ KgCO}_2\text{e}$$

2. Navio:

- Rodoviário:

$$\text{Emissão percurso 1} = 31 * 0,082 = 2,54 \text{ KgCO}_2\text{e}$$

- Marítimo

$$\text{Emissão percurso 2} = 1.513 * 0,030 = 45,39 \text{ KgCO}_2\text{e}$$

➤ Rodoviário:

$$\text{Emissão percurso 3} = 134 * 0,082 = 10,99 \text{ KgCO}_2\text{e}$$

Total de emissão: 58,92 KgCO₂e

3. Dirigível:

$$\text{Total de emissão} = 1.100 * 0,055 = 60,50 \text{ KgCO}_2\text{e}$$

4. Avião:

➤ Rodoviário:

$$\text{Emissão percurso 1} = 33 * 0,082 = 2,71 \text{ KgCO}_2\text{e}$$

➤ Aéreo:

$$\text{Emissão percurso 2} = 1029 * 1,32 = 1.358,28 \text{ KgCO}_2\text{e}$$

➤ Rodoviário:

$$\text{Emissão percurso 3} = 134 * 0,082 = 10,99 \text{ KgCO}_2\text{e}$$

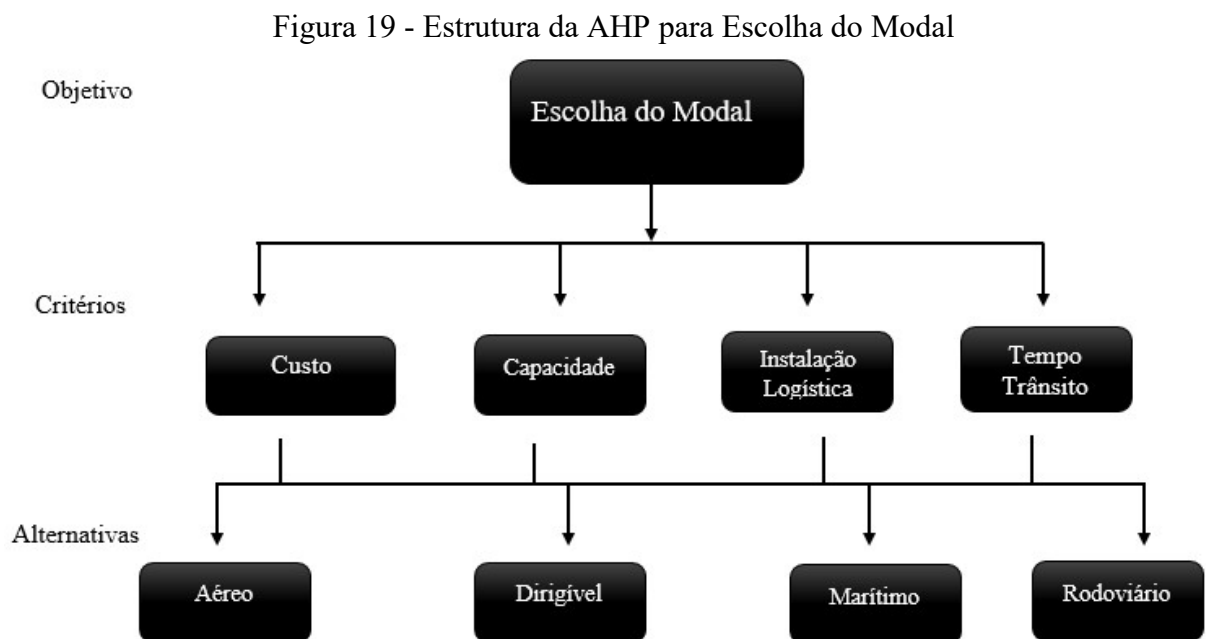
Total de emissão: 1.371,97 KgCO₂e

O dirigível híbrido possui a segunda menor participação na emissão de gases do efeito estufa, uma diferença percentual de aproximadamente 3% em comparação ao percurso total do navio. Uma diferença pouco representativa neste quesito, se comparada ao modal misto baseado no navio. Contudo, se incluir as emissões não computadas dos equipamentos de elevação e transporte requerido para transferência da carga entre modais, o que não foi aprofundado neste estudo, a diferença do DH para este modal naval misto pode se aproximar de zero ou até mesmo inverter-se se armazenamentos intermediários forem requeridos.

E com a ordem mundial de diminuição da dependência dos combustíveis fósseis, o DH é uma opção a ser considerada.

4.5 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS PARA ESCOLHA DO MODAL

A figura 19 apresenta a estrutura da AHP para escolha do modal, a escolha dos critérios foi baseada em Hashiba (2012) e analisados ao longo do capítulo 4, alguns definidos no subtítulos e outros descritos ao longo do texto.



Fonte: Autor (2019)

- **Aplicação do Método**

Para determinar a importância de um critério sobre o outro, baseou-se em fontes bibliográficas, como, Ferrari; Pompermayer (2019) que realizaram uma pesquisa com um grupo de embarcadores de diferentes regiões do Brasil. E concluiu-se que alguns dos entrevistados consideram o custo em suas escolhas de preferência, sem se importar com as demais características e que nem sempre estão dispostos a aumentarem os custos para obter uma melhora nos demais atributos (como: tempo, confiabilidade, flexibilidade e segurança).

Assim na matriz comparativa dos critérios (Tabela 7), o custo teve maior relevância

sobre os demais critérios.

Como se trata de carga indivisível e volumosa, a capacidade e instalação logísticas são fatores que merecem atenção, a capacidade do veículo por exemplo é exigida por lei que atenda a necessidade da carga.

E a tabela 8 apresenta a verificação da consistência e a análise está no limite estipulado.

Tabela 14 - Matriz Comparativa - Critérios

	Custo	Capacidade	Instalação Logística	Tempo Tran.	AV*	AVN**
Custo	1	4	5	6	3,31	58,13%
Capacidade	1/4	1	2	5	1,26	22,08%
Instalação Logística	1/5	1/2	1	5	0,84	14,77%
Tempo trânsito	1/6	1/5	1/5	1	0,29	5,02%
Soma					5,69	100,00%

- Auto Vetor* / Auto Vetor Normalizado**

Fonte: Autor (2019)

Tabela 15 - Verificação da Consistência

λ_{max}	4,262711743
n	4
CI	0,087570581
RC	9,84%

Fonte: Autor (2019)

Após a análise dos critérios, o próximo passo é a avaliação das alternativas. A Tabela 9 e a Tabela 10 não foram julgadas de acordo os números de importância descritos no quadro 6, pois, o custo e o tempo em trânsito são valores que já se tem conhecimento. O quadro 8 possui o custo por tonelada vezes o quilometro rodado dos modais e o quadro 10 apresenta o tempo em trânsito que foi adquirido a partir da velocidade dos veículos, levou-se em consideração o custo e o tempo em trânsito no cenário proposto, o transporte de 4 pás eólicas. Houve necessidade de realizar a normalização dos valores.

A tabela 11 apresenta a análise da instalação logística, para determinação dos valores

levou-se em consideração a insatisfação dos usuários das vias no quadro 1 e a dependência dos modais de equipamentos extras.

Por fim, a capacidade de carga não se avaliou de forma quantitativa, como não se utilizou um modelo específico de transporte, apenas para o dirigível híbrido, optou-se por uma avaliação qualitativa baseando-se na tabela 3.

Vale salientar que no critério custo, o marítimo teve maior preferência; no critério tempo em trânsito, o dirigível apresentou melhor participação; na instalação logística, o dirigível se mostrou melhor e em relação a capacidade de carga o marítimo obteve melhor resultado.

