



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Viabilidade Técnica e Económica da Utilização de Dirigíveis no Sector do Turismo em Portugal

Lia Bibiana Nogueira Pereira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Aeronáutica
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva

Covilhã, Outubro de 2011

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus tios João Baptista Dias Martins e Maria Odete Nogueira Maia, os meus anjos da guarda.

Dedico aos meus pais Henrique de Sousa Pereira e Alíria Maria Nogueira Vieira Pereira e à minha irmã Marta Alexandra Nogueira Pereira.

Dedico também às minhas avós Fernanda Augusta Nogueira Maia e Maria Helena Sousa.

Á memória do meu avô Américo de Jesus Vieira, com muita saudade.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva pelo apoio, compreensão e extrema disponibilidade na minha orientação, particularmente quero agradecer todas as oportunidades que me concedeu na participação em várias conferências muito importantes não só para o desenvolvimento deste trabalho mas também para o meu crescimento pessoal.

Por fim quero agradecer aos Engenheiros Carlos Gayer e Sérgio Gomes pelo enorme contributo e apoio que deram ao meu estudo.

Agradeço ao Presidente do Aeroclube de Braga, Carlos Dias, pelo seu importante contributo.

Agradeço aos meus tios João Baptista Dias Martins e Maria Odete Nogueira Maia toda a ajuda e apoio na concretização dos meus sonhos e principalmente por acreditarem em mim.

Agradeço também à minha avó Fernanda Augusta Nogueira Maia por todo o sacrifício.

Agradeço aos meus pais Henrique de Sousa Pereira e Alíria Maria Nogueira Vieira Pereira por todas as palavras, ensinamentos e pelo encorajamento ao longo desta caminhada que agora termina.

Agradeço muito à minha irmã Marta Alexandra Nogueira Pereira pelos sorrisos!

Agradeço toda a paciência e carinho a Pedro Manuel Fernandes dos Santos Ribeiro.

Agradeço a todos os meus amigos, ou melhor, à minha “família de amigos” da Covilhã por todo o apoio e principalmente pelos bons momentos de amizade vividos!

Resumo

O início do Século XXI anunciou uma nova era para os dirigíveis e na qual estas aeronaves são consideradas plataformas complementares viáveis no actual sistema de transporte, com capacidade para criar novos nichos de mercado e incentivar novos sectores produtivos. Actualmente os dirigíveis têm a sua aplicação em sectores tão distintos como: o transporte de carga pesada ponto-a-ponto, publicidade, transporte, monitorização, pesquisa e patrulha aérea e ainda transporte turístico. Interligado a este regresso dos dirigíveis está a crescente preocupação entre a comunidade aeronáutica em adoptar “tecnologias limpas” economicamente sustentáveis com capacidade para implementar, nos modernos projectos dos dirigíveis, inúmeros sistemas tecnicamente avançados. Este estudo analisa os avanços técnicos aplicados aos dirigíveis, expõe a viabilidade destas aeronaves em determinados nicho de mercado e apresenta um estudo preliminar da viabilidade da sua utilização num sector particular do turístico português.

Palavras-chave

Dirigível, Sistema de Transporte Aéreo Convencional, Sector Turístico.

Abstract

With the beginning of the XXI century airship has been seen as a complementary platform of the current transportation system panorama capable to create new market niches and new productive sectors. Nowadays airships are intended for several applications such as: heavy cargo transportation, point-to-point transportation, advertising, aerial observation, patrolling and monitoring, research, and tourism. The return of the airships is attached with a growing concern among the aeronautical community to adopt green technologies economically sustainable able to build up innumerous technological developments in airship projects. This work examines these technological improvements, shows the feasibility of airships in certain market niches, and brings out a primary study concerning the viability of using airships within the Portuguese tourism sector.

Keywords

Airships, Conventional Air Transportation Systems, Tourism Sector.

Índice

Dedicatória	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice	xi
Lista de Figuras	xiv
Lista de Tabelas	xvi
Lista de Gráficos	xviii
Lista de Acrónimos	xx
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento do Tema	1
1.2 Formulação do Problema e Objectivos	1
1.3 Estrutura da Dissertação	2
2. Estado da Arte	3
2.1 Introdução	3
2.2 Estado do Desenvolvimento e Cenários de Aplicação	4
2.3 Tecnologia Actual, Necessidades e Riscos	7
2.3.1 Optimização do Projecto	8
2.3.2 Estruturas, Materiais e Novas Técnicas de Construção	9
2.3.3 Propulsão, Sistemas e Estabilidade	15
2.4 Características Gerais de Operacionalidade	22
2.5 Limitações Operacionais e Impacto dos Factores Meteorológicos	24
2.6 Aplicabilidade e Impacto Ambiental	27
2.7 Certificações e Legislação Europeia	30
2.8 Conclusão	31
3. Caso de Estudo.....	34
3.1 Introdução.....	34
3.2 Aceitabilidade e Potencial de Mercado	34
3.3 Parque Nacional da Peneda Gerês.....	38
3.4 Possíveis Soluções para o Ecoturismo Aéreo.....	40
3.5 Selecção do Dirigível.....	40
3.6 Parâmetros Operacionais e Custos Estimados.....	41
3.7 Conclusão.....	43
4. Análise de Resultados	44
4.1 Introdução	44
4.2 Análise Custo/Benefício.....	44
4.3 Desenvolvimento do Modelo.....	46

4.3.1	Caracterização da Operação.....	47
4.3.2	Modelação Económica.....	49
4.4	Conclusão.....	55
5.	Conclusão	57
5.1	Síntese da Dissertação	57
5.2	Considerações Finais	59
5.3	Perspectivas de Investigação Futuras	60
	Bibliografia	61
	Anexo A.1 Classes Estruturais dos Dirigíveis.....	66
	Anexo A.2 Sistemas de Controlo de Elevação do Dirigível.....	68
	Anexo A.3 Características Gerais de Operacionalidade nas Diferentes Etapas de Voo..	70
	Anexo A.4 Controlo de Flutuabilidade (Buoyancy Compensation).....	72

Lista de Figuras

Figura 1 - Ilustração dos Países com Projectos de Dirigíveis a Nível Mundial	4
Figura 2 - Classificação dos Dirigíveis pela sua Altitude Operacional e por algumas das Principais Empresas Construtoras	5
Figura 3 - Cenários de Aplicação dos Dirigíveis em Portugal	7
Figura 4 - Literatura Revista no que Concerne aos Principais Avanços Tecnológicos ...	8
Figura 5 - Fases do Desenvolvimento Técnico do Projecto dos Dirigíveis Modernos	9
Figura 6 - Esquema da <i>Sandwich</i> de um Material Compósito Utilizado na Fabricação do Envelope.....	11
Figura 7 - Painel de Tecido Reforçado com Geometria a 3D a 360°	12
Figura 8 - Modelagem Computacional (TENS <i>software</i>) do Envelope do Projecto Skykitten.....	13
Figura 9 - Método Cut Slit Test Painel	14
Figura 10 - Cilindro Inflado de Teste	14
Figura 11 - Processos do Teste de Pressurização Realizado pela Zeplin NT.....	15
Figura 12 - Tipos de Elevação/Sustentação dos Dirigíveis	16
Figura 13 - Representação do Sistema de Funcionamento da Propulsão Vectorizada em Ducto.....	18
Figura 14 - Representação do Modelo de um Sistema de Energia Renovável para Propulsão de Dirigíveis	20
Figura 15 - Representação do Sistema de Reabastecimento dos Lastros de Agua de um Dirigível.....	23
Figura 16 - Vantagens e Desvantagens dos Dirigíveis.....	32
Figura 17 - Idade	35
Figura 18 - Sexo.....	35
Figura 19 - Grau de Escolaridade	35
Figura 20 - Ocupação.....	35
Figura 21 - Conhecimento do Dirigível	36
Figura 22 - Confiança em Viajar de Dirigível.....	36
Figura 23 - Confiança no Transporte de Mercadorias.....	36
Figura 24 - Eficácia do Transporte.....	36
Figura 25 - Confiança na Segurança de Voo.....	36
Figura 26 - Preferência das Rotas Turísticas em Portugal.....	37
Figura 27 - Preferência das Rotas Turísticas nas Ilhas dos Açores e da Madeira.....	37
Figura 28 - Serviços Possíveis de Serem Desempenhados pelo Dirigível.....	37
Figura 29 - Preço do Bilhete por uma Viagem de 30 minutos.....	37

Figura 30 - Satisfação no Actual Acesso à Informação.....	38
Figura 31 - Meios de Comunicação Preferenciais para Difundir Informação.....	38
Figura 32 - Relevância da Informação para Alteração da Confiança do Transporte de Dirigível.....	38
Figura 33 - Localização Geográfica de Braga.....	39
Figura 34 - Rota Hipotética para o Estudo de Performance.....	40
Figura 35 - Fluxograma da Análise Custo/Benefício.....	44
Figura 36 - Representação Simples dos Efeitos da Altitude no Comportamento do Gás de Elevação.....	68
Figura 36 - Representação Simplificada do Sistema de Controlo do Gás de Elevação/Sustentação	68

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Cenários de Aplicação dos Dirigíveis, Avaliados pelo Nível de Capacidade Operativa.....	5
Tabela 2 - Critérios para o Material Cumprir os Requisitos de Aeronavegabilidade.....	11
Tabela 3 - Configurações Possíveis das Empenagens de Cauda dos Dirigíveis.....	21
Tabela 4 - Infra-Estruturas Necessárias para Assegurar a Operacionalidade dos Dirigíveis em Terra.....	24
Tabela 5 - Forma como os Fenómenos Meteorológicos Afectam a Operacionalidade dos Transportes.....	26
Tabela 6 - Análise Comparativa dos Principais Requisitos Operacionais dos Dirigíveis vs. Sistema de Transporte Tradicional.....	29
Tabela 7 - Principais Requisitos Técnicos e Operacionais para a Selecção do Dirigível.....	41
Tabela 8 - Parâmetros Operacionais do Dirigível Skyship 600.....	42
Tabela 9 - Custos Anuais Estimados para a Operação de um Dirigível Skyship 600.....	42
Tabela 10 - Comparação dos Parâmetros de Missão entre as Aeronaves.....	45
Tabela 11 - Comparação os Custos Operacionais Básicos entre as Aeronaves.....	46
Tabela 12 - Parâmetros Operacionais do Modelo Económico do Dirigível.....	36
Tabela 13 - Exemplo de Dados para a Modelação Económica.....	48
Tabela 14 - 1ª Modelação dos Custos e Receitas da Operação.....	50
Tabela 15 - Resultados para o Skyship 600 na 1ª Modelação.....	51
Tabela 16 - Dados para a 2ª Modelação Económica.....	52
Tabela 17 - 2ª Modelação dos Custos e Receitas da Operação.....	53
Tabela 18 - Resultados para o Skyship 600 na 2ª Modelação.....	54

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Representação Gráfica do Exemplo da Tabela 13.....	49
Gráfico 2 - Representação Gráfica da 1ª Modelação.....	52
Gráfico 3 - Representação Gráfica da 2ª Modelação.....	55

Lista de Acrónimos

ACB	Análise Custo/Benefício
CAS	Calibrated Airspeed
C.T.I.	Circular Técnica de Informação
EASA	European Aviation Safety Agency
EC	European Community
ELA	European Light Aircraft
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
FBL	Fly-by-Light
FBW	Fly-by-wire
GPS	Ground Position System
FAR	Federal Aviation Regulations
HAA	High Altitude Airship
HAV	Hybrid Air Vehicles
HD	High-Definition
HTA	Heavier-Than-Air
IFR	Instrument Flying Rule
IMC	Instrument Meteorological Conditions
INAC	Instituto Nacional de Aviação Civil
LTA	Lighter-than-air
LSA	Light Sport Aeroplane
MEW	Manufacturer's Empty Weight
MTOM	Maximum TakeOff Weight
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NPA	Notice of Proposed Amendment
ODEMS	Onboard Data Exchange Managing System
PA	Pressure Altitude
PNPG	Parque Nacional da Peneda Gerês
Ps	Static Pressure
STOL	Short Take Off/Landing
TAR	Transport Airship Requirement
UV	Ultra-Violeta
VFR	Visual Flight Rules
VTOL	Vertical Take Off/Landing
VSO	Stall Speed
TAS	True Air Speed
TO	TakeOff
ZTOL	Zero Take Off/Landing

1. Introdução

1.1 Enquadramento do Tema

Desde o início do presente século que o sector aeronáutico se tem deparado com um crescente entusiasmo em volta do regresso dos dirigíveis, devido ao enorme potencial destes gigantes dos céus. As suas excepcionais características operacionais - principalmente em voo pairado - aliadas aos avanços tecnológicos em todas as áreas de engenharia, desde as estruturas à aviónica, passando pelos materiais, em conjunto com o crescimento da consciência científica com preocupações ambientais, tornam os dirigíveis, no futuro próximo, o transporte aéreo mais sustentável em todas as suas vertentes (económica, operacional e ambiental). Este vislumbrar do regresso dos dirigíveis tem recebido a atenção dos meios científicos dada a sua adaptação como meio de transporte alternativo de carga e passageiros. Actualmente existem já nichos de mercado para dirigíveis de pequena e média dimensão, como voos turísticos, publicidade e transmissões televisivas. Contudo esta utilização, através de uma exploração intensiva realizada por etapas e com base em avanços tecnológicos testados, pode ser alargada para vigilância e monitorização do espaço aéreo e das fronteiras (aplicação militar). Existe também um futuro latente para os dirigíveis de grande dimensão no mercado de cargas pesadas, cargas especiais e no transporte ponto-a-ponto. É neste *boom* de novos avanços tecnológicos e novas oportunidades de exploração dos dirigíveis que se insere este trabalho, pois embora se vislumbre todo um leque de novas possibilidades para estas aeronaves, é necessário encontrar argumentação que sustente o seu potencial de utilização em Portugal.

1.2 Formulação do Problema e Objectivos

É fácil verificar, do ponto de vista comercial, que o transporte de mercadorias e de passageiros através dos meios de transporte convencionais tem um impacte significativo na economia, tanto das empresas que oferecem a actividade do transporte como de quem usufruí dos serviços. Com os olhos postos no futuro próximo, o regresso destes gigantes dos céus promete resolver as diferenças, entre os meios de transporte rápidos caros e muito poluentes - como os aviões e os helicópteros, e os meios de transporte mais lentos e menos caros mas também muito poluentes, como os navios e os camiões.

Considerando as restrições dos sistemas de transporte comuns e impelidos pelo fervilhar dos avanços na indústria aeronáutica que tornam possível a construção de dirigíveis seguros com capacidade e competência para revolucionar o transporte actual, somos levados a compreender o contributo destas aeronaves para o complemento do

tradicional transporte aéreo de cargas e passageiros. Para isso é necessário realizar um estudo que vise encontrar os factores dominantes e determinantes das vantagens deste meio de voo, a sua conexão com os actuais sistemas de transporte, e ainda as suas possíveis limitações.

Assim este trabalho tem como objectivos: descrever as principais características técnicas e operacionais do estado da arte dos dirigíveis que viabilizam a exploração das potencialidades de emprego destas aeronaves, apresentar a argumentação que sustenta a aplicabilidade e aceitabilidade dos dirigíveis como meio de transporte turístico, realizar um levantamento do potencial de mercado para a sua operação em Portugal e elaborar um modelo económico que comprove a veracidade da viabilização do projecto.

1.3 Estrutura da Dissertação

No primeiro capítulo, onde nos situamos, é descrito os preâmbulos que compõem este trabalho, nomeadamente: o enquadramento do tema, a formulação (geral) do problema e os objectivos a alcançar e a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo apresenta-se o estado da arte dos dirigíveis abordando-se os cenários de aplicação dos dirigíveis, descreve-se o estado do desenvolvimento tecnológico destas aeronaves referindo as suas necessidades e riscos, descrevem-se as características gerais de operacionalidade, sumariam-se as limitações operacionais e o impacte dos factores meteorológicos que afectam a operação dos dirigíveis, em seguida a aplicabilidade e o impacto ambiental, por último faz-se referência às certificações e legislação que regem a aeronavegabilidade dos dirigíveis.

O terceiro capítulo compõe-se fundamentalmente do caso de estudo deste trabalho, analisa-se a aceitabilidade dos dirigíveis em Portugal e a existência de um potencial mercado para a sua utilização. Provada a aceitabilidade o próximo passo do estudo centra-se na pesquisa de campo e nas possíveis soluções para o nicho de mercado encontrado em Portugal, de seguida selecciona-se o dirigível para desenvolver o projecto e descrevem-se os parâmetros operacionais e os custos estimados.

No quarto capítulo trata-se a informação recolhida ao longo da preparação do caso de estudo, estabelecem-se as etapas do estudo que confluem na determinação do melhor cenário para a viabilização económica do dirigível. Para isso, traça-se o fluxograma da análise custo/benefício com os passos necessários para o desenvolvimento do modelo económico.