Tabela 16 - Matriz Comparativa - Custo

Custo	R\$/ton.km	Normalizar	AVN
Aéreo	196.423,00	1,21	1,62%
Dirigível (Avtur)	11.319,00	20,94	28,03%
Marítimo	5.569,69	42,55	56,96%
Rodoviário	23.680,00	10,01	13,40%
Soma	236.991,69	74,70	100,00%

Fonte: Autor (2019)

Para normalizar os valores divide-se a soma da coluna R\$/ton.km por cada linha da mesma coluna.

Tabela 17 - Matriz Comparativa - Tempo em Trânsito

Tempo Trânsito	Horas	Normalizar	AVN
Aéreo	145,52	3,25	3,69%
Dirigível (Avtur)	6,00	78,75	89,51%
Marítimo	181	2,61	2,97%
Rodoviário	140	3,38	3,84%
Soma	472,52	87,99	100,00%

Fonte: Autor (2019)

Tabela 18 Matriz Comparativa - Instalação Logística

Instalação	Aéreo	Dirigível	Marítimo	Rodoviário	AV	AVN
Aéreo	1	1/7	3	3	1,06	16,86%
Dirigível	7	1	7	7	4,30	68,13%
Marítimo	1/3	1/7	1	2	0,56	8,79%
Rodoviário	1/3	1/7	1/2	1	0,39	6,22%
Soma	8,67	1,43	11,50	13	6,32	100,00%

Fonte: Autor (2019)

Tabela 19: Verificação da Consistência do Critério Instalação Logística

λ_{max}	4,254064175
N	4
IC	0,084688058
RC	9,52%

Fonte: Autor (2019)

Tabela 20 - Matriz Comparativa - Capacidade de Carga

Capacidade	Aéreo	Dirigível	Marítimo	Rodoviário	AV	AVN
Aéreo	1	1/5	1/9	1/3	0,29	4,52%
Dirigível	5	1	1/5	4	1,41	21,78%
Marítimo	9	5	1	7	4,21	64,89%
Rodoviário	3	1/4	1/7	1	0,57	8,81%
Soma	18,00	6,45	1,45	12,33	6,49	100,00%

Fonte: Autor (2019)

Tabela 21 - Verificação da Consistência da Capacidade de Carga

λ_{max}	4,24853436
N	4
CI	0,082844787
RC	9,31%

Fonte: Autor (2019)

A tabela 15 é formada pelos AVN que foram calculados anteriormente e o mecanismo de cálculo do vetor decisão pode ser determinado pelo somatório dos produtos entre AVN das alternativas e o AVN dos critérios.

Quanto maior o vetor decisão, melhor é a alternativa, logo. Nesse caso o modal marítimo obteve melhor resultado com 48,89 % seguido do dirigível com 35,66%.

Tabela 22 - Matriz Decisão

	Custo	Capacidade	Instalação	Tempo Trânsito	Vetor Decisão
Vetor Critério	58,13%	22,08%	14,77%	5,02%	--
Aéreo	1,62%	4,52%	16,86%	3,69%	4,61%
Dirigível	28,03%	21,78%	68,13%	89,51%	35,66%
Marítimo	56,96%	64,89%	8,79%	2,97%	48,89%
Rodoviário	13,40%	8,81%	6,22%	3,84%	10,85%

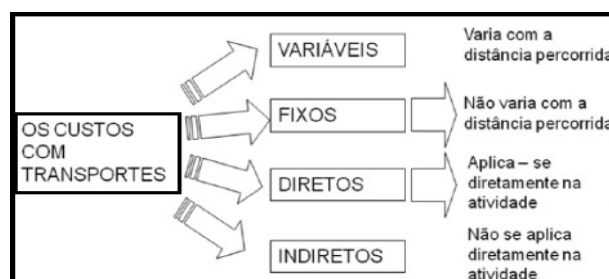
Fonte: Autor (2019)

Isso não significa que o dirigível não é uma opção, mas que dentre os critérios apresentados, o modal marítimo teve melhor resultado. Caso fosse levado em consideração a construção de infraestrutura, vias de acesso e os custos com equipamentos, poderia ser que o resultado se invertesse.

4.6 ANÁLISE ECONÔMICA

Os custos podem ser classificados como fixos e variáveis e também diretos e indiretos, como mostrado na figura 20.

Figura 20 - Esquema de Tipos de Custos



Fonte: Oliveira *apud* Lima (2005).

4.6.1 Custo Operacional do Dirigível

A tabela 16 apresenta os custos operacionais do DH, representado pelo SI-100, divididos

em variáveis e fixos. Para compreensão da tabela, algumas informações devem ser mencionadas:

1. O SI-100 pode utilizar dois tipos de combustíveis o GNL (Gás Natural Liquefeito, *do inglês Liquefied Natural Gas*) e o AVTUR (querosene de aviação). Para esta análise optou-se pelo querosene de aviação pelo fato de o dirigível ser regulamentado pela ANAC e no regulamento brasileiro ainda não se tem menção da utilização do GNL como combustível para aviação.
2. O valor de custo do SI- 100 é em torno de \$ 100.000.000,00, equivalente a R\$ 388.000.000,00 (US\$ = R\$ 3,88 em 05.06.19), assume-se que o dirigível foi adquirido à vista.
3. O cálculo para depreciação utilizou dados da Receita Federal (2018).
4. O volume do envelope do SL-100 é de 200.000 m³ e 2% do hélio é perdido ao ano, o que corresponde a 4.000 m³. De acordo com Mineral Resources Program (2016), o m³ do He custa R\$ 28,11 (US\$ = R\$ 3,88 - 05.06.19).
5. A tripulação típica do SI-100 é composta por 7 pessoas: 2 pilotos (requerido pela legislação), 1 mecânico de voo, 1 *loadmaster* (mestre de carga), 1 despachante de voo, 1 agente de operação de carga e 1 agente de operação de rampa. O salário de cada funcionário foi retirado de CCT REGULAR (2018) e CONVEN (2017) (Apêndice A).
6. Para cálculo da hora de trabalho levou-se em consideração o limite mensal de 176 horas de voo instituído no regulamento (SNA, 2017). O salário de cada funcionário é apresentado no apêndice A e para determinar a hora de trabalho: $\text{salário}/176 = \text{valor da hora de trabalho}$; $\text{valor da hora de trabalho} * \text{hora de voo} = \text{valor recebido por horas trabalhadas}$.
7. A simulação de custo de transporte refere-se ao transporte de 4 pás de aerogerador, com 40 m de comprimento e peso de 7 toneladas.
8. O SI-100 completa o percurso mencionado em 6 horas e é acrescentado o tempo de carga e descarga do veículo que computa mais 1 hora ao percurso total.

9. Para a diária utilizou-se os mesmos valores adotados para o transporte rodoviário.
10. A tabela foi dividida em custos variáveis e fixos. Na análise tem-se o custo na operação, depois, esse custo é dividido pelo quilometro rodado (R\$/km), para se ter uma estimativa qual o custo do modal por km.

O SI-100 tem capacidade de transportar 4 pás eólicas em uma única viagem, devido a sua capacidade técnica. O mesmo possui 130 m de comprimento, 55 m de largura e 36 m de altura, que atende as dimensões das cargas.

Tabela 23 - Composição de Custo de Operação do SI-100 para Transporte de 4 pás eólicas

CUSTOS VARIÁVEIS			
Grupos	Itens	Custo	R\$/km
Combustível	Desempenho (l/km)	9,7	
	Querosene (custo/l)	3,30 ³	
		R\$ 35.307,03	R\$ 32,09
Manutenção	M. obra (R\$/h)	R\$ 1.154,14	
	Horas de voo (h)	6h	
	Hélio	2% (ano)	
	Valor	28,11	
Custo para 1100 km		R\$ 144,60	R\$0,13
Diárias	Diária (2 - quantidade) x (tripulação)	R\$ 303,80	
	Pernoite (1 - quantidade) x (tripulação)	R\$ 302,04	
		R\$ 605,84	R\$ 0,55
Equipe (H/h)	Piloto	R\$ 371,61	R\$ 0,34
	Piloto	R\$ 371,61	R\$ 0,34
	Mecânico de voo	R\$ 235,71	R\$ 0,21
	Load Master	R\$ 246,21	R\$ 0,22
	Despachante de voo	R\$ 176,84	R\$ 0,16
	Agente de operação de carga	R\$ 147,14	R\$ 0,13
	Agente operação de rampa	R\$ 115,97	R\$ 0,11
Total (R\$/Km)			R\$ 40,57
CUSTOS FIXOS			
Depreciação	Aquisição	R\$ 388.000.000,00	
	T. de depreciação	10% (a.a)	
	Vida útil	10 anos	
	Depreciação (a.a)	R\$ 38.800.000,00	
Aluguel de hangar 50.000 m ²	Aluguel	R\$ 18.500,00 (mensal)	R\$ 222.000,00 (anual)
			R\$ 39.022.000,00

Fonte: Autor (2018)

³ O preço do querosene de aviação foi retirado de: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/09/companhias-aereas-questionam-alta-no-preco-do-querosene-de-aviacao.shtml>

Na tabela 16 o custo variável do dirigível quando diluído pelos quilômetros percorridos somaram R\$ 40,57. Seriam necessários ao SI-100 13 horas para completar a ida e volta. Com a jornada mensal de voo de 176 horas e considerando uma disponibilidade de 80 %, visto que, há ociosidades inevitáveis ao transporte, como a manutenção, o DH poderia realizar 11 viagens/mês ou 132 viagens/ano nesse mesmo percurso.

O custo fixo anual foi de R\$ 39.022.000,00 um custo fixo mensal de R\$ 3.251.833,33.

De acordo com o NTC (2014), para determinar o custo fixo por viagem, divide-se o valor do custo fixo mensal pela quantidade de viagens mensais, assim, o custo fixo por viagem do dirigível é de R\$ 295.621,21.

4.6.2 Custo Operacional do Modal Rodoviário

A tabela 17 apresenta os custos do modal rodoviário divididos em variáveis e fixos, para compreensão da tabela algumas informações devem ser mencionadas:

1. O percurso percorrido pelo caminhão: Via parafuso: pedágio Bahia Norte e BR 324: pedágios Simões Filho e Amélia Rodrigues, contorno em Feira de Santana e BR 116 (VIA BAHIA,2018).
2. Sobre a AET, Antônio Neto (2018), Coordenador II – SEINFRA/SIT/DOT (Diretoria de Operação e Tráfego), diz que, no Estado da Bahia a AET (Autorização Especial de Trânsito) tem valor de R\$ 164,71 (por viagem) até 45 toneladas, acima desse peso é adicionado R\$ 9,24 a cada 5 toneladas excedente conforme Portaria nº 099/2015 - Tabela de Serviços.
3. Para carga indivisível e volumosa existe a necessidade da escolta. Quando o comprimento do conjunto transportador ultrapassa 35,0 m (a carga possui 40 metros de comprimento), são necessários 2 veículos para escolta e a velocidade dos veículos deve chegar a 50 km/h (GUIA DO TRC, 2018).
4. Para cálculo do custo com escolta utilizou-se a planilha da NTC & LOGÍSTICA (2017), Custo de transporte = (Diária) x (Duração de serviço) + (custo com km) x (distância percorrida).

5. Para cálculo da quantidade de dias de viagem, baseou-se na Lei 13.103/2015 que diz, “11 horas de descanso dentro de cada 24 horas, podendo o descanso ser fracionado, observado, no primeiro período, mínimo de 8 horas ininterruptas, e nas demais horas o descanso pode coincidir com os 30 min. de pausa obrigatória a cada 5 horas e 30 min. de condução (novo art. 67-C, §3º, CTB)” (SIMDICAMP, 2018).
6. O aluguel do guindaste é por hora, sendo o valor de R\$ 123,98 (SINDIPESA, 2018) e capacidade para carregar 30 toneladas; Devido ao tamanho da pá são necessários 2 guindastes, um para a raiz e outro para ponta. Em conversa com algumas empresas do ramo, foi informado que o tempo para que uma pá seja colocada na carreta pode chegar a 45 minutos e levando em consideração o tempo necessário para patolamento dos guindastes, serão considerados 2 horas de aluguel;
7. O caminhão a 50 km/h levaria 24 horas para completar o percurso, contudo, com a obrigatoriedade do descanso, seriam necessárias 35 horas e acrescenta-se 4 horas para carga e descarga (2 horas na fábrica, 2 horas no canteiro de obra), tem-se um total de 39 horas;
8. Para as diárias do motorista de acordo SINDICARGA (2017), diária R\$ 21,70 e a pernoite R\$ 43,40;
9. O piso salarial foi retirado de Sindicamp (2015); Sindicarga (2018). Para cálculo da hora trabalhada, informa-se que apenas o motorista completa todo o percurso, o restante da equipe auxilia na carga e descarga (Apêndice A);
10. Os dados da Carreta baseou-se na Planilha de Custo Operacional da Divisão de Transportes da Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2006); Senese (2018);
11. O Valor da TUV é de acordo ao estabelecido pelo DNIT (2018) (Anexo B).

Tabela 24 - Composição de Custo Caminhão Truck L para Transporte de 1 pá eólica

CUSTOS VARIÁVEIS			
Grupos	Itens	Custo	R\$/km
Combustível	Desempenho (km/l)	3	
	Diesel (custo/l)	3,6 ⁴	
		R\$ 11.880,00	R\$10,80
Manutenção (Mão de obra + peça)	48.000 km/ano: R\$ 6.740,81 / R\$/km: R\$ 0,14		
	Manutenção equivalente a 1.100 Km		R\$ 154,00
Diárias Motoristas	Diária (Ida e Volta)	R\$ 21,70 (x3)	R\$ 65,10
	Pernoite	R\$ 43,40 (x3)	R\$ 129,60
		R\$ 194,70	R\$0,18
Equipe (H/H)	Motorista		R\$ 707,12
	Operador de ponta raiz		R\$38,70
	Operador de ponta		R\$38,70
	Armador (27,38 x 4)		R\$ 109,52
Pedágios (2-ida e volta) BA-535, km. 6,4 R\$ 23,70 / BR – 324, Km 598 R\$ 26,10 BR-324/BA, km.551 R\$ 26,10			
		R\$ 151,80	R\$0,14
	TUV	R\$36,00	R\$36,00
	AET	R\$ 164,71	R\$ 164,71
	Escolta (2)	R\$ 2.466,66/escolta	R\$ 4.933,32
	Guindastes (2 guindastes-2 horas cada) Fábrica	R\$ 123,98/h	
	Guindastes (2 guindastes-2 horas cada) Canteiro	R\$ 123,98/h	
		R\$ 991,84	R\$0,90
Total			R\$17,61
CUSTOS FIXOS			
Depreciação	Taxa de depreciação (a.a) 25%	Vida útil (anos) 4	
	Aquisição	R\$ 385.000,00	
	Depreciação		R\$ 96.250,00
Total			R\$ 96.250,00

⁴ O combustível da carreta é o Diesel, cujo preço do litro foi obtido em:
<https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2018/09/06/gasolina-tem-novo-reajuste-e-chega-a-r-489-em-salvador.ghtml>

Fonte: Senese (2018); UFV (2006); Autor (2018)

O custo variável da carreta para o transporte de 1 pá foi de R\$ 17,61. As condições técnicas da carreta só permitem que ela transporte 1 pá por vez, logo, para realizar o transporte de 4 pás eólicas, o seu custo seria de R\$ 70,44.