O quinto capítulo encerra uma síntese (geral) do trabalho, algumas considerações sobre a forma como este decorreu, e apontam-se algumas recomendações consideradas relevantes para futuras investigações.

2. Estado da Arte

2.1 Introdução

O dirigível foi a primeira aeronave na história da aviação com sistema propulsivo e com a capacidade de realizar voo controlado, dominando os céus antes da década de 40 do séc. XX, mas acidentes catastróficos durante meados do séc. XX ditaram o descrédito e o seu consequente desaparecimento. O início do séc. XXI trouxe o renascer do interesse por estas aeronaves, inspirado pelos avanços em diferentes áreas tecnológicas, segundo Ewing (2009) os avanços tecnológicos ao nível dos materiais utilizados na construção de dirigíveis têm permitido o aparecer de novos tecidos, que compõe o envelope, mais leves e mais resistentes assim como de sistemas propulsivos mais leves e eficientes.

São três os principais fundamentos que estão na base deste novo olhar sobre os dirigíveis: a especificidade operativa que os torna capazes de complementar o tradicional transporte aéreo como, por exemplo, na patrulha, monitorização e vigilância onde se exige grande autonomia, no transporte de carga pesada e volumosa e claro no transporte de recreio e lazer. Têm ainda a vantagem de não estarem constringidos a infra-estruturas complexas para operarem, como o convencional transporte marítimo, rodoviário e aéreo, evitando os consequentes problemas de congestionamento. Outros princípios fundamentais: as alterações climáticas e o aumento progressivo dos custos de combustíveis, como refere Prentice (2004). Os dirigíveis são atractivos tanto a nível económico como ambiental por esse motivo o incentivo à inovação tem sido gradativo por parte de investidores privados e similarmente por alguns governos preocupados em repensar o seu sistema de transporte actual.

Para Jan (2010) os processos de inovação do sistema de transporte são o principal impulsionador por detrás do progresso tecnológico e aumentam a produtividade dos serviços, contudo esta inovação é sempre acompanhada por elevados, mas necessários, riscos sem os quais não seria possível esta reintrodução dos dirigíveis, que para Prentice (2004) são aeronaves capazes de superar as deficiências dos meios convencionais de transporte, trazendo a médio/longo prazo benefícios económicos oferecendo diferentes tipos de serviços a custos mais baixos podendo, inclusive, estimular novas actividades comerciais e industriais e até novas rotas transaccionais, como será demonstrado ao longo do capítulo.

São estes alguns dos fundamentos pelos quais os dirigíveis emergem como uma alternativa séria e viável ao sistema de transporte actual e os pressupostos para a realização deste trabalho.

2.2 Estado do Desenvolvimento e Cenários de Aplicação

Nayler (2001) realizou um levantamento criterioso dos projectos que se encontram em desenvolvimento um pouco por todo o mundo, como se ilustra na Figura 1. Fabricantes em activo contabilizam-se 23 com produção de dirigíveis tripulados alguns dos quais já em funcionamento em 7 países completando as suas redes nacionais de transporte e 9 os fabricantes de dirigíveis não tripulados; estes projectos têm diferentes objectivos dependendo das missões a que se destinam.



FIGURA 1: Ilustração dos Países com Projectos de Dirigíveis a Nível Mundial

O país que mais se destaca no progresso tecnológico e operacional do dirigível é os Estados Unidos da América. Já em 1991 na Guerra do Golfo utilizaram esta aeronave para transporte militar. Actualmente tem sido utilizada como plataforma de monitorização e vigilância, principalmente de fronteiras - já durante a década de 80 a Marinha Norte-Americana realizava a patrulha marítima de narcotráfico utilizando dirigíveis aeróstatos (desenvolvidos pela TCOM LP) presos a navios que funcionavam como radares de detecção de embarcações suspeitas; plataforma de apoio a pesquisas científicas, publicidade, turismo, e desde 2005 para transmissões televisivas em HD (high-definition) de eventos desportivos ao ar livre. Na Europa são dois os países que se destacam no desenvolvimento da tecnologia LTA (Lighter-than-air): a Alemanha e o Reino Unido, destacando-se respectivamente a Zeppelin Luftschifftechnik GmbH e a Hybrid Air Vehicles, ambas as empresas desenvolveram projectos que conduziram à construção de dirigíveis actualmente certificados.

Os dirigíveis dependendo da altitude em que operam apresentam diferentes características técnicas e por essa razão podem ser divididos em três categorias, como se mostra na Figura 2; também devido à sua altitude de operação os dirigíveis têm diferentes cenários de aplicação, como se ilustra na Tabela 1.

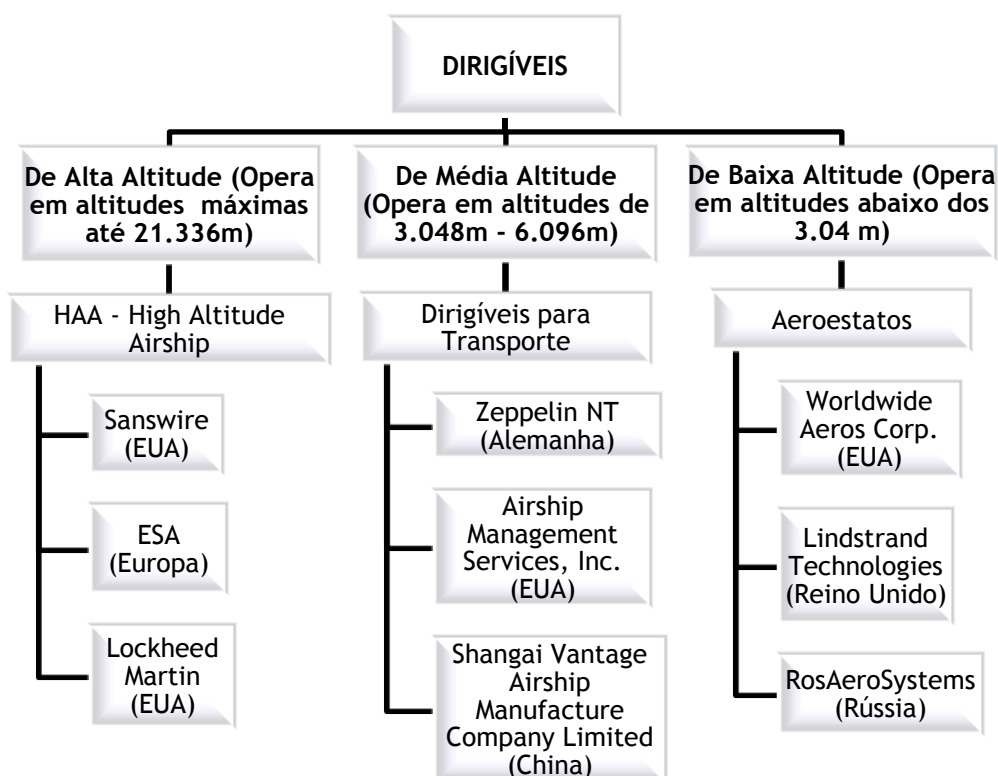


FIGURA 2: Classificação dos Dirigíveis pela sua Altitude Operacional e por algumas das Principais Empresas Construtoras

TABELA 1: Cenários de Aplicação dos Dirigíveis, Avaliados pelo Nível de Capacidade Operativa

Cenários de Aplicação	Dirigíveis de Alta Altitude	Dirigíveis de Média Altitude	Dirigíveis de Baixa Altitude
Defesa	Elevada	Média	Elevada
Plataforma Anti-Balística	Elevada	Baixa	Média
Recolha e Transmissão de Dados	Elevada	Elevada	Elevada
Telecomunicações	Elevada	Elevada	Elevada
Comunicações Wireless, GPS, etc.	Elevada	Média	Elevada
Observação/Vigilância	Elevada	Elevada	Elevada
Pesquisa Científica	Elevada	Elevada	Média
Monitorização	Elevada	Elevada	Elevada
Patrulha	Média	Elevada	Média
Turismo e Publicidade		Elevada	Média
Transporte de Carga e Passageiros		Elevada	Baixa

De entre os vários projectos a decorrer no mundo, destacam-se três pelo estado avançado do projecto e pela eventual exequibilidade da sua aplicação em Portugal. O primeiro projecto a destacar é o Aeros 40D Sky Dragon, trata-se de uma aeronave mais leve que o ar já certificada nos Estados Unidos da América pela FAA (Federal Aviation Administration) na Europa e na China. A tecnologia de fabrico do tecido que compõe o seu envelope torna-o invisível a radares e a sua configuração do sistema de pás converte-o numa aeronave bastante silenciosa. O Aeros 40D é uma excelente plataforma de vigilância para missões de longa duração e monitorização de florestas e

controlo de tráfego. Dotado de avançados sistemas de comunicação e câmaras de infravermelhos é capaz de interagir em tempo real com helicópteros, guarda costeira e florestal e patrulhas em terreno.

Os Projectos o SkyCat-20 e o SkyCat-220 FireCats, são outros dois exemplos que detêm em Portugal potencial mercado. Estes dirigíveis têm a particular característica de poder transportar 20 toneladas de água (SkyCat-20) e 220 toneladas de água (SkyCat-220), respectivamente, capacidade bastante superior ao Boeing Evergreen, considerado o maior aerotanque de combate a incêndios do mundo com capacidade para 90 toneladas de água. Para além da capacidade de carga, o dirigível é uma aeronave bastante versátil, capaz de cobrir vastas áreas sem limitações físicas, com baixos custos operacionais por zona coberta e quando equipada com diferentes sensores que conjugam a captação de imagens reais com espectros de infra-vermelhos, tem ainda a aptidão para missões de vigilância nocturna, monitorização evolutiva, detecção e localização de focos de incêndio. Portanto, quando são detectados estes dirigíveis têm a capacidade de iniciar de imediato o combate ao incêndio.

A World SkyCat Corp. [5], afirma que os projectos SkyCat-20 e o SkyCat-220 FireCats contêm no interior do envelope lastros, que auxiliam estas aeronaves no momento da aterragem, com uma lotação até 64% do volume total da sua capacidade de água, que em caso de detecção de foco de incêndio ou reacendimento podem largar, sendo a estabilidade e flutuabilidade do dirigível mantidos por tanques insufláveis facilmente instalados ou removidos dos módulos de compartimento de carga.

Dada a extensa área florestal, que cobre 35.8% do território nacional (3.3 milhões de hectares de floresta), Portugal é um dos países europeus com maior aérea florestada, que todos os anos é assolada por nefastos incêndios que causam enormes prejuízos tanto a nível financeiro como a nível lenhoso. Só no ano de 2003 registaram-se 425.726 hectares de área ardida, o maior valor dos últimos 29 anos com prejuízos financeiros que chegaram a atingir os 50 milhões de euros para os cofres nacionais. Actualmente a vigilância aérea das florestas é exercida por helicópteros e pequenos aviões dependentes do apoio de pequenos aeródromos mas que têm as desvantagens de possuírem pouca autonomia, o que impossibilita uma monitorização permanente e evolutiva, e implica custos operativos elevados e transporte reduzido de água (cerca de 2800 litros de água, pelo menos os aerotânques utilizados em Portugal). Portugal é também o país costeiro da União Europeia com o maior espaço marítimo cuja jurisdição económica se estende até às 200 milhas náuticas estando obrigado a assegurar a busca e salvamento marítimo, em termos de responsabilidade internacional, numa área 63 vezes superior ao território continental. O dirigível, pela sua versatilidade, *performance* económica e ambiental, baixo custo de produção e manutenção concomitantemente com a sua capacidade de executar missões de longa duração

quando comparado com o sistema aéreo hoje utilizado em missões de vigilância e monitorização, detém neste país europeu das melhores condições para provar as suas competências operativas. Na Figura 3 salientam-se possíveis cenários de aplicação dos dirigíveis em Portugal.

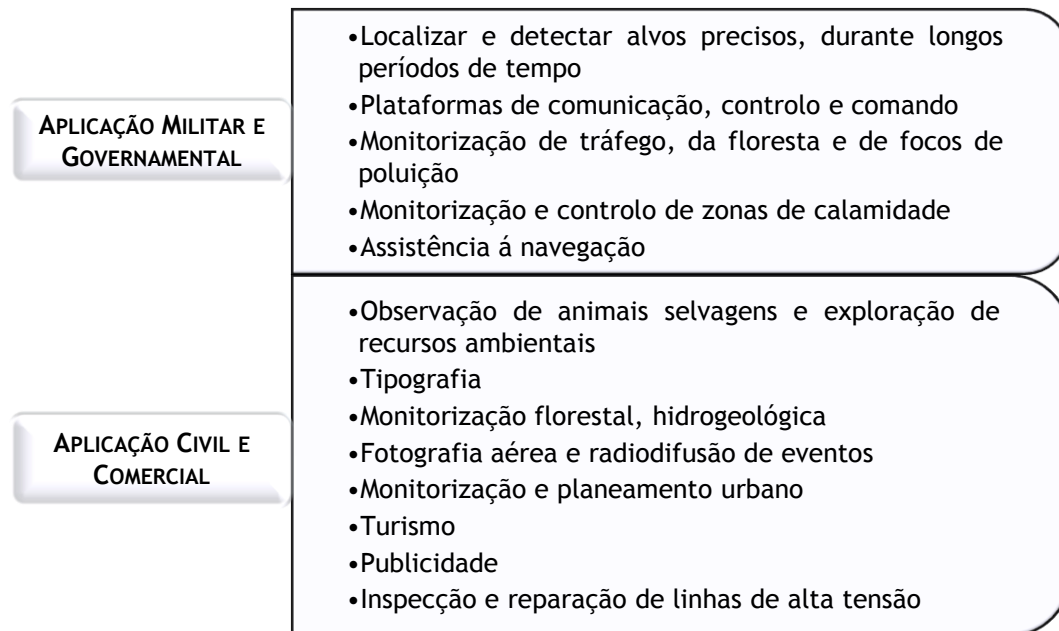


FIGURA 3: Cenários de Aplicação dos Dirigíveis em Portugal

2.3 Tecnologia Actual, Necessidades e Riscos

No contexto do Estado da Arte dos dirigíveis modernos é necessário realizar uma explicação sumária das novas tecnologias e avanços técnicos que sustentam o conceito do regresso destas aeronaves. A Figura 4 apresenta a forma como serão expostos ao longo deste subcapítulo os desenvolvimentos tecnológicos considerados mais significativos no âmbito deste trabalho.

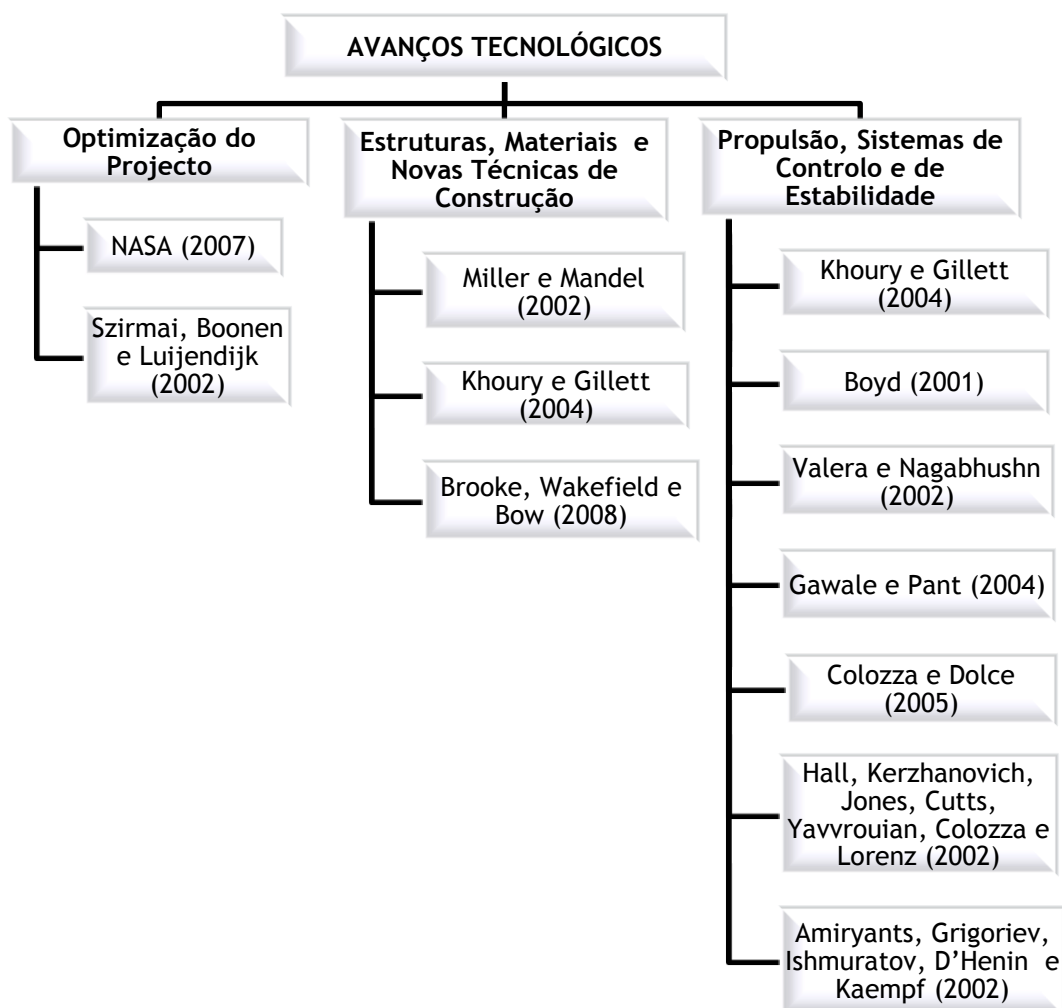


FIGURA 4: Literatura Revista no que Concerne aos Principais Avanços Tecnológicos

2.3.1 Optimização do Projecto

O *background* tecnológico dos dirigíveis remonta ao séc. XVIII. São muitos anos de experiência e de conhecimento empírico que servem de base para um futuro tecnológico que viabiliza o regresso do dirigível; porém a aplicabilidade das novas tecnologias deve ser realizada de forma tão inovadora quanto o necessário e conservadora quanto possível. A análise de casos de estudo de projectos do passado constitui uma importante base de dados para o futuro. Para a NASA (2007) empregar inovações técnicas em demasia num só projecto pode acarretar riscos que devem ser acautelados, é necessário analisar e submeter as inovações tecnológicas a um número suficiente de rigorosos testes certificando a segurança antes da sua aplicação, e é preciso garantir que estes testes abranjam todas as condições meteorológicas e ambientais da operação a que a aeronave se destina balizando as restrições operativas perante o impacte dos factores ambientais. Num empreendimento de alto risco, como é

o caso dos projectos de inovação dos dirigíveis, torna-se indispensável um estreito compromisso entre o controlo técnico e operacional; por esta razão as principais empresas na vanguarda da tecnologia dos dirigíveis aliaram-se a universidades e empresas cujos quadros técnicos tinham já anos de experiência no desenvolvimento destas aeronaves.