Para completar o percurso de ida e volta, seriam necessárias 74 horas, considerando as 174 horas mensais e os 20% disponíveis para tempos ociosos, a carreta realizaria aproximadamente 2 viagens/mês ou 24 viagens/ano.

O custo fixo anual da carreta é de R\$ 96.250,00 e o custo fixo mensal é de R\$ 8.020,8, sendo o custo fixo mensal por viagem de R\$ 4.010,42.

Quando analisado o custo variável, o SI-100 mostrou-se uma opção interessante, pois, para o transporte de 4 pás eólicas seriam necessárias 4 viagens de carreta, tendo um aumento de quase 42% no valor. Além disso, o SI-100 conseguiria transportar 528 pás eólicas/ano e a carreta 24 pás eólicas/ano, para transportar a mesma quantidade que o SI-100 seriam necessárias 22 carretas para movimentar as 528 pás.

Contudo, o custo fixo do SI-100 é elevado, o que não o torna atrativo, para considerar esse valor aceitável deve-se destacar o custo para instalação minimamente acessível ao local de obra.

Como trata-se de um local em que a infraestrutura oferecida não atende aos requisitos necessários para construção do empreendimento e a movimentação de carga e pessoas; essa estrutura deve ser construída. Para criação de vias de acesso e heliporto, é preciso a remoção do solo vegetal, escavação comum, base (pedra rachão), brita graduada, sinalização e drenagem superficial. Existem casos em que é preciso o desmatamento da área e o destocamento (remoção de toco e árvores), na tabela 18 é demonstrado que para a construção de 2.500 km de via são necessários 100.00 m² de área desmatada. O hidroviário não está diretamente ligado ao desmatamento para construção de vias, contudo, por ser necessário um outro modal para chegar até o porto e para a entrega ao destino final (geralmente o rodoviário), há uma participação indireta como as vias para o acesso ao porto por exemplo.

Tabela 18 - Construção de Via x Desmatamento

<i>Modal</i>	<i>Extensão (Km)</i>	<i>Área Desmatada (1 mil km²)</i>	<i>Relação (m²/Km)</i>
Rodovia	2.500	100.00	40.000
Hidrovia	2.202	0	0

Fonte: Pego (2016)

O custo para realização dessas atividades, tem um impacto no custo do empreendimento. Considera-se que para essas instalações o valor poder ser 8 % do custo do aerogerador.

Outra utilidade ao DH é a sua utilização na montagem do canteiro de obra, como o transporte de contêineres, carros para movimentação das equipes, determinados maquinários, etc. Por exemplo, para o transporte de contêineres com dimensões 6,00 m x 2,30 m x 2,80 m e o SI - 100 com um volume de carga de 5. 472 m³, seria possível transportar aproximadamente 142 contêineres em uma única viagem.

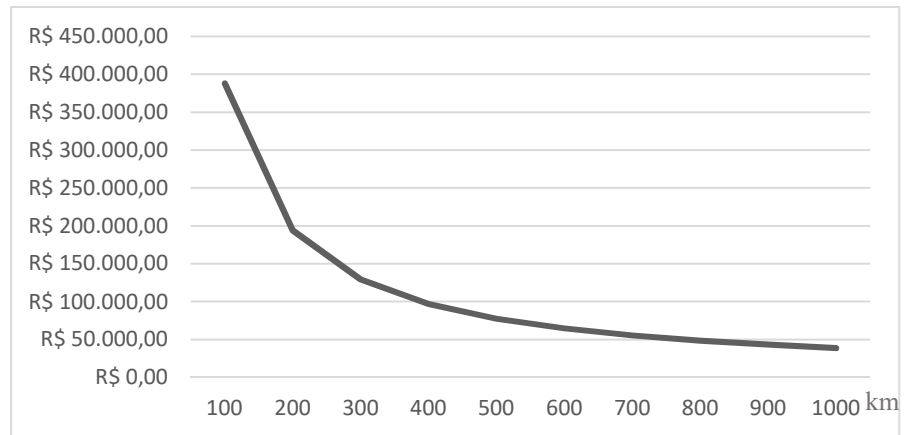
4.7 DESVANTAGENS DO DIRIGÍVEL HÍBRIDO

Os dirigíveis apresentam vantagens como mencionado ao longo desta dissertação, contudo, o custo de fabricação dessas aeronaves é elevado e reflete no preço de venda do veículo, esse fator pode deixar os clientes ainda mais receosos quanto a tecnologia, visto que os incidentes que aconteceram ao longo da história já provocam esse sentimento.

Outro ponto é o comportamento da aeronave sob condições climáticas desfavoráveis, em que há variações de temperatura, umidade e pressão, apesar do avanço tecnológico ainda não se tem de fato um dirigível de carga atuando para avaliar o real comportamento.

Os DH não são viáveis em curtas distâncias e em locais em que exista uma infraestrutura adequada para movimentação de carga, devido ao custo elevado. No gráfico 1 é possível notar o declínio do custo varável a medida que há o aumento da distância a ser percorrida.

Gráfico 1 - Custo Variável/Km do SI-100



Fonte: Autor (2019).

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÃO

O ressurgimento do dirigível como uma alternativa no segmento do transporte é inovador, não por parte do conceito LTA, este possui 100 anos ou mais, mas o fato da utilização de novos modelos, como o DH para o transporte de cargas de grande porte. Esse modo de transporte pode proporcionar uma possível solução alternativa de ordem estratégica para a integração e soluções as deficiências logísticas e dos meios de transportes convencionais. O avanço tecnológico tem permitido o desenvolvimento de componentes que tornam esses veículos cada vez melhores em benefício da humanidade.

O fato de atuar ponto a ponto e a dependência mínima de infraestrutura logística o torna uma opção aos locais de difíceis acesso que demandam grandes investimentos para tornar um local meramente acessível. A estrutura necessária a esse transporte é um local aberto livre de obstáculo (colinas, cercas) e podendo pousar em qualquer superfície como grama, mar; que é proporcionado pela tecnologia ACLS.

A relação capacidade x tempo de transporte é um benefício que favorece ao setor logístico. A capacidade de carga dos modais estudados, a do DH só é inferior ao navio, que possui maior tempo para completar o percurso e é um modal misto. A possibilidade de atuar ponto a ponto pode favorecer a redução do prazo de construção do empreendimento e de custo de operação, na comparação entre a carreta e o SL-100 ficou claro essa vantagem da aeronave, ao multiplicar o valor do custo variável da carreta por 4, a quantidade de viagens necessárias para o transporte de 4 pás, o SL-100 mostrou-se uma opção melhor. Essa condição permite também que o dirigível híbrido tenha melhor aproveitamento de transporte realizando mais viagens mensais.

Além disso, é uma opção com baixa emissão de carbono, no estudo realizado foi percebido que a diferença do DH para o marítimo (modal menos poluente) foi mínima, cerca de 3%, caso levasse em consideração os equipamentos extras que são inerentes a operação do modal marítimo, essa diferença poderia igualar-se ou até mesmo ser inferior.

O DH pode atuar em diversos nichos em prol da sociedade, por exemplo, ajuda

humanitária em regiões em que a infraestrutura é praticamente escassa ou fruto de desastre naturais. Assim como, uma possibilidade de utilização na montagem de equipamentos robustos, ao invés dos grandes guindastes que exigem investimentos significativos para chegar até o canteiro de obras e demandam um tempo para realização de carga e descarga. Como também, o uso de aeronaves para o transporte de materiais *offshore*.

A aeronave pode ser um auxílio aos transportes existentes para sanar as externalidades negativas que são comuns ao segmento logístico e que demandam custos elevados para realização. Contudo, o valor elevado de fabricação da aeronave pode ser um empecilho para que esse meio de transporte seja integrado ao sistema logístico, espera-se que com o avanço constante da tecnologia esse custo possa ser reduzido e o custo de venda da aeronave não seja um fator negativo.

Como sugestões de trabalhos futuros, seria interessante uma análise econômica do uso de dirigíveis híbridos na montagem de infraestrutura volumosa e um detalhamento nas vantagens e desvantagens dessa sugestão, assim como, esse impacto nas plataformas offshore.

REFERÊNCIAS

- A NOVA lei Trabalhista Profissional no Transporte Rodoviário de Carga, 2015. Disponível em:
http://www.sindicamp.org.br/content/upload/arquivos/ACERVO%20JURIDICO/LEGISLA%C3%87%C3%83O/REGULAMENTA%C3%87%C3%83O%20-%20TRC/Lei%2013103%202015_com%20decreto.pdf. Acesso: 28 ago. 2018.
- AEROSCRAFT. Disponível em: <http://aerocraft.com/fleet-copy/4580475518>. Acesso: 29 ago. 2018.
- AIRLANDER. Disponível em: <https://www.hybridairvehicles.com>. Acesso: 29 ago. 2018.
- AIRSHIP DO BRASIL. Disponível em: <http://www.adb.ind.br/>. Acesso: 29.08.2018.
- AMARANTE, Odilon A. Camargo do; BROWER, Michael; ZACK, John; SÁ, Antonio Leite de. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília-DF: Ministério de Minas e Energia Eletrobras, 2001.
- ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Transporte Ferroviário**. Disponível em: <http://appweb2.antt.gov.br/carga/ferroviario/ferroviario.asp>. Acesso: 9 dez. 2016.
- ARDEMA, Mark D. Feasibility of Modern Airships: Preliminary Assessment. **Journal of Aircraft**, [S.l], v. 14, n. 11, p. 1140-1148, 1977.
- BORELLA, Ismael Carlos Bianchessi; DE SOUZA, Eduarda Dutra; NILSON, Marisa; RODRIGUEZ, Carlos Manuel Taboada. **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica para Utilização do Dirigível no Transporte de Cargas Gerais no Brasil**. XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Joinville, SC, Brasil, 10 a 13 de outubro de 2017.
- BRASIL lidera na contagem global de projetos offshore planejados. **O Petróleo**, 10 setembro 2018. Disponível em: <https://www.opetroleo.com.br/brasil-lidera-na-contagem-global-de-projetos-offshore-planejados/>. Acesso: 28 set. 2018.
- BRASIL. **Lei nº 13.475, de 28 de agosto de 2017**. Dispõe sobre o exercício da profissão de tripulante de aeronave denominado aeronauta; e revoga a Lei nº 7.183, de 5 de abril de 1984. Brasil: Subchefia para Assuntos Jurídicos, [2017]. Disponível em:
http://www.aeronautas.org.br/images/Lei_13475_Integra.pdf. Acesso em: 27 mar. 18.
- CÁLCULO dos custos incidentes sobre os serviços de locação de guindastes. Disponível: <http://sindipesa.com.br/pagina.asp?id=208>. Acesso: 29 ago. 2018.
- CAMPLIN, Giles. **Rediscovering the Arcane Science of Ground Handling Large**

Airships: an Investigation Into Ways of Reducing the Risks Inherent in the Development of a New Generation of Very Large Airships and of Establishing Guidelines for Their Ground Handling Procedure. 2007. Tese (Doutorado em Filosofia) – Escola de Engenharia e Ciências Matemáticas, Londres, 2007.

CAMPOLINA, Alessandro Gonçalves et al. **Análise de Decisão Multicritério para Alocação de Recursos e Avaliação de Tecnologias em Saúde: Tão Longe e Tão Perto?**. Cadernos de Saúde Pública, v. 33, p. e00045517, 2017.

CAMPOS NETO, Carlos Alvares da Silva. Reflexões sobre Investimentos em Infraestrutura de Transporte no Brasil. **Radar**, [S.l], n. 47, 2016.

CAMPOS, L. P. G.; RISSARDO A C. **Legislação para transportes especiais de carga.** São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego, 1987. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/20542/nt117.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2018.

CAPO, Jucimar Moro. **Gerenciamento de Projetos Aplicado ao Transporte de Cargas Especiais Indivisíveis.** 2005. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional do Departamento de Economia, Contabilidade e Administração) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2005.

CARICHNER, Grant E.; NICOLAI, Leland M. **Fundamentals of Aircraft and Airship Design.** [S.l]: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2013.

CCT REGULAR - CONVENÇÃO COLETIVA DE TRABALHO AVIAÇÃO REGULAR 2017/2018 - SNA/SNEA, 2018. Disponível em: https://www.aeronautas.org.br/images/CCT_REGULAR_2017-2018.pdf. Acesso: 27 ago. 2018.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte de Cargas no Brasil: Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País.** Rio de Janeiro: COPPEAD, 2007.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte de cargas no Brasil.** Brasília-DF: 2016. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/> . Acesso em: 16 dez. 2016.

COLLINSON, Richard PG. Introduction to Avionics Systems. **Springer Science & Business Media.** United Kingdom: Springer Science+Business, 2011. ISBN 978-94-007-0707-8
CONVEN - Convenção Coletiva de Trabalho 2017. Disponível em: <http://www.sinteata.com.br/2015/wp-content/uploads/2017/08/CONVEN----O-COLETIVA-DE-TRABALHO-2017-SINTEATA-X-SIENATA.pdf>. Acesso: 27 ago. 2018.

CONVENÇÃO Coletiva de Trabalho 2017/2018. Disponível em: http://sindicarga.org.br/site/wp-content/uploads/2017/08/CCT_RIO-DE-JANEIRO_CARGA-

SECA-2017.pdf. Acesso: 28 ago. 2018.

DID - DEFENSE INDUSTRY DAILY. **Walrus/HULA Heavy-Lift Blimps Rise, Fall Rise?**. Disponível em: <http://www.defenseindustrydaily.com/walrus-heavylift-blimpgetting-off-the-ground-01103>. Acesso: 19 jan. 2019. Disponível em: <http://www.caa.gov.tw/BIG5/download/fsd/FAA-P-8110-2chg2.pdf>. Acesso: 27 ago. 2018.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/sala-de-imprensa/imagens-noticias/planilha-crema-2.pdf>. Acesso em: 27 mar. 18.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA TERRESTRE. Disponível em: www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/sistema-de...de.../CalculoTUV.xls. Acesso: 28 ago. 2018.

ELFES, Alberto, et al. Project AURORA: Development of an Autonomous Unmanned Remote Monitoring Robotic Airship. **Journal of the Brazilian Computer Society**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, 1998.

EPSTEIN, Dan; SYKES, Judith; CARRIS, Jo. **Oficina “Pegada de Carbono”**. Brasília, 2011. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/255/_arquivos/3_como_medir_creditos_de_carbono_255.pdf. Acesso: 01.jun. 2019.

FABRE, Guillaume. **The Low-Carbon Buildings Method: a Simplified Method for Estimating Buildings Construction GHG Emissions and Emission Reduction Performance**, 2011. ISBN: 978-1-4357-8466-6.