As fases de desenvolvimento tecnológico do projecto podem ser divididas e classificadas de acordo com a Figura 5. Segundo Szirmai (2002) a subdivisão da Fase 2 justifica-se pela necessidade de diferenciar os avanços técnicos entre os variados projectos. Na Fase 2-A o projecto do dirigível encerra alguns objectivos de aplicabilidade, contudo a definição das especificidades técnicas só se concretiza na Fase 2-B; na Fase 2-C simula-se a *performance* da aeronave sendo o seu desempenho verificado na Fase 2-D.

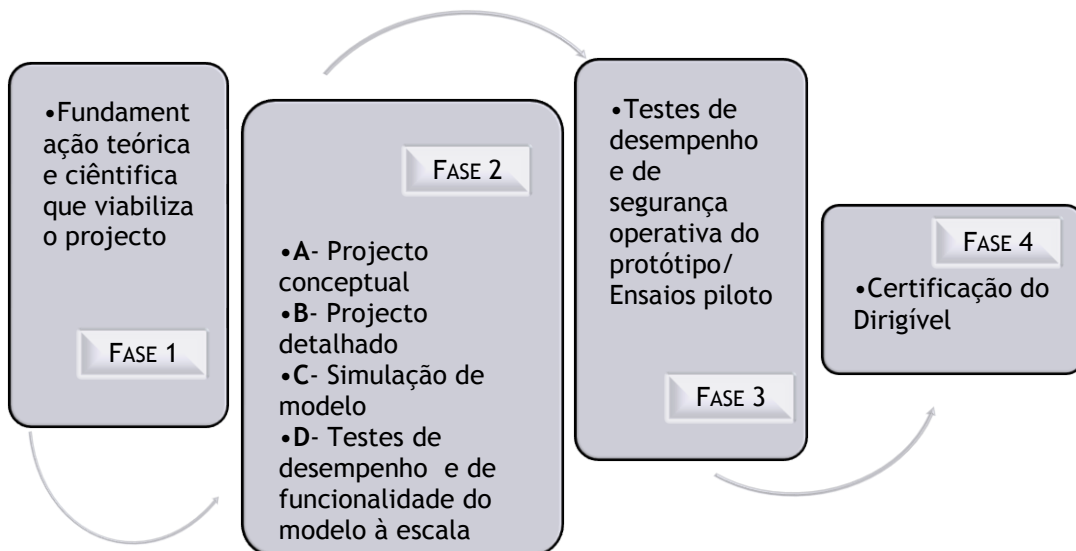


FIGURA 5: Fases do Desenvolvimento Técnico do Projecto dos Dirigíveis Modernos

2.3.2 Estruturas, Materiais e Novas Técnicas de Construção

Para Szirmai (2002) os dirigíveis podem em geral ser descritos como perfis aerodinâmicos mais leves do que o ar (*lighter-than-air*) em que a flutuabilidade (*buoyancy*) é proporcionada por um gás de sustentação (*lifting gas*) e o controlo e manobrabilidade garantido pelo sistema de propulsão e pelo conjunto dos aviónicos da aeronave.

Os dirigíveis dividem-se em três classes estruturais (Anexo A.1): nas classes dos dirigíveis semi-rígidos e não rígidos (blimps) - o principal elemento estrutural é o envelope conferindo à

No desenvolvimento dos dirigíveis, como defendem Miller e Mandel (2002), os materiais, projecto e execução devem corresponder aos mais elevados padrões. O envelope deve ser projectado para cumprir três requisitos fundamentais: suportar tanto em voo como no solo as forças de carregamento, criadas sobretudo pela força de suspensão e pela pressão do ar circundante; impedir fugas do gás de sustentação; e resistir a agentes climáticos adversos, tais como gelo, vento, neve, radiação UV (ultra-violeta) e temperaturas extremas. Por todas estas razões é necessária, durante a concepção do dirigível, a realização de estudos extensivos a todos os esforços susceptíveis de surgir no envelope e ter em atenção: as forças estáticas que são o resultado da elevada pressão a que se encontra o gás de elevação dentro do envelope e por isso são também as forças que mais influência têm na escolha do material de construção, as forças dinâmicas tendo em conta também as forças aerodinâmicas nas diferentes situações de voo, e as forças localizadas em diferentes partes da estrutura Segundo Khoury e Gillett (2004) nos dirigíveis que possuem uma estrutura interna rígida o carregamento de forças no envelope é mais equilibrado do que nos dirigíveis unicamente pressurizados pois essa estrutura sendo resistente diminui as regiões de concentração dos esforços de tensão e possibilita um melhor desempenho em voo.

A tecnologia do tecido tem de satisfazer todos os requisitos de aeronavegabilidade. Para tal os materiais que compõe o envelope do dirigível são submetidos a testes de análise de fadiga que devem garantir que a resistência máxima do tecido do envelope não é inferior a quatro vezes o carregamento máximo do tecido visto que o material se deteriora em função do carregamento cíclico e em função de agentes ambientais (Miller e Mandel, 2002).

A resistência do tecido que compõe o envelope dependente da escolha dos materiais Actualmente existe uma base de dados possível de ser consultada com as especificidades técnicas dos diferentes materiais o que possibilita aos projectistas aceder durante a fase de projecto a um vasto leque de escolhas. Para Khoury e Gillett (2004) o método mais fiável para garantir que o material que compõe o envelope cumpre os requisitos de segurança e de operacionalidade é garantir que esse material satisfaz os cinco critérios que se descrevem na Tabela 2. Os materiais laminados são os mais utilizados na fabricação do envelope. Os avanços na engenharia dos materiais permitiram o aparecimento de fibras resistentes e de baixa densidade cuja principal vantagem é poderem adoptar diferentes características e propriedades apenas pela escolha dos seus componentes sendo a ligação entre as diferentes camadas de componentes realizada por material aderente (Khoury e Gillett, 2004). A Figura 6 representa esquematicamente a composição de um material laminado para aplicação num envelope.

TABELA 2: Critérios para o Material Cumprir os Requisitos de Aeronavegabilidade

Critérios	Descrição
Elevada Resistência aos Esforços	A força do material que compõe o tecido determina o tamanho máximo do envelope
Elevada Relação Força-Peso	Uma boa relação força-peso do material minimiza o peso total do envelope e conseqüentemente da aeronave
Elevada Resistência aos Factores Ambientais	Factores como temperatura, humidade e radiação UV são determinantes para o tempo de vida do envelope e para os custos de manutenção.
Alta Resistência ao choque/corte	Boa resistência ao choque e ao corte garantem melhor tolerância aos vários danos a que o dirigível está sujeito
Baixa Permeabilidade	Minimiza a perda do gás de sustentação; a vazão de gás aumenta os custos operacionais e a diminuição da capacidade operativa

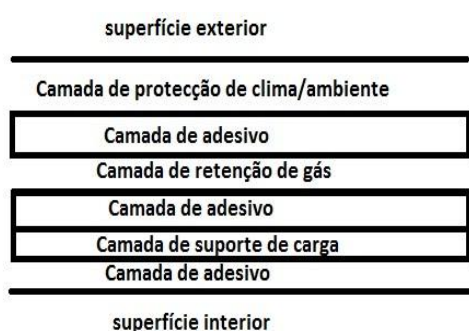


FIGURA 6: Esquema da Sandwich de um Material Compósito Utilizado na Fabricação do Envelope, (adaptado de [9])

Segundo Brooke *et al.* (2008) os desenvolvimentos mais significativos na tecnologia do tecido são o crescente aparecimento de fibras de alta resistência que permitem uma maior resistência à força do peso e aos danos provocados pelos rasgos no tecido. Estas fibras de elevado desempenho destacam-se dos materiais mais tradicionais, como o poliéster ou nylon, por apresentarem valores da relação de força-peso bastante mais elevados o que representa um avanço técnico bastante importante para a aplicação em dirigíveis. Entre estas novas fibras destacam-se: Zylon (Poly [p-phenylene-2,6-benzobisoxazole]-PBO) , Vectran (*liquid crystal polymer*), Kevlar (para-aramids), Spectra e Dyneema® (Ultra High Molecular Weight Polyethylene-UHMWPE) pela excelência de *performance*, resistência e durabilidade. Contudo há que sublinhar que também os materiais de elevado desempenho apresentam desvantagens que durante a fase de projecto devem de ser analisadas; para isso existem métodos para estudar o comportamento destes materiais face aos esforços a que são sujeitos. Os materiais mais utilizados na construção da camada impermeável são os designados Mylar - Du Pont (Polyethylene Terephthalate-PET) pelas suas características de baixa permeabilidade e elevada rigidez; materiais como Tedlar - Du Pont (Polyvinyl Fluoride film-PVF) e Kapton, Upilex e LaRC-CP1 (poliamidas) por permanecerem praticamente inertes à temperatura ambiente, a diversos ácidos e solventes, e por apresentarem boa

resistência à degradação solar e radiação UV, são empregues para protecção do envelope face aos agentes climáticos e ambientais.

Segundo McDaniels *et al.* (2009) os pontos de emenda (*seaming*) entre os painéis do tecido sempre condicionaram a construção do envelope. Contudo os materiais compósitos ao facultarem um arranjo homogéneo das fibras dentro do laminado proporcionam a construção de compósitos com emendas altamente resistentes capazes de aguentar grandes ciclos de esforços estruturais sem deformar nem rasgar. É da forma de construção do compósito que depende o padrão das emendas do painel do tecido do envelope. Este padrão tem de garantir propriedades que possibilitem às emendas serem cosidas, soldadas por ultra-som ou calor, unidas por laser, entre outras técnicas de fabricação (ou *bonding technology*). Estes mesmos autores defendem ainda que a construção de tecidos à base de compósitos laminados possibilita a introdução de padrões de reforço interno de geometria complexa que ajudam a minimizar o peso do envelope e que criam locais estruturalmente robustos para a localização dos pontos de fixação do tecido à estrutura interna. Na Figura 7 pode-se observar um tecido reforçado com padrão de geometria 3D e com um radial de 360°.



FIGURA 7: Painel de Tecido Reforçado com Geometria 3D a 360°, (adaptado de [17])

Estes compósitos que possibilitam a construção de painéis com geometria complexa tornaram possível o aparecimento de novas configurações do envelope bem diferentes da convencional *forma de charuto*; contudo, tal só foi possível devido ao desenvolvimento de técnicas computacionais de modelagem e análise de elementos finitos. Para Brooke *et al.* (2008) o desenvolvimento de *software* de simulação tornou possível a modelagem precisa da pressão do gás de sustentação e das cargas pontuais e de pressão a que o envelope está sujeito. O projecto do dirigível SkyKitten desenvolvido pela SkyCat tem um envelope em forma curva *tri-lobo* helicoidal estruturalmente resistente, e contudo mostrava-se aerodinamicamente instável na região do nariz. A resolução deste problema foi possível com recurso à análise e modelação computacional facultadas pela Tensys (Figura 8) e o resultado foi o desenvolvimento de um dirigível com forma aerodinâmica altamente estável e com baixo valor de arrasto que tem vindo a demonstrar bom desempenho nos voos de teste.

As técnicas de modelagem computacional são ferramentas que tendem a reduzir os problemas de instabilidade da estrutura do envelope através de uma simulação aceitável de condições próximas das reais. Contudo esta ainda é uma área do desenvolvimento que precisa de ser aperfeiçoada. Num futuro que se espera próximo, segundo Brooke *et al.* (2008) as técnicas de análise com base em elementos finitos (FE) deverão levar em consideração a variação da pressão interna do gás de elevação contido no interior do envelope e permitirão a realização de estudos aperfeiçoados do comportamento real do dirigível com elevado grau de precisão e de confiança. No entanto este autor defende que o aparecimento destes *softwares* de simulação apenas será possível se se garantir a viabilidade económica destas aeronaves de forma a comportar os gastos do desenvolvimento tecnológico.

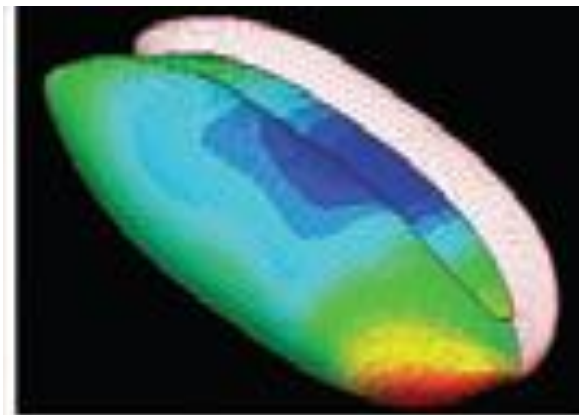


FIGURA 8: Modelagem Computacional (TENS *software*) do Envelope do Projecto SkyKitten, [18]

Para assegurar que o envelope do dirigível cumpre todos os requisitos de aeronavegabilidade é necessário submeter o painel do tecido a métodos de análise de fadiga do material, analogamente ao que ocorre com as estruturas rígidas das aeronaves tradicionais. Um dos métodos de análise utilizados é o método Cut Slit Test especificado por Mil-C-21189 Method 10.2.4 (Miller e Mandel, 2002; McDaniels *et al.*, 2009) e adoptado pela FAA que no relatório FAA-P-8110-2 (Airship Design Criteria de 2/6/95) define os requisitos de aeronavegabilidade necessários para os dirigíveis garantirem o Type Certificate da aeronave. O método Cut Slit Test Method (Figura 9) é um método de controlo de qualidade que analisa a resistência do material ao rasgo. Sucintamente este método consiste em colocar uma amostra do tecido (102mm de largura × 32mm de comprimento) com um rasgo no centro numa máquina de teste que aplica uma força de ruptura de 305 mm/min. No fim a força de rasgo é calculada através da média dos valores mais altos da força de ruptura medidos em cinco amostras de tecido testadas.