FDC - FUNDAÇÃO DOM CABRAL. **Pesquisa Custos Logísticos no Brasil**, 2015b. Disponível em: <https://www.fdc.org.br/conhecimento/publicacoes/relatorio-de-pesquisa-25134>. Acesso em: 28 ago. 2018.

FDC - FUNDAÇÃO DOM CABRAL. **O Brasil cai 18 Posições no Ranking de Competividade**. 2015a. Disponível em: <https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2018/09/06/gasolina-tem-novo-reajuste-e-chega-a-r-489-em-salvador.ghtml>. Acesso: 20 set. 2018.

FERRARI, Tatiana Kolodin; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Avaliação dos Critérios de Escolha de Operador pelos Embarcadores de Carga: uma Proposta de Custos Generalizados de Transporte**. Rio de Janeiro.: IPEA, 2019.

FLEURY, Paulo Fernando. **Gestão estratégica do transporte**. Revista Tecnológica, v. 82, p. 60-67, 2002.

GHANMI, A.; SOKRI, A. **Airships for Military Logistics Heavy Lift: A Performance Assessment for Northern Operation Applications**. Canada: CORA, Technical

Memorandum, 2010.

GOMES, Kesia Guedes Arraes. **Um Método Multicritério para Localização de Unidades Celulares de Intendência da FAB**. 2009. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

GOMES, S. B. V; RAMOS, J. G. **Airship Dynamic Modeling for Autonomous Operation: Proceedings**, 1998. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/680973>. Acesso em: 20 set. 2018.

GOMES; Sérgio Bittencourt Varella; MIGON, Márcio Nobre. Os dirigíveis e o Brasil: eterna promessa ou caso concreto?. **BNDES Setorial**, [S.l], n. 35, p. 303-332, 2012.

GORDON, Walter O.; HOLLAND, Chuck; WILHELM, Karen S. Back to the Future: Airships and the Revolution in Strategic Airlift. **Air Force Journal of Logistics**, [S.l], v. 29, n. 3/4, p. 46, 2005.

GOVERNMENT emission conversion factors for greenhouse gas company reporting. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting#conversion-factors-2018>. Acesso: 28 ago. 2018.

GT - GUIA DO TRANSPORTE DO TRC. **O que é Carga Indivisível?**. Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/noticiaid2.asp?id=32290>> Acesso: 21 out. 17.
GUIA DO TRC. Disponível em: <http://www.guiadotrc.com.br/lei/reso2264.asp>. Acesso: 28 ago. 2018.

HAQUE, A.U; ASRAR, W; OMAE, A.A; SULAEMAN, E.; ALI, M.J. **Aerostatic and Aerodynamic Modules of a Hybrid Buoyant Aircraft: An Analytical Approach**. *IJUM Engineering Journal*, [S.l], v. 16, n. 1, 2015.

HASHIBA, Tiffany Ide. **Metodologia para Escolha de Modal do Transporte, do Ponto de Vista da Carga, Através da Aplicação do Método de Análise Hierárquica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

IAÑEZ, Maurício Mengai; CUNHA, Cláudio Barbier da. Uma Metodologia para a Seleção de um Provedor de Serviços Logísticos. **Production**, [S.l], v. 16, n. 3, p. 394-412, 2006.

IBGE mapeia a infraestrutura dos transportes no Brasil. **Governo do Brasil**, 21 novembro 2014. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/11/ibge-mapeia-a-infraestrutura-dos-transportes-no-brasil>. Acesso: 26 nov. 2017.

ILIEVA, Galina et al. MAAT—Promising Innovative Design and Green Propulsive Concept for Future Airship's Transport. **Aerospace Science and Technology**, [S.l], v. 35, p. 1-14, 2014.

INFRAERO AEROPORTOS. **Tarifário**. 2018. Disponível em: http://www4.infraero.gov.br/media/642564/tarifario_port_2018.pdf. Acesso: 28 ago. 2018. INFRAERO investiu R\$16,6 mi na manutenção na manutenção de aeroportos em 2015. **Governo do Brasil**, 01 março 2016. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/editoria/infraestrutura/2016/03/infraero-investiu-r-16-6-mi-na-manutencao-de-aeroportos-em-2015>. Acesso em: 27 mar.18.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Infraestrutura Econômica no Brasil: Diagnóstico e Perspectiva para 2025**. Brasília-DF: IPEA, 2010. 586 p. (Série Eixos Estratégicos do Desenvolvimento Brasileiro; Infraestrutura Econômica, Social e Urbana; Livro 6)

KALE, Sagar M.; PANT, Rajkumar S. Structural Design of Mooring Mast for Remotely Controlled Airship. *In: INTERNATIONAL AIRSHIP CONVENTION AND EXHIBITION, 5.*, 2004, Oxford. **Anais [...]**. Oxford: Airship Association 2004.

KHALEELULLAH, Syed; BHARDWAJ, Utsav; PANT, Rajkumar Sureshchandra. Design, Fabrication and Testing of Mooring Masts for Remotely Controlled Indoor and Outdoor Airships. **Journal of The Institution of Engineers, India**, v. 97, n. 2, p. 257-277, 2016.

LEONARDI, J.; MCKINNON, A.; PALMER, A. Guidance on Measuring and Reporting Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Freight Transport Operations. **Technical report, Tech Rep**, The UK's Department for Transport (DfT), 2010.

LI, Yuwen; NAHON, Meyer; SHARF, Inna. Airship Dynamics Modeling: A Literature Review. **Progress in Aerospace Sciences**, [S.l.], v. 47, n. 3, p. 217-239, 2011.

LIMA, Jose Dantas et al. Uso de Modelos de Apoio à Decisão para Análise de Alternativas Tecnológicas de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio Grande do Sul, v. 19, n. 1, p. 33-42, 2014.

LOCKHEED MARTIN. **Hybrid Airship**. Disponível em: <https://www.lockheedmartin.com>. Acesso: 10 dez. 2017.

MAEKAWA, S; SHIBASAKI, K; KUROSE, T; MAEDA, T; SASAKI, Y; YOSHINO, T. Tear Propagation of a High-Performance Airship Envelope Material. **Journal of Aircraft**, [S.l.], v. 45, n - 5, 2008. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/1.32264>. Acesso em: 26 nov. 2017.

MANUAL de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas – 2014. São Paulo: DECOPE, 2014. Disponível em: http://www.portalntc.org.br/images/jce/arq_down/publication0001.pdf. Acesso em: 28 ago. 2018.

MARINHO, F. C.; MEIRELLES, E. G.; JUNIOR, D. M. P. Transporte de Cargas: Uma

Análise Sobre os Modais e Sua Aplicação na Região Sul Fluminense. **Revista ADMpg Gestão Estratégica**, Ponta Grossa, v. 6, n. 1, 2013.

MENG, Junhui et al. Mechanical Properties of Woven Fabric Composite for Stratospheric Airship Envelope Based on Stochastic Simulation. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 2016.

METADADO. [01 jun. 2019]. Disponível em:

http://www.mma.gov.br/pnia/Arquivos/Temas/Atmosfera_e_Mudancas_Climaticas_AMC/1_Mudancas_Climaticas/AMC_1_1/Metadado_AMC_1_1.pdf. Acesso: 01 jun. 2019.

MINERAL Resources Program. [01 ago. 2018.]. Disponível em:

<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/helium/mcs-2017-heliu.pdf>. Acesso: 01 ago. 2018.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL. Disponível em:

<http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/investimentos/acessos-portuarios>. Acesso em: 27 mar. 18.