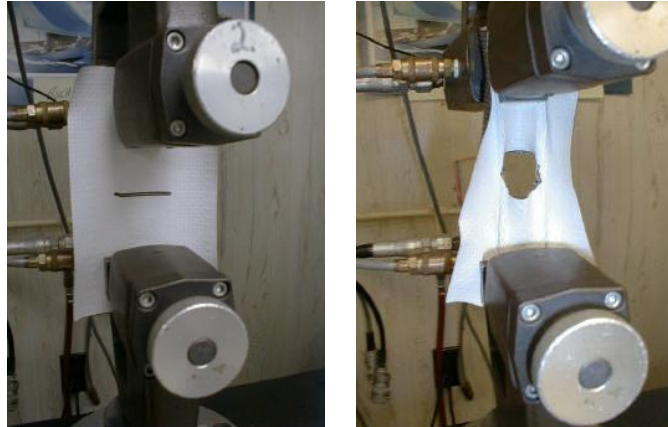


FIGURA 9: Método Cut Slit Test Painel, [8]

A Zeppelin NT para testar a resistência do envelope inflado utiliza um método de teste que concilia dois métodos denominados Cut Slit Tear Strength e Critical Slit Length. Resumindo consiste na análise de cilindros (com cerca de 3.700 mm de comprimento e 900mm de diâmetro) inflados (pressurizados) construídos com o tecido do envelope. É realizado um corte inicial no cilindro antes de o vedar e coser. Dentro desta fenda é colocada uma película leve de poliuretano para conter fugas de ar durante o teste (Figura 10) e tem por base a Equação 1:

$$Pr = \frac{C_s \times 1,4}{L^{0,525} \times (1 + (L/r))} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- P- pressão no interior do envelope
- r- raio do cilindro
- C_s - Cut Slit Tear Strength
- L- Critical Longitudinal Slit Length



FIGURA 10: Cilindro Inflado de Teste, [8]

O teste realizado pela Zeppelin NT segue os passos descritos na Figura 11.

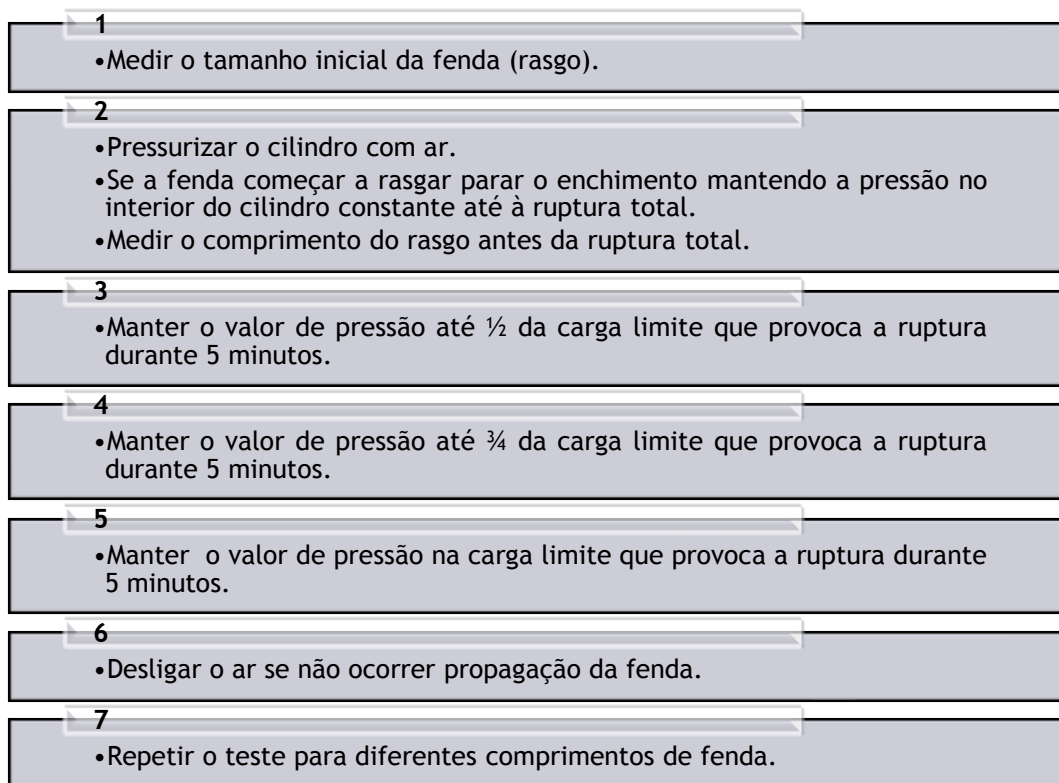


FIGURA 11: Processos do Teste de Pressurização Realizado pela Zepplin NT, (adaptado de [8])

Os métodos laboratoriais actualmente empregues para a análise de resistência do tecido aos esforços aqui descritos, não representam exactamente os esforços a que o material é sujeito durante um desempenho real. Esta é uma das áreas do desenvolvimento tecnológico dos dirigíveis que mais carece de investigação. São precisos mais estudos e ensaios laboratoriais que ajudem a monitorizar o comportamento do envelope em condições o mais próximo possível da realidade de forma a obter uma maior base de dados e de informação que eleve os níveis de segurança operacional dos dirigíveis.

2.3.3 Propulsão, Sistemas e Estabilidade

Actualmente um dos requisitos de segurança exigidos na Alemanha e Holanda (TAR - Transport Airship Requirement) e nos Estados Unidos da América (FAA - Federal Aviation Authority) é a utilização de Hélio como gás de elevação dos dirigíveis por ser um gás não inflamável e não tóxico. Este gás é um subproduto da extracção do gás natural e por isso é de fácil produção mas, nos primeiros dirigíveis não era possível a sua utilização pois por ser um gás monoatômico escapava-se facilmente do interior do envelope ou das células de gás. Contudo os avanços ao nível da engenharia dos materiais e da tecnologia do tecido tornaram possível o projecto de envelopes capazes de dissipar apenas 1% de hélio por ano.

A Equação 2 rege os princípios básicos da sustentação das aeronaves LTA (*Lighter than Air*) - mais leves que o ar:

$$L_d = gV (\rho_a - \rho_g) - W_0 = L_g - W_0 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- L_d [N] - *Useful Lift Available* ou *Net Static Lift*, capacidade de elevação disponível para combustível, estrutura interna, tripulação, carga, cabine e todo o tipo de sistemas de voo incluindo motores
- L_g [N] - *Gross Static Lift*, capacidade de elevação total do gás correspondendo à diferença entre o peso total do ar circundante deslocado menos o peso do gás de elevação
- W_0 [N] - *Gross Static Weight* ou *Manufacturer's Empty Weight (MEW)*, capacidade de elevação do dirigível em vazio incluindo o peso do envelope
- g [m/s^2] - Aceleração gravítica
- V [m^3] - Volume do envelope
- ρ_a [kg/m^3] - Densidade do ar atmosférico que circunda o dirigível
- ρ_g [kg/m^3] - Densidade do gás de elevação

Pode-se então verificar a partir desta equação que tendo o hélio um valor de densidade $\rho_g = 0,1785 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ como gás de elevação (ou sustentação) tem uma força de elevação de 10,4 [N] por m^3 de hélio.

Os dirigíveis também podem ser divididos em três tipos diferentes dependentes da capacidade de sustentação, como se descreve na Figura 12.

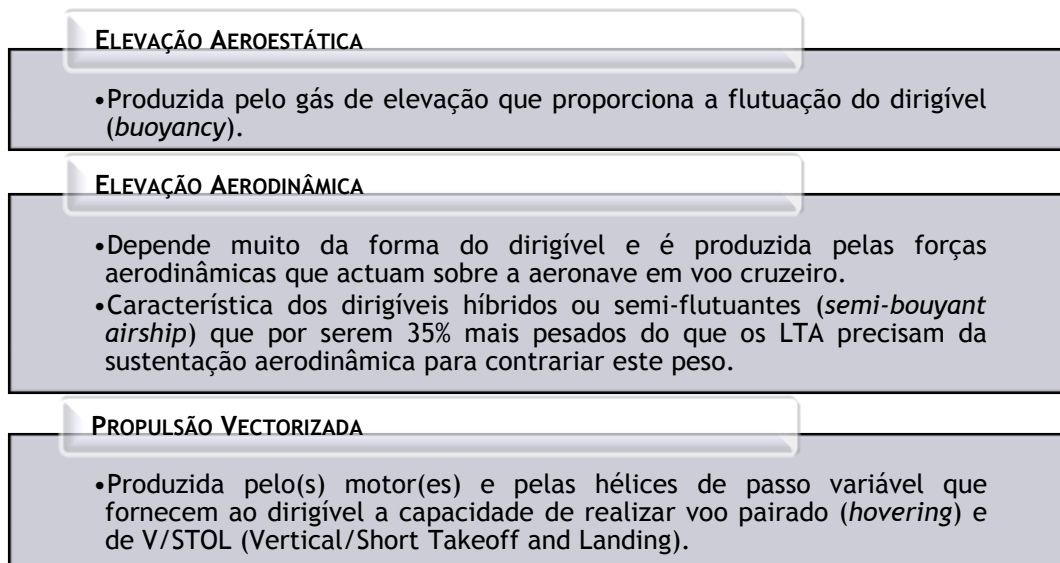


FIGURA 12: Tipos de Elevação/Sustentação dos Dirigíveis

O controlo da elevação/sustentação dos dirigíveis sempre foi um desafio de projecto pois é preciso ter em consideração que as propriedades e o comportamento do gás de elevação são afectados pela densidade do ar circundante que varia com a altitude. A forma mais simples e convencional do sistema de controlo da altitude dos dirigíveis está descrita no Anexo A.2. Este sistema deverá ter a capacidade de compensar o dirigível em caso de turbulência durante o voo, perdas de peso do dirigível devido ao consumo de combustível ou a alteração da carga de transporte.

O tipo de elevação dos projectos de dirigíveis híbridos (HAV- Hybrid Air Vehicles) concilia as características de elevação aerostática dos dirigíveis convencionais com as características de sustentação aerodinâmica das aeronaves tradicionais tornando os HAV em dirigíveis de última geração que segundo Boyd (2001) apresentam qualidades de *performance* únicas como a redução em cerca de 60% dos custos operacionais por cada tonelada de carga transportada quando comparado com o tradicional sistema aéreo, e elevada autonomia (aptidão para permanecer vários dias em voo sem necessidade de reabastecer). Este autor coloca os híbridos numa posição intermédia face ao actual sistema de transporte por terem maior velocidade de cruzeiro que o transporte marítimo e por apresentarem desempenhos mais económicos do que o transporte aéreo tradicional. Em termos da capacidade operacional a grande diferença entre os dirigíveis convencionais e os HAV é a capacidade de transporte de carga: enquanto os convencionais podem suportar apenas 8% da sua carga aerodinamicamente os híbridos suportam 30%. É uma diferença considerável para projectos em que o factor carga é um requisito de grande importância.

A aerodinâmica do dirigível é uma característica de projecto que tem impacto directo no desempenho operacional pois, deste parâmetro depende o valor da velocidade máxima que a aeronave é capaz de atingir. Muito embora o coeficiente de resistência do ar (arrasto) previsto para os dirigíveis actuais seja baixo é preciso considerar que esta força de arrasto aumenta com o aumento da velocidade e condiciona a manobrabilidade do dirigível principalmente a baixas velocidades. A aplicação de propulsão vectorizada veio dar um forte contributo à resolução deste aspecto técnico crítico de projecto que é a manobrabilidade: segundo Valera e Nagabhushn (2002) as hélices de passo variável fornecem o necessário controlo do dirigível, a baixa velocidade. A propulsão vectorizada não só permite um melhor controlo da estabilidade do voo como possibilita ao dirigível semelhanças operativas com os helicópteros, tais como capacidade de descolar e aterrar verticalmente, designada de VTOL (Vertical Take Off/Landing), não requerendo pista e capacidade de realizar voo pairado (*hovering*). Os dirigíveis híbridos para vencerem a resistência do peso precisam de uma pequena pista para aterrar e descolar onde possam realizar a corrida, em sentido oposto à direcção do vento, de forma a gerarem a sustentação aerodinâmica necessária

para descolagem designada de STOL (Short Take Off/Landing). A propulsão vectorizada possibilita também a descolagem e aterragem a 45°; assim os dirigíveis não têm de realizar a corrida de pista, que neste particular é designada de ZTOL (Zero Take Off/Landing). A propulsão vectorizada é conseguida por duas configurações diferentes do sistema de propulsão. Actualmente a configuração mais utilizada é o sistema combinado Motor-Hélice de forma em ducto em que todo o conjunto tem capacidade de rodar (o sistema de propulsão vectorizada dos dirigíveis da Zeppelin NT têm a capacidade de rodar até 120°). Consiste numa configuração em que, segundo Gawale e Pant (2004), toda a aeronave fica sujeita a elevadas forças de torção e por essa razão é necessário colocar estruturas que suportem esse esforço adicional. Este sistema tem de ser colocado próximo da gôndola conduzindo a um aumento do seu peso. Esta configuração exige um esforço para otimizar todo o sistema quanto às vibrações e ao ruído. Outra possível configuração da propulsão vectorizada consiste num ducto com forma circular colocado sobre as hélices, como se mostra na Figura 13.



FIGURA 13: Representação do Sistema de Funcionamento da Propulsão Vectorizada em Ducto, [19]

No ducto é colocada a grelha de alhetas; na parte inferior do ducto esta grelha de alhetas permite redireccionar o impulso do motor através do ajusto do ângulo das pás, por exemplo quando o dirigível descola redirecciona-se o impulso do motor para baixo (ver Figura 13). Nesta configuração não existe rotação no ducto do conjunto motor-hélice tendo por isso as vantagens de não estar sujeito a elevadas forças de torção e não precisar de suportes estruturais para aguentar esses esforços diminuindo assim o peso da gôndola (Gawale e Pant, 2004). Esta configuração exige apenas o esforço necessário para mover e ajustar o deslocamento angular das pás.

O princípio do séc. XXI marcou o início de estudos tecnológicos que visam a viabilidade da aplicação de sistemas de energia renovável a dirigíveis e que incluem sistemas de propulsão eléctrica e de armazenamento de energia, sistemas fotovoltaicos e sistemas capazes de eliminar calor residual. A prova disso é o artigo de Colozza e Dolce (2005) segundo o qual em 2001 a NASA's Glenn Research Center deu início à investigação das tecnologias necessárias à exequibilidade do projecto de um dirigível para observação e vigilância que empregasse sistemas renováveis de energia eléctrica. A aplicação de

energias renováveis em dirigíveis implica um esforço na optimização do projecto de forma a maximizar a sua eficiência. É necessário considerar o sistema energético e propulsivo e o desempenho aerodinâmico da aeronave como um conjunto para que esteja garantido o equilíbrio entre o peso mínimo dos sistemas e o correcto balanceamento da geração/armazenamento de energia solar e o consumo energético necessário para a propulsão da aeronave. Assegurar o bom desempenho de um sistema energético renovável implica ter em atenção parâmetros como as mudanças sazonais dos ventos (o vento tem um efeito significativo sobre o arrasto e por conseguinte no consumo de energia necessário para vencer esse arrasto), da luz solar, os objectivos da missão, o peso máximo do dirigível e a latitude e altitude em que a missão decorre (da latitude depende a quantidade de energia solar disponível e em altas altitudes a incidência de energia solar é reduzida especialmente em latitudes norte durante o inverno), o que representa um enorme desafio conceptual na determinação do balanceamento entre a energia gerada/armazenada e a energia consumida por cada sistema da aeronave. Existe uma interdependência entre o balanço energético e a envergadura do dirigível da qual depende a área disponível para a aplicação de painéis foto voltaicos: alterando o tamanho da aeronave não só a quantidade de energia solar gerada e captada é diferente como também a quantidade de energia requerida por um sistema propulsivo capaz de produzir a potência necessária para vencer o arrasto é maior ou menor dependendo da dimensão do dirigível. Como referem Colozza e Dolce (2005) o dimensionamento dos sistemas energéticos e de propulsão exige uma abordagem analítica entre a necessidade, capacidade e limitações do dirigível. Por essa razão estes sistemas devem ser concebidos como um todo associado à aerodinâmica da aeronave e não como subsistemas separados. A NASA's Glenn Research Center tem conduzido programas que visam a aplicação de células de combustível regenerativas (RFC- Regenerative Fuel Cell) em dirigíveis HAA. Estas são células de combustível de última geração que ainda se encontram em fase de estudo de desempenho em aeronaves reais mas se estes estudos vierem a comprovar a sua eficácia operativa, será um grande passo na aplicação de energia *limpa* na propulsão de aeronaves. As RFC funcionam em ciclo fechado de hidrogénio-oxigénio podendo realizar múltiplos ciclos de carga/descarga de energia através da transição ordenada entre estes dois modos e apresentam como principais vantagens a elevada capacidade de armazenar energia, a faculdade de captar energia de várias fontes e não apenas energia solar, e apresentam um ciclo de vida praticamente ilimitado. Na Figura 14 estão representados os principais componentes de um sistema de propulsão renovável aplicados aos dirigíveis e a sua ligação.