MORAES, Edmilson Alves; SANTALIESTRA, Rodrigo. Modelo de Decisão com Múltiplos Critérios para Escolha de Software de Código Aberto e Software de Código Fechado. *In: ENCONTRO DA ANPAD*, 31., Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, [S.n], 2007. OBRAS OLINE. Disponível em: <https://www.obrasonline.com.br/quem-somos/>. Acesso: 26 nov. 2017.

OLIVEIRA, Mariana Florindo Batista de. **Gestão de Custo Logístico em uma Transportadora de Pequeno Porte na Região Oeste do Paraná**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5530/1/MD_COENP_2015_1_11.pdf. Acesso em: 28 ago. 2018.

ORTEGA, Ydelio Miguel Valencia. **Ingeniería de Procesos de Polimerización** - Caso de Estudio. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Química Aplicada) - Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, 2006.

PASTRE - Inovações para o Transporte. Disponível em: <http://www.pastre.com.br/pt-br/transporte-de-pas-eolicas>. Acesso: 28 ago. 2018.

PBLog - PLANO BRASIL DE INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA. Uma Abordagem Sistemática, Brasília/DF, 2013.

PEGO, Bolívar. **Logística e transportes no Brasil**: Uma Análise do Programa de Investimentos 2013-2017 em Rodovias e Ferrovias: Relatório de Pesquisa. Rio de Janeiro, IPEA, 2016.

PEREIRA, Lia Bibiana Nogueira. **Viabilidade Técnica e Económica da Utilização de Dirigíveis no Sector do Turismo em Portugal**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica) – Universidade da Beira Interior, Covilhã 2011.

PLANILHA Referencial de Custos - Carga Indivisível. 2017. Disponível: <http://www.ntctec.org.br/media/files/artigos/tabelaout17.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2018.

PLANO de Custo Operacional, Divisão de Transportes, 2006. Disponível em: <https://www.dti.ufv.br/dtr/>. Acesso: 27 ago. 2018.

PRENTICE, B. E.; HOCHSTETLER, R. **Transport Airships: Not Just Another Aircraft**. 2012. Disponível em: <http://ctrf.ca/wp-content/uploads/2014/07/20PrenticeHochstetlerTransportAirships.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2018.

PRENTICE, Barry E.; BEILOCK, Richard P.; PHILLIPS, Alfred J. **Economics of Airships for Perishable Food Trade**. 2004. Disponível em: https://umanitoba.ca/faculties/management/ti/media/docs/AA04_airship_large1.pdf. Acesso em: 28 ago. 2018.

PRENTICE, Barry E.; KNOTTS, Robert. Cargo Airships: International Competition. **Journal of Transportation Technologies**, [S.l], v. 4, n. 3, p. 187-195, 2014.

PRENTICE, Barry E.; LAU, Yui-yip. Market Potential for Transport Airships in Service to Hong Kong. **International Journal of Aviation Management**, [S.l], v. 3, n. 1, p. 68-83, 2016.

PRENTICE, Barry E.; RUSSELL, Stuart. **Competing Technologies and Economic Opportunities for Northern Logistics: The Airship Solution**. 2009. Disponível em: <http://mpira.ub.uni-muenchen.de/58547/> Acesso em: 28 ago. 2018.

PRENTICE, Barry E.; THOMSON J. **Airship Applications in the Arctic: Preliminary Economic Assessment**. 2003. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2003-6847>. Acesso em: ago. 2018.

PRENTICE, Barry E; GREWAL, Nirbir; DOELL, Bryce; ADAMAN, Matt. **Cargo Airships versus All-Weather Roads—A Cost Comparison**. 2013. Disponível em: <http://ctrf.ca/wp-content/uploads/2017/09/CTRF2013PrenticeetalFinanceandInvestment.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2018.

RAMOS, Josué Junior Guimarães et al. **Contribuição ao Desenvolvimento de Dirigíveis Robóticos**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em:

https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83137/TeseJosue_Dirigivel%20-Num-pdfA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 28 ago. 2018.

RATTON, E. et al. **Sistemas de transportes TT046**. 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/14140974-Sistemas-de-transportes-tt046.html>. Acesso em: 27 mar. 2018.

RECEITA FEDERAL - Ministério da Fazenda. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/anexoOutros.action?idArquivoBinario=36085>. Acesso em 19 jan. 18.

REQUISITOS para concessão de licenças de pilotos e instrutores de voo. Disponível: <http://paraserpiloto.com/wp-content/uploads/2015/04/RBHA-61.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2018.

RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral; FERREIRA, Karine Araújo. Logística e Transportes: Uma Discussão sobre os Modais de Transporte e o Panorama Brasileiro. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 22., 2002, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: ABEPRO, 2002. Disponível em: <http://www.tecspace.com.br/paginas/aula/mdt/artigo01-MDL.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2018.

ROS AERO SYSTEMS. Disponível em: <http://rosaerosystems.com/atlant/>. Acesso 03 jan. 18.

SANQUETTA, Carlos Roberto; SILVA, Rafael Willian da. Emissões de Gases de Efeito Estufa Geradas por Aeronaves Militares T-25 E T-27, Na Base Aérea de Pirassununga-SP. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 14, n. 2, p. 175-184, 2014. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/8344>. Acesso em: 28 ago. 2018.

SENESE, Bruno Antonio. Análise Comparativa entre os Modais Aéreo e Rodoviário, sob a Ótica de Custo Total. 2015. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2455027/mod_resource/content/1/TCC%20-%20Bruno%20Antonio%20Senese%20-%20Custo%20Total%20e%20Ponto%20de%20Equilibrio.pdf. Acesso: 28 ago. 2018.

SONAWANE, Bhushan S. et al. Material Characterization of Envelope Fabrics for Lighter-Than-Air Systems. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321918021_Material_Characterization_of_Envelope_Fabrics_for_Lighter_Than_Air_Systems. Acesso em: 28 ago. 2018.

STOCKBRIDGE, Casey; CERUTI, Alessandro; MARZOCCA, Pier. Airship research and development in the areas of design, structures, dynamics and energy systems. **International Journal Aeronautical and Space Sciences**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 170-187, 2012.

TARIFA Portuária dos Portos de Salvador e Aratu - Candeias. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Portal/TarifasPortuarias/Pdf/TarifasPortuariasSalvadorAratu.pdf>

Acesso: 28 ago. 2018.

TAYLOR, G. A Green Solution to Canada's Transport Challenge. 2009. Disponível em: <http://www.isopolar.com/wp-content/uploads/2013/03/Gordon-Taylor-presentation-Hybrid-Airships-A-Green-Solution-to-Canadas-Transport-Challenge.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2019.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Airship Design Criteria. 1995.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Advisory Circular. *No: 21.17-1A*, 1992. Disponível em: https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac_21-17-1a.pdf. Acesso: 27 ago. 2018.

VIA BAHIA, Disponível em: <http://www.viabahiasa.com.br/tarifas/>. Acesso em 26.07.18.

ZHANG, Ke-shi; HAN, Zhong-hua; SONG, Bi-feng. **Flight Performance Analysis of Hybrid Airship**. 2009 . Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269062335_Flight_Performance_Analysis_of_Hybrid_Airship. Acesso em: 28 ago. 2018.

ZHANG, L.; MINGYUN, Lv; MENG, J.; Du, H. Conceptual Design and Analysis of Hybrid Airships with Renewable Energy. **Journal of Aerospace Engineering**, 2017.