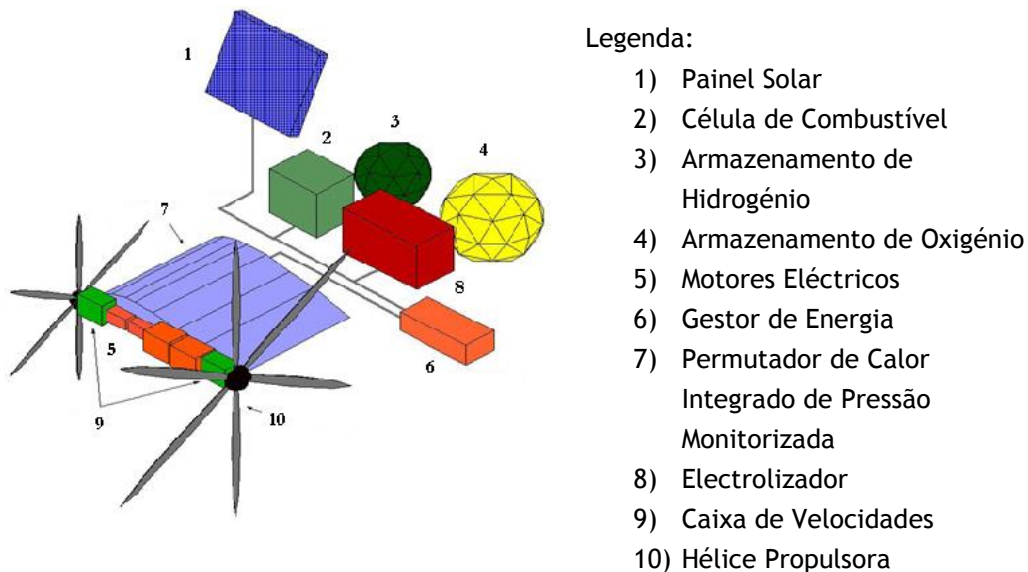


FIGURA 14: Representação do Modelo de um Sistema de Energia Renovável para Propulsão de Dirigíveis, (adaptado de [14])



Hall *et al.* (2002) referem que a potência requerida pelo sistema propulsivo do dirigível depende das condições impostas pela hélice para produzir a tracção suficiente para vencer o arrasto. Factores como voar a uma velocidade de cruzeiro ou altitude diferentes da de projecto diminuem a eficiência da hélice que pode ser compensada voando a velocidades mais baixas que por sua vez faz com que a quantidade de potência necessária para vencer o arrasto diminua. Assim, a escolha do sistema energético do dirigível deve atender às exigências energéticas de todos os sistemas da aeronave (sistema propulsivo, electrónicos, aviónicos, etc.). A potência requerida para cada sistema ou componente deve ser determinada de forma a seleccionar o tipo e o tamanho do sistema energético ao mesmo tempo que deve garantir a operacionalidade do dirigível mesmo em condições ambientais adversas; uma escolha correcta deste sistema é o primeiro passo para assegurar o bom desempenho operativo do projecto.


No controlo dos modernos dirigíveis são empregues avançados sistemas electrónicos e aviónicos que garantem a segura operacionalidade e manobrabilidade da aeronave em todas as etapas do voo. O Controlo Fly-by-Wire (FBW) converte e envia para o computador de bordo os movimentos das superfícies de controlo em sinais eléctricos. De seguida as superfícies de controlo movimentam-se de acordo com a ordem dada pelo computador (sem interferência do piloto). Uma evolução deste sistema que está a ser empregue nos dirigíveis é o Controlo Fly-by-Light (FBL) que tal como o FBW também executa o controlo automático dos estabilizadores mas tem como vantagens apresentar maior largura de banda e utilizar fibra óptica sendo por isso um sistema mais leve e isento a interferências electromagnéticas, como relâmpagos. O processador de dados de voo e os sistemas de controlo de voo formam o sistema de gestão de intercâmbio de dados designado por Onboard Data Exchange Managing System (ODEMS).

Actualmente os dirigíveis seguem as regras de segurança impostas pela FAA denominadas por FAR - Federal Aviation Regulations e que estabelecem as regras de segurança para a instrumentação e para a navegação aéreas conhecidas como IFR - Instrument Flying Rule e VFR - Visual Flight Rules, por essa razão os dirigíveis incorporam sistemas como o de posicionamento global ou GPS (Global Positioning System) que fornece os dados exactos da sua localização (latitude e longitude), sistema de visão nocturna (infravermelhos) e sensores meteorológicos que possibilitam operações nocturnas, seguindo sempre as regras de segurança para as condições meteorológicas de voo por instrumentos designadas por IMC - Instrument Meteorological Conditions, colocando os dirigíveis no mesmo grau de segurança operativa que as tradicionais aeronaves ao nível da instrumentação e da navegação.

A estabilidade do dirigível em voo é conseguida pela acção das superfícies de controlo localizadas na cauda do envelope. Na Tabela 3 descrevem-se as três configurações das empenagens actualmente empregues nos dirigíveis. É pelo equilíbrio dos esforços dos estabilizadores (horizontais e verticais) que se realiza o controlo da direcção da aeronave e pela acção dos lemes (*rudder*) e dos elevadores (*elevator*).

TABELA 3: Configurações Possíveis das Empenagens de Cauda dos Dirigíveis

Configuração	Descrição
<p data-bbox="368 1070 671 1104">Configuração em cruz (+)</p>  <p data-bbox="264 1361 679 1429">Dirigível MZ-3A da Marinha Norte Americana</p>	<p data-bbox="804 1171 1326 1328">Configuração mais simples de operar por ser a única que diferencia bem os lemes dos elevadores. Os lemes produzem o movimento de arfagem e os elevadores o movimento de guinada.</p>
<p data-bbox="392 1429 647 1462">Configuração em "X"</p>  <p data-bbox="264 1720 692 1751">Dirigível Aeros-40D- "Sky Dragon"</p>	<p data-bbox="804 1440 1326 1742">Configuração onde as quatro superfícies de controlo estão colocadas a 45° e cada estabilizador é capaz de produzir tanto o movimento de guinada como de arfagem e por isso são designados de <i>ruddervators</i>. Esta configuração apresenta como principal vantagem uma maior estabilidade do dirigível em voo o que facilita a aterragem e a descolagem por permitir um maior ângulo de ataque.</p>

<p>Configuração em “Y” Invertido</p>  <p>Zeppelin NT</p>	<p>A configuração é semelhante à configuração em “X” com a diferença que apenas tem três estabilizadores o que permite economizar peso à aeronave.</p>
---	--

Na concepção do projecto dos dirigíveis é necessário ter também em consideração a interacção entre a elasticidade estrutural da aeronave e o seu comportamento aeroelástico (motivado pelo fluxo de ar que passa pelo dirigível em voo). Segundo Amiryants *et al.* (2002) o problema da aeroelasticidade está associado às características de rigidez das empenagens, dos estabilizadores horizontais (para aterrar e descolar) e dos lemes verticais (para orientação do dirigível) colocados na cauda do envelope. Para este autor a investigação do comportamento aeroelástico passará pelo desenvolvimento de ferramentas teóricas adaptadas para os problemas associados às características operacionais dos dirigíveis

2.4 Características Gerais de Operacionalidade

Devido às suas limitações operacionais a altitude de voo de cruzeiro dos dirigíveis para transporte de carga e de passageiros ronda os 3.000 m de altitude e por isso o seu corredor aéreo situa-se em altitudes inferiores às utilizadas pela maioria das aeronaves. Já o alcance máximo dos dirigíveis actuais ronda os 1.000 km, que depende da quantidade de combustível que o dirigível é capaz de transportar para além da carga. Segundo Szirmai *et al.* (2002) existem projectos de dirigíveis com um possível alcance de mais de 10.000 km. Em relação à velocidade máxima de cruzeiro, actualmente os dirigíveis são capazes de realizar voo de cruzeiro numa gama de velocidades que se situa entre os 90 km/h e os 160 Km/h.

Os procedimentos de carga/descarga e de aterragem representam as manobras de maior risco na operacionalidade dos dirigíveis. Na maioria dos casos os dirigíveis utilizam lastros de água para manter o equilíbrio vertical nas manobras de carga/descarga e requerem uma equipa de apoio em terra para certificar a ancoragem segura da aeronave. Esta deverá preparar a área para a chegada do dirigível e para alguns destes deverão também ser assegurados pontos de ancoragem no solo de forma a facilitar estes processos.

Os mastros dependendo das características do local de aterragem podem ser fixos ou móveis (colocados sobre carris ou rodas). Segundo Szirmai (2002) os mastros de amarração poderão ser adaptados a partir de plataformas terrestres já existentes (por

exemplo antenas de transmissão), a partir de edifícios altos com equipamentos que poderão ser adaptados como mastros de amarração, ou ainda adaptados como parte integrante de plataformas flutuantes. Actualmente existem mastros de amarração retrácteis que podem regular a sua altura, isto é, na fase de aproximação do dirigível o mastro sobe proporcionando segurança na manobra de ancoragem e de seguida recolhe até à base da plataforma facilitando as operações de carga/descarga e de embarque/desembarque entre outras. A regulação das alturas do mastro de amarração torna possível a ancoragem segura dos dirigíveis independentemente do seu tamanho mesmo em aterragens com ventos fortes e adversos. Estes mastros de amarração são providos com estabilizadores hidráulicos que garantem uma ancoragem firme e segura da aeronave exigindo uma reduzida equipa de apoio de terra.

A manobra de ancoragem exige pois uma estreita interacção entre a manobrabilidade da aeronave e o mastro de amarração de forma a garantir a segurança na aterragem do dirigível e reduzidos custos operacionais com recurso a reduzidas equipas auxiliares de terra. Também para garantir a boa operacionalidade dos dirigíveis são necessárias ainda infra-estruturas de terra como: sistemas de reabastecimento dos lastros de água (*reballasting*) e métodos standardizados como dos aeroportos comuns como sistemas para tratamento e rastreio de bagagens e mercadorias (Figura 15).

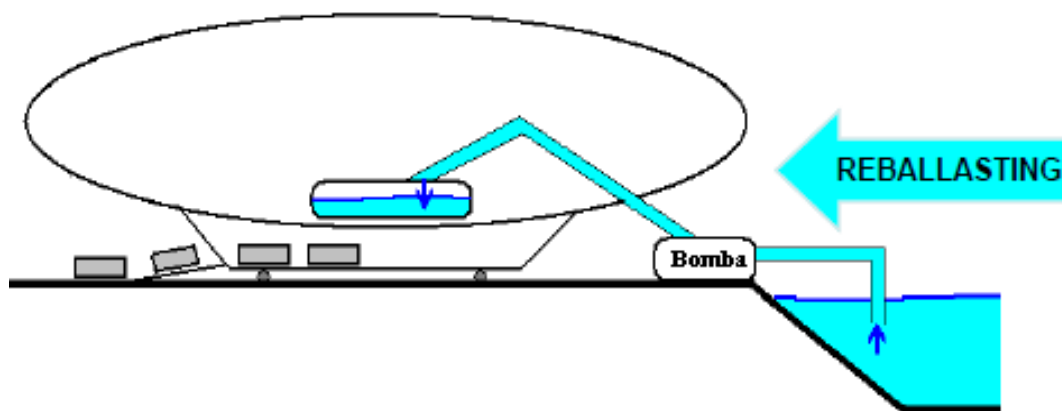


FIGURA 15: Representação do Sistema de Reabastecimento dos Lastros de Água de um Dirigível, (adaptado de [20])

As características operativas dos dirigíveis comuns (LTA - Lighter-Than-Air) e dos dirigíveis avançados, isto é, híbridos (HTA - Heavier-Than-Air) são bastante diferentes. No Anexo A.3 são descritas as características gerais e as diferenças operativas entre estas duas classes de dirigíveis.

Na Tabela 4 são descritas as principais infra-estruturas básicas requeridas pelos dirigíveis para assegurar a sua operacionalidade em terra.

TABELA 4: Infra-Estruturas Necessárias para Assegurar a Operacionalidade dos Dirigíveis em Terra.

Infra-estrutura	Descrição
Mastro de Ancoragem	O dirigível é ancorado pelo cone do nariz (do envelope) ao mastro de amarração por um cabo retráctil. Este procedimento pode ocorrer com o dirigível em voo pairado (hovering). Este é o procedimento para carga/descarga de mercadoria, embarque/desembarque de passageiros, reabastecimento de combustível, etc.
Plataforma de Ancoragem (Porto do Dirigível)	Plataformas circulares com um mastro de amarração no centro, caracterizam-se por se situarem em locais com grande espaço livre que proporcionam a chegada e partida dos dirigíveis, independentemente da direcção do vento.
Hangar	Local adequado para procedimentos de manutenção, reparação e protecção aos agentes meteorológicos à semelhança das restantes aeronaves. A instalação do hangar deverá coincidir com a direcção dos ventos dominantes no local.
Sistemas de Aterragem	São sistemas de apoio ao procedimento de aterragem e que inclui equipamentos para monitorização do vento, estação de radiocomunicação, controlo de aproximação por radar e equipa de terra para apoio ao procedimento de ancoragem.

Os dirigíveis actualmente, quando comparados com os meios de transporte convencional, requerem pouco espaço para operar e não exigem pistas compridas devido às suas capacidades de VTOL, STOL e ZTOL; por essa razão podem aterrar e descolar em locais remotos inacessíveis para outros meios de transporte. Dependendo do tipo de transporte, mercadoria ou passageiros, a base operativa dos dirigíveis poderá ser localizada perto de grandes cidades o que proporciona uma interligação com outras infra-estruturas de transporte; ou ainda, outra alternativa que poderá ser bastante económica é a adaptação de aeródromos pouco utilizados ou abandonados como base operativa dos dirigíveis.

2.5 Limitações Operacionais e impacto dos Factores Meteorológicos

O controlo da flutuabilidade tem sido focado ao longo do capítulo por ser um problema primário do projecto dos dirigíveis. Avanços tecnológicos têm permitido encontrar soluções viáveis que garantem de forma segura o controlo da capacidade de sustentação e de flutuabilidade do dirigível.

Quando o dirigível descola o seu peso estático está equilibrado mas ao longo da missão esse equilíbrio é afectado por diversos factores como: consumo de combustível, diferenças de pressão barométrica, alterações da temperatura do ar circundante e/ou do gás de elevação, precipitação e humidade, etc. Actualmente o controlo da flutuabilidade pode ser realizado através de mecanismos de compensação de peso (Anexo A.4).

Para o bom desempenho operacional do dirigível é essencial uma avaliação diária do estado do tempo e dos factores de risco para a missão da aeronave e essa avaliação depende muito da competência dos pilotos e da companhia que opera a aeronave. Na preparação do voo é necessário realizar uma correcta avaliação das imagens de radar e de infra-vermelhos de satélites e ainda a avaliação de mapas com informação sobre zonas da rota contendo descargas eléctricas. A experiência do piloto do dirigível é também um factor de segurança no que toca à avaliação dos riscos meteorológicos pois através do seu conhecimento da topografia da rota de voo pode prever o comportamento das correntes de ar susceptíveis de desenvolver tempestades. Os avanços tecnológicos ao nível dos instrumentos de voo proporcionaram o aparecimento de radares capazes de fornecer dados com elevada precisão para a aproximação das aeronaves mesmo com visibilidade nula e para um tecto máximo de voo de 60,96 m. Porém existem zonas que estes radares não conseguem alcançar e mesmo com recurso a GPS (Global Positioning System) que tem a capacidade de fornecer a posição exacta da aeronave em tempo real e os dados básicos para uma aproximação direccionada de forma a evitar obstáculos, ainda assim nem sempre o dirigível é capaz de operar em ambiente adverso, pois também a monitorização de sinais GPS não é aconselhável para zonas não abrangidas por satélite ou sem estações instaladas no terreno.

Todos os meios de transporte são mais ou menos afectados por causas climáticas. O dirigível como qualquer aeronave também é vulnerável a más condições meteorológicas principalmente devido à sua natureza que os torna vulneráveis às condições meteorológicas: a sua relação volume/peso elevada torna-os bastante sensíveis ao vento e o elevado factor de arrasto face à relativamente baixa força de tracção dificulta a manobrabilidade e o controlo do dirigível contra as correntes de ar adversas. Porém a evolução tecnológica tem permitido ultrapassar estas limitações do projecto dos dirigíveis. A Tabela 5 mostra a forma como todos os meios de transporte, de uma forma geral, são afectados por alguns dos principais fenómenos meteorológicos. Nos dirigíveis a influência dos factores meteorológicos são evidentes e acarreta maiores preocupações do que nos transportes marítimo, rodoviário e ferroviário, contudo comparativamente ao actual sistema aéreo as precauções face aos fenómenos do tempo são idênticos. Mais de 1/5 dos acidentes de aviação com aeronaves convencionais são ocasionados por agentes climáticos (trovoadas, granizo, turbulência repentina, gelo, etc.). Por conseguinte as preocupações com os factores ambientais e o estado do tempo não são apenas preocupações da operação com dirigíveis mas sim de todas as aeronaves. Pode então concluir-se que todo o sistema de transporte aéreo carece de novos e melhorados sistemas que permitam aferir com maior precisão potenciais riscos meteorológicos de forma a evitá-los. Perante a possibilidade de factores meteorológicos adversos os dirigíveis actualmente estão equipados com sistemas de navegação por satélite, rádiocomunicações e radar digital semelhantes às

tradicionais aeronaves e ainda com manómetros que verificam a pressão no interior do envelope, sensores de temperatura e sensores de vento que em tempo real conseguem prever zonas de turbulência, gelo, fortes rajadas de vento, etc, permitindo aos pilotos da aeronave evitar atempadamente factores ambientais e climatéricos hostis e limitadores da segurança operacional de voo. Face ao fenómeno meteorológico da trovada que provoca descargas eléctricas, a investigação tecnológica tem procurado aplicar no envelope dos dirigíveis material condutor capaz de operar como pára-raios, mas esta aplicação apresenta uma grande desvantagem estrutural: grande aumento de peso. Operações em climas frios e com formação de gelo carecem de sistemas capazes de realizar o degelo e/ou de materiais integrados no envelope com características anticongelantes. Apesar de as aeronaves convencionais utilizarem sistemas de anti-gelo a sua aplicação a dirigíveis actualmente não é pois viável: grande aumento do peso do envelope e consequentes problemas na fabricação estrutural da aeronave. Em relação a operações em climas quentes a maior dificuldade que daí advém são problemas termodinâmicos: o gás de elevação torna-se mais quente que o ar circundante e expande aumentando a força de sustentação do dirigível. De entre todos os factores meteorológicos o que mais influência tem na segurança operacional dos dirigíveis é o vento pois a intensidade e a direcção do vento variam significativamente com a altitude e por essa razão é fundamental a especificação da altitude operacional máxima dos dirigíveis de forma a garantir a segurança do voo.

TABELA 5: Forma como os Fenómenos Meteorológicos Afectam a Operacionalidade dos Transportes

Factores Climáticos	Transporte Marítimo	Transporte Rodoviário	Transporte Ferroviário	Transporte Aéreo	Dirigível
Trovoada	Pouco afectado	Pouco afectado	Afectado	Afectado	Afectado
Chuva forte	Pouco afectado	Afectado	Pouco afectado	Afectado	Afectado
Vento forte	Afectado	Pouco afectado	Pouco afectado	Afectado	Muito Afectado
Tempestade	Muito Afectado	Muito Afectado	Afectado	Muito Afectado	Muito Afectado
Gelo	Afectado	Muito Afectado	Pouco afectado	Muito Afectado	Muito Afectado
Granizo	Pouco afectado	Afectado	Pouco afectado	Muito Afectado	Afectado

Em termos de certificação de aeronavegabilidade e de especificação operativa para os dirigíveis, segundo Szirmai *et al.* (2002) na Alemanha e Holanda os principais requisitos de segurança perante factores meteorológicos definidos pela TAR (Transport Airship Requirement) exigem testes de desempenho que comprovem a resistência estrutural do envelope quando sujeito a camadas de gelo ou neve, impõe que o dirigível mesmo quando danificado por fenómenos climáticos (relâmpagos, gelo, granizo, etc.) seja capaz de manter a segurança de voo, e perante forte chuva a TAR aconselha que o

dirigível aumente a sua velocidade de forma a resistir à carga extra a que fica sujeito.

A segurança operacional dos dirigíveis depende não só de um projecto bem detalhado das suas especificidades técnicas e operativas como também dos materiais de construção e dos sistemas aplicados na aeronave mas sobretudo de uma análise pormenorizada e preventiva do seu comportamento perante agentes meteorológicos adversos que delimitem a sua altitude e regimes de voo.

2.6 Aplicabilidade e Impacto Ambiental

As características operativas que possibilitam o regresso dos dirigíveis como meio de transporte complementar ao sistema actual são inúmeras e dependem da especificidade dos projectos. Aumentando a diversidade de potenciais sectores para aplicação dos dirigíveis menor é o risco do investimento, pois sectores onde a aplicabilidade se venha a revelar pouco proveitosa podem ser compensados por sectores em que a sua utilização supere as expectativas iniciais do projecto.

O emprego dos dirigíveis para fins comerciais, civis e militares, tendo em conta o panorama da rede de transporte actual, é revolucionário: mercadoria perecível pode ser transportada mesmo em longos percursos, o transporte de mercadorias pesadas pode partir da fonte e chegar ao destino sem passar por nenhum outro modo de transporte, isto é, proporcionando o transporte ponto a ponto, sem necessidade de recorrer a meios de transporte complementares. Aliás, Szirmai *et al.* (2002) apontam esta como sendo a maior vantagem dos dirigíveis em termos de custos de operacionalidade. Para além do transporte de mercadorias perigosas que pode assim ser realizado evitando áreas povoadas.

A par da evolução tecnológica têm surgido novos horizontes para a aplicação de dirigíveis. Tendo em consideração a exequibilidade de um projecto de dirigível em Portugal segue-se uma lista sumária das áreas mais viáveis para a sua aplicabilidade:

Vigilância, Monitorização: pelas qualidades operativas de longa autonomia, os dirigíveis podem cumprir missões de longa duração, por largos períodos de tempo sem necessidade de reabastecimento, podendo funcionar como plataformas viáveis para missões de vigilância e monitorização. Quando equipados com radares, segundo Bilko (2007), os dirigíveis são bastante eficientes na recolha de dados possibilitando uma maior precisão e resolução das imagens 10 a 50 vezes superior às proporcionadas pelos radares hoje utilizados. Os dirigíveis em conjunto com os sistemas de vigilância e de monitorização existentes funcionariam como complemento na recolha de informação pela grande cobertura de sinal que proporcionariam e pela capacidade de monitorização continuada. Um conceito de patrulha marítima interessante também

defendido por Bilko (2007) é o emprego dos dirigíveis como plataforma complementar, pois apesar de serem aeronaves mais lentas que as aeronaves de patrulha actuais os dirigíveis são mais rápidos que os navios. E por isso este autor defende que a desvantagem da velocidade dos dirigíveis pode ser compensada pela potencialização das suas capacidades ao serem utilizados como ponte operacional entre as aeronaves tradicionais mas de baixa autonomia e os navios, submarinos e satélites de forma maximizar todo o seu potencial operativo.

Comunicações: para além da capacidade para cobertura televisiva de eventos ao ar livre, nos últimos anos têm surgido vários projectos que procuram a viabilização de dirigíveis de alta altitude ou HAA capazes de operarem em altitudes que se situam aproximadamente entre os 9.000 m e os 21.000 m. Nestas altitudes a intensidade dos ventos da estratosfera é relativamente baixa e por isso não condiciona o desempenho do dirigível. A grande potencialidade que tem sido estudada para os dirigíveis de alta altitude é a sua aplicação como plataforma para comunicações *wireless* e por todo o mundo têm surgido empresas empenhadas em desenvolver este conceito entre as quais se destacam a Sanswire Networks nos Estados Unidos da América e a Wireless Innovation Systems Group no Japão.

Missões de Salvamento, Emergência e Combate a Incêndios: devido à sua grande capacidade de transporte e autonomia os dirigíveis podem complementar os actuais sistemas de transporte em missões humanitárias e de combate a incêndios. Dada à sua grande autonomia os dirigíveis podem também monitorizar vastas áreas florestais para detecção de fogos e vigia de reacendimentos. Em Portugal esta seria uma aplicabilidade bastante vantajosa pois funcionariam como sistemas complementares de prevenção aos fogos florestais.

Transporte de Carga Geral, Carga Pesada, Indivisíveis e Perecíveis: o transporte de carga está dependente do valor que a mercadoria tem no local de destino e com o tipo de mercadoria. Por isso a escolha do sistema de transporte depende da relação entre diversos factores como por exemplo, o tempo que demora o transporte, os portes a pagar pela carga, a qualidade de acomodação da carga e quando necessário a qualidade do controlo de temperatura da mercadoria. Na Tabela 6 podemos observar a comparação do transporte de dirigível face aos tradicionais sistemas de transporte tendo em conta alguns dos principais requisitos para a opção do sistema de transporte de carga.

TABELA 6: Análise Comparativa dos Principais Requisitos Operacionais dos Dirigíveis vs. Sistema de Transporte Tradicional

Requisito	Dirigível Vs.			
	Transporte Marítimo	Transporte Rodoviário	Transporte Ferroviário	Transporte Aéreo
Velocidade	Muito mais rápido	Mais rápido	Muito mais rápido	Muito mais lento
Capacidade de Carga	Capacidade inferior	Capacidade muito maior	Capacidade inferior	Capacidade muito maior
Capacidade de Adaptação da Carga	Muito mais flexível	Menos flexível	Muito mais flexível	Mais Flexível
Custo de Transporte	Mais caro	Mais caro	Muito mais Caro	Muito mais económico

Comparativamente aos sistemas tradicionais de transporte, verifica-se que os dirigíveis apresentam capacidades únicas que permitem antever a sua aplicabilidade em diversos nichos no mercado do transporte. Quando comparados com o tradicional sistema de transporte aéreo, os dirigíveis apresentam maior aptidão para missões de longa duração sem necessidade de reabastecimentos e de forma muito mais económica oferecendo custos operacionais e de manutenção reduzidos principalmente pela aplicação de taxas de transporte mais reduzidas.

É possível vislumbrar num futuro próximo a utilização destas aeronaves como complemento entre o rápido e dispendioso transporte aéreo e o lentos mas bastante mais económicos transportes marítimo, rodoviário e ferroviário. A implementação dos dirigíveis passará sempre pelo complemento à rede de transportes actual numa posição única de compromisso estratégico no mercado global do transporte.

Em Portugal, os dirigíveis podem operar em missões complementares com os helicópteros, visto terem maior capacidade de levantamento de carga e maior autonomia, como para o transporte e instalação de torres de suporte ao transporte de energia eléctrica, turbinas hidráulicas, geradores, aerogeradores, e equipamentos, sem obrigar à construção de grandes infra-estruturas de apoio. A viabilidade do transporte de mercadorias em dirigíveis passa por encontrar as oportunidades de mercado que catalisem as suas (fortes) potencialidades face aos modos de transporte convencionais. Entre as principais potencialidades destacam-se: a capacidade operacional pouco afectada pela geografia do local em que opera, a capacidade de aterrar e descolar em locais sem exigência de complexas infra-estruturas, a capacidade de executar o transporte de diferentes tipos de carga (pesada, de grande dimensão, frágil ou perecível) e ainda a capacidade única de transporte ponto a ponto sem necessidade de transbordo para outros meios de transporte.

Mercado do Transporte de Passageiros: o transporte de passageiros mais viável para os dirigíveis é o abrangido pelo sector do turismo. A capacidade de se poder admirar paisagens fascinantes, em plataformas aéreas gigantes de forma confortável e silenciosa, torna esta aeronave bastante atraente para fins turísticas. No sector do transporte de passageiros em geral, o dirigível pode ser uma alternativa, pois apesar de não poder competir directamente com o tradicional sistema de transporte aéreo, pelo conforto que oferece, permite ao passageiro, por exemplo o planeamento de negócios, a preparação de reuniões durante o decurso da viagem, com a vantagem de colocar o passageiro directamente no centro de negócios sem necessidade de este recorrer a outros meios de transporte, permitindo-lhe desta forma poupar tempo e recursos financeiros. Na análise do mercado do transporte de passageiros Storm (1996) refere que os dirigíveis são capazes de competir com o sistema ferroviário para longas distâncias pela sua capacidade de transporte ponto a ponto. Comparativamente ao transporte rodoviário o dirigível apenas é capaz de competir no transporte turístico para distâncias acima dos 200 km. Comparativamente ao transporte marítimo o dirigível é competitivo face a cruzeiros de luxo. Em suma de um ponto de vista geral da análise do mercado do transporte de passageiros o estudo conclui que o dirigível é viável para distâncias entre os 200 km e os 1.000 km; no que respeita às emissões de poluentes dos diferentes sistemas de transporte, este mesmo estudo conclui que: apenas o comboio inter-cidades apresenta valores mais baixos para a emissão de CO₂ (dióxido de carbono); o impacte ambiental dos dirigíveis, a velocidades operacionais moderadas (100 a 150 km/h), é comparável ao impacto ambiental do transporte ferroviário; por isso os valores das emissões de NO_x (óxidos de azoto) e de C_xH_y (hidratos de carbono) dos dirigíveis são baixos e a ocupação do espaço pelas infra-estruturas do dirigível é semelhante à da ocupação das infra-estruturas do TGV e das aeronaves comuns.

2.7 Certificações e Legislação Europeia

Actualmente as autoridades reguladoras de cada país certificam que as aeronaves cumprem todos os requisitos de segurança, desde o projecto até à fase de fabrico, garantindo o cumprimento das normas de aeronavegabilidade. A homogeneização dos procedimentos que conduzem à obtenção de certificados asseguram a garantia necessária para a homologação das aeronaves noutros países que não o de origem.

A European Aviation Safety Agency (EASA), para resolver problemas relacionados com o projecto, certificação e fabrico, considera para efeitos de requisitos de aeronavegabilidade a classe de aeronave ELA1 Aircraft (*European Light Aircraft*), onde insere os dirigíveis com as seguintes características *dois ocupantes no máximo e com um volume máximo de gás de elevação (...) que não exceda os (...) 1.000 m³ de gás de elevação* (INAC, 2009, pág.1) a classe LSA Aircraft (*Light Sport Aeroplane*) com as

seguintes características: *peso máximo à descolagem (MTOM) inferior a 600 kg, Velocidade máxima de perda na configuração de aterragem (VSO) inferior a 45 nós de velocidade calibrada (CAS) ao peso máxima à descolagem certificada da aeronave e no centro de gravidade crítica, capacidade máxima de 2 pessoas incluindo o piloto, cabine não pressurizada, e um motor não-turbina equipado com uma hélice*, (INAC, 2009, pág.2). A EASA NPA No 2007-08 (Notice of Proposed Amendment), reflecte os requisitos da PART M (Regulação da Comunidade Europeia EC 2042/2003 - Rules for the Continuing Airworthiness and Maintenance of Aircraft), para aeronaves dirigíveis não utilizadas em transporte comercial e para manutenções e reparações realizadas por pilotos e proprietários das aeronaves. A EASA também estabelece os requisitos necessários para a certificação dos dirigíveis CS 30 - Airships Certification Specifications. A EASA não considera necessário, para efeitos de manutenção do envelope e de instrumentos, a colocação do dirigível em hangar; contudo ressalva que o procedimento de manutenção deve seguir os requisitos previstos no M.A.402 (Maintenance Standards/Performance of Maintenance), EASA Form1, onde apenas ele é exigido para manutenção e reparações complexas. Prevê também no M.A.803 as limitações para a manutenção por parte dos pilotos das dirigíveis (Licença de piloto-Proprietário).

Relativamente a Portugal, o Instituto Nacional de Aviação Civil (INAC) na Circular Técnica de Informação C.T.I. 09-02 - EDIÇÃO 1, adota a regulamentação da PART M do REGULAMENTO EC N.º2042/2003. É o único regulamento oficial em Portugal que faz referência a dirigíveis, embora de pequena dimensão e de uso não comercial.

2.8 Conclusão

Perante o Estado de Arte da tecnologia que rege actualmente o projecto dos dirigíveis as principais vantagens e desvantagens registadas ao longo do capítulo estão vertidas na Figura 16.

Na concepção do projecto de dirigíveis é preciso ter em consideração que o emprego de novas tecnologias na aeronave deve ser realizado de forma gradual para permitir uma cuidada avaliação do desempenho das inovações introduzidas no projecto e garantir que os testes de qualificação abarcam as diferentes condições ambientais a que o dirigível será sujeito balizadas por restrições meteorológicas e limites operacionais da aeronave. Durante a fase de projecto é crucial o cumprimento dos requisitos de segurança dos materiais utilizados na qual o primeiro passo para garantir a aeronavegabilidade do dirigível é encarar o envelope como o elemento básico fundamental de toda a estrutura assegurando a boa protecção desta contra os danos e as perdas de resistência do material originados por factores ambientais como a corrosão ambiental. Ao mesmo tempo é imprescindível certificar a eficaz retenção do gás no interior do envelope.

VANTAGENS

- Operacionalidade com baixo impacte ambiental.
- Requer pouca infraestrutura para operar de forma segura.
- Custos operacionais relativamente baixos.
- Elevada capacidade de transporte de carga.
- O terminal pode ser colocado perto das grandes cidades.
- O conforto da viagem é comparável ao conforto proporcionado pela viagem num navio de cruzeiro.
- Elevada capacidade de transporte ponto-a-ponto.
- Elevada autonomia operacional.
- Elevada capacidade de adaptação da carga.
- Capacidades operacionais únicas de VTOL/STOL/ZTOL.

DESvantagens

- O transporte de dirigível para curtas distâncias (inferiores a 200 km) não é economicamente viável.
- É necessário garantir a operação segura do dirigível em altitudes de voo diferentes limitando o seu tecto operativo cuidadosamente e as condicionantes do voo.
- Dificuldade em encontrar sistemas que assegurem o controlo automático e completamente seguro da flutuabilidade quando o factor de inercia da aeronave é baixo (depende do volume do envelope).
- A operacionalidade é afectada pela intensidade do vento.