ANEXO A - AET



SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TRANSPORTE
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM

AUTORIZAÇÃO ESPECIAL Nº _____ 1

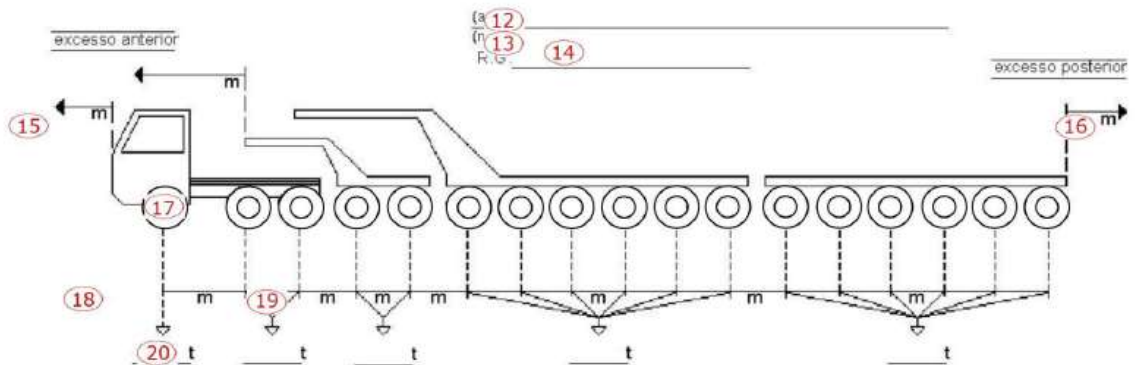
Ilmo. Sr. Superintendente do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo,

_____ 2 (nome) _____ 3 (CPF ou CNPJ)
Endereço _____ 4 (rua e número) _____ 4.1 (cidade) _____ (UF)

requer a V. Sa. Autorização Especial para transporte de carga excepcional, constituída de _____ 5, com peso e dimensões abaixo discriminados, pertencente a _____ 6 de _____ 7 (cidade) a _____ 8 (cidade), pelas Rodovias SP - _____ 9 nos termos da legislação de trânsito vigente.

Declaro (mos) estar ciente (s) que a concessão desta Autorização não exige o beneficiário quanto a eventuais danos que o veículo vier causar à via pública.

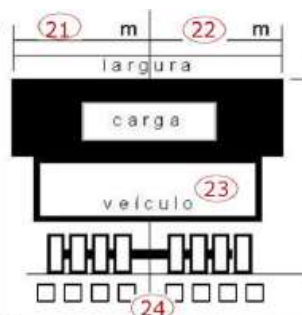
_____ 10 local / _____ 11 data / 20 _____



TRANSPORTADOR
Nome _____ 25
End. _____
Município _____ UF _____

UNIDADE TRATORA
Marca _____ 26
Modelo _____
Placa _____
Município _____ UF _____

UNIDADE TRACIONADA
Marca _____ 27
Modelo _____
Placa _____
Município _____ UF _____



DADOS DO VEÍCULO E CARGA:
PESO _____ 28
TARA _____ 29 t
CARGA ÚTIL _____ 29 t
TOTAL BRUTO _____ 30 0,00 t

DIMENSÕES
COMP. TOTAL _____ 31 m
LARG. TOTAL _____ 32 m
ALT. TOTAL _____ 33 m

CONFERE _____ 34
DER / _____ / _____ / 20

Autos nº _____ / DER / _____ Prov. _____
ESTA AUTORIZAÇÃO NÃO CONTÉM RASURA

AUTORIZO _____ 35
uma viagem diversas viagens
período de _____ / _____ / _____ a _____ / _____ / _____
horário: 06h às 18h sem restrição

ESCOLTA: pista simples pista dupla
CPRv (_____) (_____)
Credenciada (_____) (_____)
Dispensada

DER / _____ de _____ de 20 _____

ANEXO B – TABELA DE VALORES DE K

TABELA DE VALORES DE K PARA A
"TARIFA DE UTILIZAÇÃO DA VIA - TUV - POR TONELADA"

DISTANCIA DO TRANSPORTE KM	VALOR REF	VALOR DE K
0 - 19	0.10	12.00
20 - 39	0.11	13.20
40 - 59	0.12	14.40
60 - 79	0.13	15.60
80 - 99	0.14	16.80
100 - 139	0.15	18.00
140 - 179	0.16	19.20
180 - 219	0.17	20.40
220 - 259	0.18	21.60
260 - 319	0.19	22.80
320 - 379	0.20	24.00
380 - 439	0.21	25.20
440 - 499	0.22	26.40
500 - 559	0.23	27.60
560 - 639	0.24	28.80
640 - 719	0.25	30.00
720 - 799	0.26	31.20
800 - 879	0.27	32.40
880 - 959	0.28	33.60
960 - 1039	0.29	34.80
1040 - 1119	0.30	36.00
1120 - 1199	0.31	37.20
1200 - 1279	0.32	38.40
1280 - 1359	0.33	39.60
1360 - 1439	0.34	40.80
1440 - 1519	0.35	42.00
1520 - 1599	0.36	43.20
1600 - 1679	0.37	44.40
1680 - 1759	0.38	45.60

DISTANCIA DO TRANSPORTE KM	VALOR REF	VALOR DE K
1760 - 1839	0.39	46.80
1840 - 1919	0.40	48.00
1920 - 1999	0.41	49.20
2000 - 2079	0.42	50.40
2080 - 2159	0.43	51.60
2160 - 2239	0.44	52.80
2240 - 2319	0.45	54.00
2320 - 2399	0.46	55.20
2400 - 2479	0.47	56.40
2480 - 2559	0.48	57.60
2560 - 2639	0.49	58.80
2640 - 2719	0.50	60.00
2720 - 2799	0.51	61.20
2800 - 2879	0.52	62.40
2880 - 2959	0.53	63.60
2960 - 3039	0.54	64.80
3040 - 3119	0.55	66.00
3120 - 3199	0.56	67.20
3200 - 3279	0.57	68.40
3280 - 3359	0.58	69.60
3360 - 3439	0.59	70.80
3440 - 3519	0.60	72.00
3520 - 3599	0.61	73.20
3600 - 3679	0.62	74.40
3680 - 3759	0.63	75.60
3760 - 3839	0.64	76.80
3840 - 3919	0.65	78.00
3920 - 3999	0.66	79.20

APÊNDICE A - SALÁRIOS

Salários - Modal Rodoviário	
Motorista	R\$ 1.681,80
op raiz	R\$ 1.703,00
op ponta	R\$ 1.703,00
Armador	R\$ 1.204,75
Armador	R\$ 1.204,75
Armador	R\$ 1.204,75
Armador	R\$ 1.204,75

Salários - SI-100		
Qnt para operação de voo	Valor unitário	Valor total
Piloto (2)	R\$ 5.031,09	R\$ 10.062,18
Mecânico de voo (1)	R\$ 3.191,17	R\$ 3.191,17
Loadmaster (1)	R\$ 3.333,33	R\$ 3.333,33
Despachante de voo (1)	R\$ 2.394,18	R\$ 2.394,18
Agente de op de carga	R\$ 1.992,00	R\$ 1.992,00
Agente de op de rampa	R\$ 1.569,99	R\$ 1.569,99

APÊNDICE B - PRODUÇÃO ACADÊMICA

Artigo Submetido e Aceito em Congresso:

MENDES, Carla Bispo; LEPIKSON, Herman Augusto. Airships as a Possible Logistic Solution for the Transport of Special and Bulk Loads. In: **International Conference on Dynamics in Logistics**. Springer, Cham, 2018. p. 352-358. Doi: 10.1007/978-3-319-74225-0_48.

UFBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA

CEP: 40.210-630

Telefone: (71) 3283-9800

E-mail: pei@ufba.br

Home page: <http://www.pei.ufba.br>