FIGURA 16: Vantagens e Desvantagens dos Dirigíveis

A prevenção dos fenómenos meteorológicos, deve passar não apenas pelo desenvolvimento de instrumentos capazes de fornecer dados meteorológicos precisos de forma célere e constantemente actualizados mas deve passar também por programas de formação de meteorologia a pilotos e a operadoras de dirigíveis para que adquiram novas técnicas de previsão de fenómenos meteorológicos e a competência necessária para contornar, principalmente em voo, alterações climatéricas inesperadas.

Estas aeronaves devem ser encaradas como complementares ao transporte aéreo existente e não como correntes. Não se conhecem ainda avanços tecnológicos devidamente testados que possibilitem aos dirigíveis atingir os níveis de velocidade das aeronaves convencionais; contudo existem nichos no mercado de transportes viáveis para a sua aplicação. Os dirigíveis são um meio de transporte altamente flexível podendo acomodar diferentes tipos de carga mesmo volumosa, pesada ou indivisível e como não têm constrangimento de infra-estruturas podem realizar transporte para qualquer tipo de terreno. Apesar de não serem tão rápidos como os helicópteros ou os aviões de carga a capacidade de transporte dos dirigíveis comparativamente com os helicópteros (que têm uma capacidade máxima de carga de aproximadamente 4,5 ton) é bastante superior e comparativamente com os aviões de carga os dirigíveis para além de terem uma capacidade de transporte superior também oferecem custos de transporte consideravelmente mais baixos.

As preocupações ambientais têm levado governos e empresas a procurar soluções sustentáveis para o problema da poluição causada pelos transportes. Os dirigíveis pelos baixos consumos de combustível e reduzidas emissões de poluentes surgem como uma solução possível e ecologicamente viável. Do ponto de vista ambiental estas aeronaves surgem numa posição vantajosa na qual o mercado poderá escolher entre o rápido e poluente sistema aéreo convencional e o transporte *verde* mas não tão rápido do dirigível. Muito provavelmente a preocupação ambiental será o estandarte para o regresso dos dirigíveis.

Razões económicas também estarão muito provavelmente na base para a viabilização dos dirigíveis, principalmente devido à crescente subida do preço dos combustíveis pois estas aeronaves consomem menos combustível do que as convencionais sobretudo porque a sua elevação é realizada pelo controlo da densidade do envelope face à atmosfera, sem recurso aos motores mas também porque os custos com a sua manutenção e com a construção e manutenção das sua infra-estruturas operativas são muito mais baixas do que qualquer outro meio de transporte, pois as zonas de aterragem e de desembarque de carga não precisam de ser preparadas nem mantidas operacionais como os aeroportos, heliportos ou cais de desembarque o que é uma mais-valia economizadora para os dirigíveis tanto a nível de custos, como técnicos. A excepção é feita apenas para as estruturas de atracagem e recolha em hangar. Entre as principais características operacionais dos dirigíveis que convergem para que os custos associados à sua operação sejam consideravelmente baixos destaca-se a grande capacidade de transporte de carga pesada com reduzido consumo de combustível; a aptidão para o transporte ponto a ponto; a capacidade de permanecer em missões de longa duração sem necessidade de reabastecimento; e a não exigência de infra-estruturas complexas nem de grande manutenção para operar em segurança.

O regresso dos dirigíveis é tecnologicamente viável; a questão que se coloca agora é quando é que essa tecnologia estará operacional. Segundo Woodgerd (2004) o sucesso dos dirigíveis depende de uma visão realista a longo prazo, dos custos, do tempo, do projecto e da adaptação de técnicas de desenvolvimento exequíveis. Para este autor o incentivo primário ao desenvolvimento de dirigíveis para transporte de carga e de passageiros dará o impulso necessário para o desenvolvimento global destas aeronaves

Para os dirigíveis se imporem no panorama actual dos transportes é preciso quebrar o paradigma de insegurança que estas aeronaves ainda suscitam e acima de tudo provar a sua viabilidade económica. Provar a viabilidade económica será então o passo correcto após a análise das tecnologias disponíveis para a viabilidade operacional dos dirigíveis. No capítulo 3 desenvolver-se-á um estudo analítico cujo objectivo é comprovar se a implementação de um projecto de dirigível é economicamente possível em Portugal.

3. Caso de Estudo

3.1 Introdução

Com o início do Século XXI o dirigível tem-se assumido como uma plataforma complementar no panorama actual do sistema de transporte, com forte posição estratégica ao nível da criação de novos mercados e de novos sectores produtivos. Este regresso dos dirigíveis prende-se sobretudo com uma crescente preocupação por parte da comunidade aeronáutica em adoptar *tecnologias verdes* mas economicamente sustentáveis. Os progressos na segurança de voo dos dirigíveis, as suas particulares características operativas e segundo Machry (2005) o relativo baixo custo de produção colocam estas aeronaves em lugar de destaque no que concerne a um sistema de transporte aéreo funcionalmente ecológico. São vários os países a desenvolver e a operar estas aeronaves para fins militares e civis, mas é o sector do turismo que tem auferido maior proveito da utilização dos dirigíveis através da realização de voos panorâmicos motivado, não só por uma consciencialização ambiental, mas também por uma preocupação económica com a escalada dos preços dos combustíveis, o que tem sensibilizado os turistas para um consumo sustentável ao aceitar os transportes de lazer mais ecológicos. Este turismo de consciência ambiental tem incentivado um novo horizonte para os dirigíveis no qual será possível a ligação de locais ou cidades separados por curtas distâncias através destas aeronaves (Pant, 2011) abrindo caminho a um novo conceito de transporte: o *dirigível pendular*.

Considerando as especificações operacionais do dirigível (revistas oportunamente), áreas ecológicas protegidas poderão ser mais fáceis de visitar com um impacto mínimo no seu *habitat* natural e sem recurso à construção de infra-estruturas de superfície muito onerosas. Este capítulo apresenta um estudo que procura compreender a viabilidade da aplicação destas aeronaves num mercado centrado no ecoturismo utilizando como exemplo o único parque nacional de Portugal, o Parque Nacional da Peneda Gerês (PNPG) por constituir um potencial nicho de mercado para a utilização dos dirigíveis ao proporcionar aos turistas a oportunidade de sobrevoar lugares de outra forma inacessíveis.

3.2 Aceitabilidade e Potencial de Mercado

Por ser um estudo pioneiro importa perceber o grau de aceitação do dirigível em Portugal por parte dos eventuais consumidores. Para tal foi conduzido um inquérito *online* desde Abril de 2010 até Agosto de 2011 tendo-se obtido um total de 704 respostas. O inquérito teve como finalidade obter a maior quantidade de informação

possível que possibilitasse descobrir directrizes em relação ao uso dos dirigíveis. Para tal o inquérito foi dividido em quatro partes: na primeira parte o objectivo é conhecer as características pessoais do entrevistado (idade, sexo, escolaridade e ocupação); na segunda parte o intuito é entender a noção de confiança dos inquiridos face ao dirigível; na terceira parte o inquérito busca identificar as rotas turísticas nacionais com maior adesão, o tipo de operacionalidade mais aceitável e qual a disponibilidade dos inquiridos face ao pagamento do serviço turístico fornecido pelo dirigível; na quarta e última parte o inquérito pretende ajuizar o impacto que o acesso a mais informação terá sobre a aceitabilidade dos dirigíveis e a qual a forma mais rápida de difundir essa informação.

Para uma população de cerca de 704 entrevistados, a maioria (42%) tem entre 18 e 29 anos (Figura 17), é do sexo masculino (69%), (Figura 18), com grau de escolaridade superior (73%), (Figura 19) e encontra-se empregada (60%), (Figura 20).

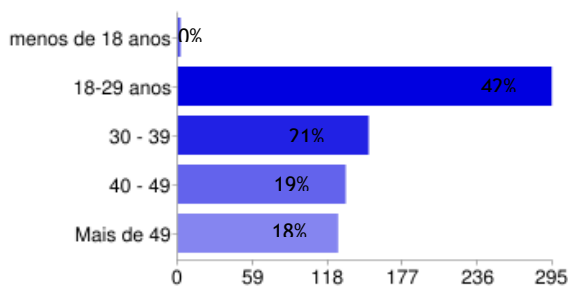


FIGURA 17: Idade

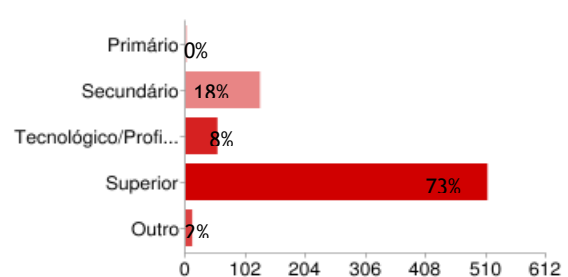


FIGURA 19: Grau de Escolaridade

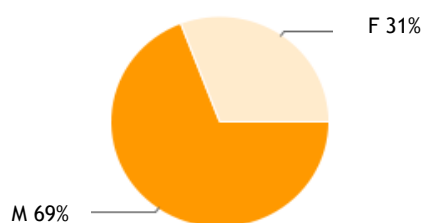


FIGURA 18: Sexo

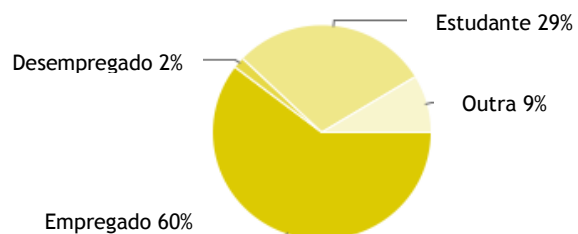


FIGURA 20: Ocupação

De acordo com as questões:

- *Sabe o que é um Dirigível?*, numa escala de 1 (Desconheço Totalmente) a 5 (Conheço Perfeitamente) 44% dos inquiridos afirmam *conhecer perfeitamente*, (Figura 21);
- *Efectuaria uma viagem num Dirigível?*, numa escala de 1 (Não Viajaria) a 5 (Viajaria de Certeza) 40% dos inquiridos afirmam *viajar de certeza*, (Figura 22);
- *Quanto a transportar mercadorias num Dirigível*, numa escala de 1 (Não Transportaria) a 5 (Transportaria de Certeza), 31% ds inquiridos afirmam *transportar de certeza*, (Figura 23);

- *Considera o Dirigível como um meio de transporte aéreo, numa escala de 1 (Nada Eficaz) a 5 (Extremamente Eficaz, 31% dos inquiridos afirmam que o dirigível é um meio de transporte extremamente eficaz, (Figura 24);*
- *Quanto à segurança de Voo, como classificaria o Dirigível?, numa escala de 1 (Muito Inseguro) a 5 (Extremamente Seguro), 41% dos inquiridos classificaram a aeronave como um meio Seguro, (Figura 25)*

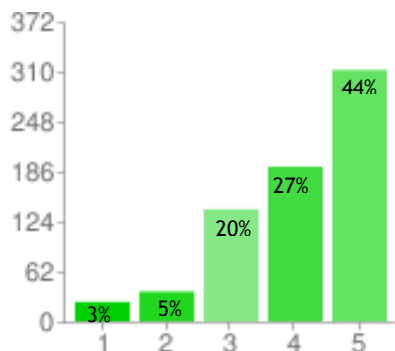


FIGURA 21: Conhecimento do Dirigível

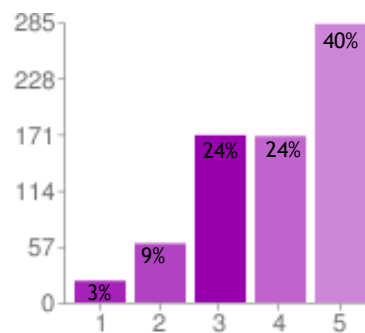


FIGURA 22: Confiança em Viajar de Dirigível

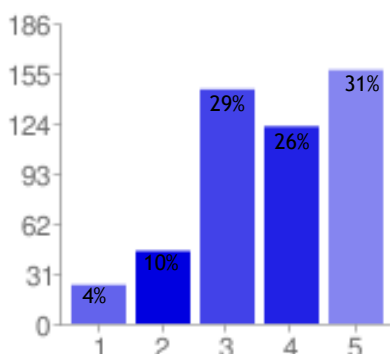


FIGURA 23: Confiança no Transporte de Mercadorias

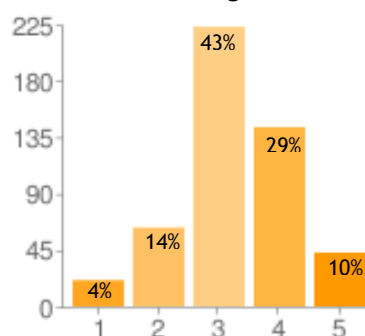


FIGURA 24: Eficácia do Transporte

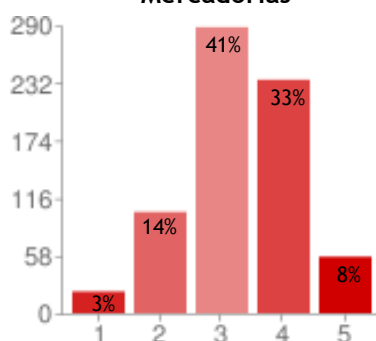


FIGURA 25: Confiança na Segurança de Voo

De acordo com as questões:

- *Das rotas turísticas a seguir indicadas, qual gostaria de realizar num Dirigível: Rota do Vale do Ave, Rota do Minho, Rota do Douro, Rota das Beiras, Rota de Lisboa e Vale do Tejo, Rota do Alentejo, Rota do Algarve ou Outra diferente das anteriores?, 57% dos inquiridos mostram que a região do Norte de Portugal é a que reúne maior preferência, (Figura 26)*

- Das rotas turísticas a seguir indicadas, qual gostaria de realizar num Dirigível: Rota dos Açores, Rota da Madeira ou Outra diferente das anteriores?, 62% os inquiridos afirmam preferir a Rota dos Açores, (Figura 27);
- Quais os serviços que um Dirigível poderia prestar: Turismo/Cruzeiro, Patrulha e Vigilância, Monitorização Ambiental, Cobertura de Eventos, Publicidade, Combate a Incêndios, Transporte de Cargas Pesadas, Transporte Particular ou Outro?, 85% dos inquiridos afirmam que o Dirigível é capaz de prestar serviços de Turismo/Cruzeiro, (Figura 28);
- Quanto estaria disposto(a) a pagar por uma viagem turística de 30 minutos num Dirigível: menos de 50 €, entre 50 e 100€, entre 100 e 200 € ou mais de 200 €?, 64% dos inquiridos afirmam estar dispostos a pagar menos de 50€, (Figura 29);

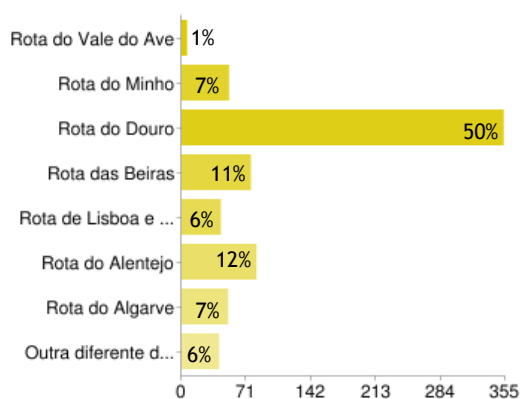


FIGURA 26: Preferência das Rotas Turísticas em Portugal Continental

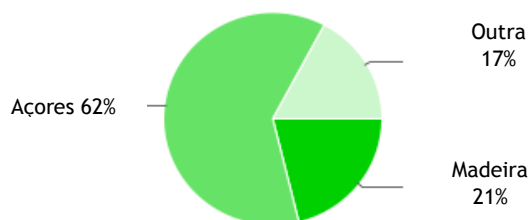


FIGURA 27: Preferência das Rotas Turísticas nas Ilhas dos Açores e da Madeira

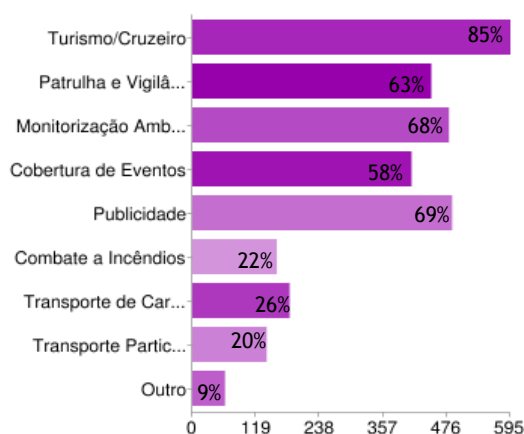


FIGURA 28: Serviços Possíveis de serem Desempenhados pelo Dirigível

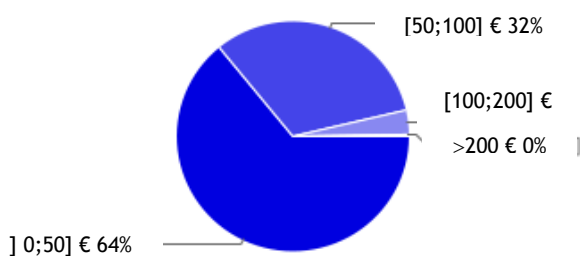


FIGURA 29: Preço do Bilhete por uma Viajem de 30 minutos

De acordo com as questões:

- A informação sobre Dirigíveis é actualmente: numa escala de 1 (Nada Satisfatória) a 5 (Extremamente Satisfatória), 70% dos inquiridos afirmam estar insatisfeitos com a informação actual sobre Dirigíveis, (Figura 30);

- O melhor meio para difundir mais informação sobre Dirigíveis seria: Jornais/Revistas generalistas, Jornais/Revistas da especialidade, Televisão, Rádio, Internet, E-mail ou Outro?, 87% dos inquiridos afirmam preferir a Televisão, (Figura 31);
- O acesso a mais Informação sobre os Dirigíveis seria, numa escala de 1 (Nada Relevante para Alterar a minha Opinião) a 5 (Muito relevante para Alterar a minha Opinião), 62% dos inquiridos afirmam que o acesso a mais informação seria importante para alterar a sua actual opinião, (Figura 32);

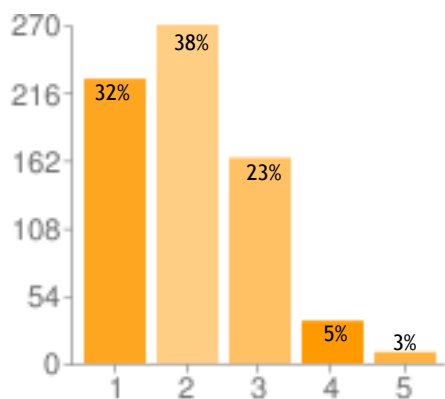


FIGURA 30: Satisfação no Actual Acesso à Informação

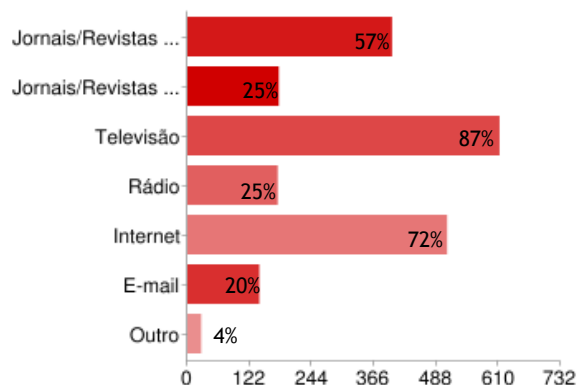


FIGURA 31: Meios de Comunicação Preferenciais para difundir informação

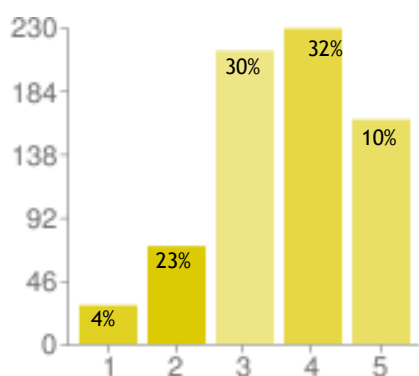


FIGURA 32: Relevância da Informação para Alteração da Confiança do Transporte de Dirigível

3.3. Parque Nacional da Peneda Gerês

Atendendo aos resultados obtidos no inquérito conclui-se que para efeitos deste estudo faz todo o sentido basear o centro de operações do nosso dirigível no Aeródromo de Braga com dois objectivos: explorar o nicho de mercado oferecido pelo Parque Nacional da Peneda Gerês (PNPG) e perscrutar o seu contributo para o desenvolvimento regional através da análise da *performance* obtida através de um embrionário modelo económico.

Braga é a terceira maior cidade do país, geograficamente localizada longe da Costa Litoral mas entre duas importantes cidades turísticas servidas por Aeroportos Internacionais: Porto (OPO/LPPR) e Vigo, em Espanha, (VGO/LEVX), como se observa na Figura 33. É também aqui que fica situado o único parque português classificado como Parque Natural - o PNPG, localizado a noroeste da Península Ibérica e com uma área geográfica de 70.000 hectares. Caracteriza-se pelo terreno irregular, montanhoso e com altitudes elevadas, podendo chegar aos 1.500 m de altitude. Por ser uma área protegida as infra-estruturas de transporte são praticamente inexistentes pelo que a única forma de visitar o parque é percorrendo os trilhos obrigatórios existentes para o efeito: trilhos de bicicleta, a cavalo ou a pé. É evidente a existência de um nicho de mercado para o uso de dirigíveis no PNPG: não estando sujeitas a restrições impostas por infra-estruturas específicas estas aeronaves, dada a sua autonomia, podem percorrer uma vasta área do Parque num só voo e proporcionar aos turistas a visita a locais que de outra forma são inacessíveis.



FIGURA 33: Localização Geográfica de Braga

Para viabilizar a operação do dirigível no PNPG foram obtidas informações das condições atmosféricas da região junto do Aero clube de Braga. Assim a duração da operação terá de ser limitada entre os meses de Maio a Novembro, impondo-se exactamente as mesmas restrições das operações das aeronaves Ultraleves que realizam voos turísticos sobre o parque.

Os resultados obtidos são os representados nas Tabelas 6 e 7:

3.4. Possíveis Soluções para o Ecoturismo Aéreo

O turismo aéreo dentro do PNPG é quase inexistente, com apenas alguns voos panorâmicos a serem realizados e *a pedido*. São duas as aeronaves que maior procura têm para este tipo de serviço: a aeronave ultraleve Socata TB10 Tobago, pertencente ao aeroclube de Braga, e o helicóptero Agusta-Bell AB206B, realizando ambos *tours* de 45 m e cobrindo apenas uma pequena área do PNPG. Este estudo visa a análise de uma hipotética rota com cerca de 250 km cobrindo as áreas do parque com maior interesse e potencial turístico: o dirigível partirá da base - o aeródromo de Braga - e seguirá em rota sobrevoando os locais da Senhora da Peneda, Lindoso, Barragem de Vilarinho das Furnas, Barragem da Caniçada, Barragem da Paradela, e regressando à base (Figura 34). Esta rota será analisada comparando a *performance* das três aeronaves: o dirigível seleccionado, o ultraleve Socata TB10 Tobago e o helicóptero Agusta-Bell AB206B. Para tal serão assumidos parâmetros operacionais e de custo de operação, e de impacto ambiental.

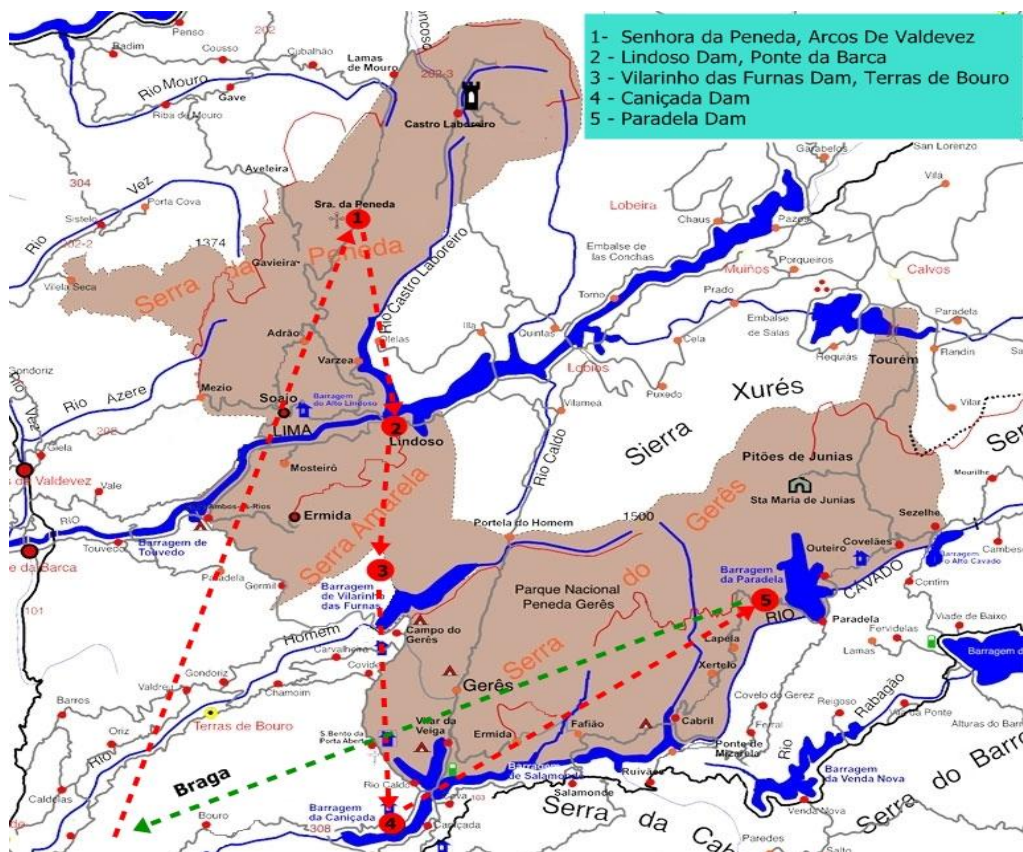


FIGURA 34: Rota Hipotética para o Estudo de Performance

3.5 Selecção do Dirigível

Considerando a topografia do terreno o dirigível deverá gozar de um tecto de voo que lhe permita operar em segurança a altitudes acima de 1.500 m. Outro requisito de projecto é a capacidade de carga: o dirigível deverá transportar grupos de 10

turistas/voo de forma a rentabilizar cada operação. Assim sendo, para a selecção do dirigível serão examinados dados técnicos e parâmetros de missão entre os dois actuais modelos com maior aceitação comercial: dirigível LZ N07-101 e Skyship 600. Os dados são apresentados na Tabela 7.

Com base nos dados recolhidos, o dirigível LZ N07-100 evidencia alguma superioridade técnica. Como o volume do envelope é maior, naturalmente o tecto máximo de voo é superior mas ambos os dirigíveis cumprem com o requisito de altitude de voo da rota. O valor de MTOW (*maximum takeoff weight*) do LZ N07-100 é excelente mas a capacidade de transporte passageiros/voo é igual e como se pretende estudar a viabilidade económica de um voo turístico local, o factor de carga extra como mercadoria ou bagagem não são parâmetros importantes de projecto, pelo que o MTOW não é um parâmetro relevante na escolha do dirigível. Assim como a velocidade, pois por ser um voo turístico uma diferença de 20km/h não é significativa. Já a diferença nos valores de consumo de combustível é relevante quando se pretende limitar os custos da operação. Por se tratar de um voo turístico um dos parâmetros mais importantes a ter em consideração é o conforto da viagem e ambas as aeronaves apresentam valores reduzidos de ruído e de vibrações. Analisando os dados recolhidos e considerando os parâmetros da operação, dois parâmetros determinaram a escolha do dirigível: o consumo de combustível e o conseqüente impacto ambiental. E o modelo dirigível escolhido foi o Skyship 600 com as modificações n.º 647 e 669 [31].

TABELA 7: Principais Requisitos Técnicos e Operacionais para Selecção do Dirigível (adaptado de [31], [32], [33])

Dados Técnicos	Unidades	LZ N07-101	Skyship 600
Velocidade max.	km/h	125	105
Peso max. à descolagem	kg	8.040	7.100
Comprimento max.	m	75	61
Largura	m	19,5	19,2
Altura	m	17,4	20,3
Tecto max. de Voo	m	2.850	2.500
Volume do envelope	m ³	8.450	7.188
Consumo de combustível	l/hora	68	45
Parâmetros de Missão	Unidades	LZ N07-101	Skyship 600
Ruído/Emissões		reduzido	reduzido
Vibrações		reduzido	reduzido
Autonomia max.	horas	24	24
Nº max. de passageiros		[8;13]	[8;13]
Tripulantes		2 pilotos	2 pilotos

3.6. Parâmetros Operacionais e Custos Estimados

Para realizar o estudo da viabilidade económica é necessário estudar o desempenho operacional do dirigível escolhido. Assim, na Tabela 8 destacam-se os principais parâmetros de *performance* considerados relevantes para o Skyship 600.

**TABELA 8: Parâmetros Operacionais do Dirigível Skyship 600
(adaptado de [31], [32])**

Parâmetros de <i>Performance</i>	Unidade	Valor
Nº máx. de ocupantes		13+2
Velocidade máxima	km/h	85
Velocidade de cruzeiro	km/h	64
Altitude de viagem	m	300 to 1.000
Tecto máximo	m	2.500
Alcance máximo	km	640

Observando a Tabela 8 verifica-se que o Skyship 600 é uma aeronave dentro das metas do estudo: o alcance máximo será suficiente para o nosso percurso (250 km), o tecto máximo de voo possibilita o sobrevoo seguro do ponto mais alto do PNPG (1.545 m de altitude) e tem a capacidade para transportar grupos até 13 turistas por voo.

Seleccionado o dirigível e comprovada a sua aptidão face aos requisitos do estudo é necessário perceber agora quais os custos estimados para a sua operação. Na Tabela 9 destacam-se os custos relativos a vários parâmetros inerentes à operação do dirigível. Estes foram assumidos com base no levantamento bibliográfico de dados correspondentes precisamente à actividade do Skyship 600 em operações turísticas.

**TABELA 9: Custos Anuais Estimados para a Operação de um Dirigível Skyship 600
(adaptado de [27])**

Parâmetros	Unidade	Custos	Benefício
Consumo de combustível	l/h	45	
Custo de aquisição da aeronave (incluindo do gás)	milhões €	10,93	
Manutenção anual e sobresselentes	% custos com a estrutura do envelope	6.2	
Tripulação de bordo e pessoal de apoio em terra	€	2.807.619	
Hangar	€	8.422.826	
Equipamento de apoio em terra	€	3.509.511	
Receitas da operação	% dos custos da operação		25

Sublinha-se que este é um estudo embrionário e apenas são estudados os custos inerentes à operação das aeronaves envolvidas. Esta estimativa dos custos é uma operação delicada pois existe uma incerteza em relação à procura do serviço (uma variável não controlada), à evolução do preço do combustível (que deverá ser cuidadosamente estudado numa fase avançada de implementação do serviço), e a algumas operações de manutenção imprevistas (dependentes de factores externos como factores meteorológicos, técnicas de pilotagem, etc). Contudo esta tabela mostra uma estimativa bastante razoável de todos os parâmetros, permitindo uma análise de custo/benefício bastante confortável.

3.7 Conclusão

Os resultados obtidos através do inquérito realizado on-line demonstram uma forte aceitação no uso de Dirigíveis sobretudo no sector do turismo. A fase seguinte do estudo foi encontrar em Portugal um nicho de mercado latente neste sector.

A análise do caso de estudo expôs a falta de um sistema de transporte turístico que potencie as qualidades naturais do Parque Nacional da Pena Geres para o desenvolvimento do ecoturismo. Após o levantamento das aeronaves que regularmente realizam sobrevoos turísticos nesta região junto do Aero clube de Braga, e comparados parâmetros e custos operacionais, verifica-se a possibilidade de introduzir o dirigível como alternativa viável às ofertas já existentes.

Na escolha do dirigível a adoptar no estudo foi realizado um levantamento dos dirigíveis que, por todo mundo, actualmente mais voos turísticos realizam. Depois de comparados parâmetros operacionais foi escolhido o Skyship 600.

Comprovada a aceitabilidade do dirigível, definida a missão virtual da aeronave no sector do ecoturismo, e provada a existência de uma possível zona de operação, o próximo passo do estudo consiste na análise custo/benefício entre três alternativas: o ultraleve Socata TB10 Tobago, o helicóptero Agusta-Bell AB206B, e o dirigível Skyship 600, com o objectivo de delinear um modelo económico para a implementação futura de uma operação turística com o dirigível no Parque Nacional da Peneda Gerês.

4. Análise de Resultados

4.1 Introdução

Atendendo à metodologia proposta para o desenvolvimento do estudo, numa primeira fase foi realizado um levantamento bibliográfico da tecnologia actualmente aplicada ao projecto de dirigíveis para se apurar a segurança de voo destas aeronaves e a sua possível aplicabilidade em vários sectores do mercado; numa segunda fase o estudo explorou a possibilidade de viabilizar a implementação de um modelo de dirigível no sector do turismo em Portugal aferindo a existência de um nicho ecoturístico no PNPG; nesta, que é a terceira fase, o estudo centra-se na validação económica do modelo. Assim serão efectuadas uma análise do custo/benefício do serviço proposto e outra comparativa entre as alternativas capazes de servir o ecoturismo dentro do *nosso* parque nacional; depois de comprovada a viabilidade deste projecto gizar-se-á a construção do modelo económico.

4.2 Análise Custo/Benefício

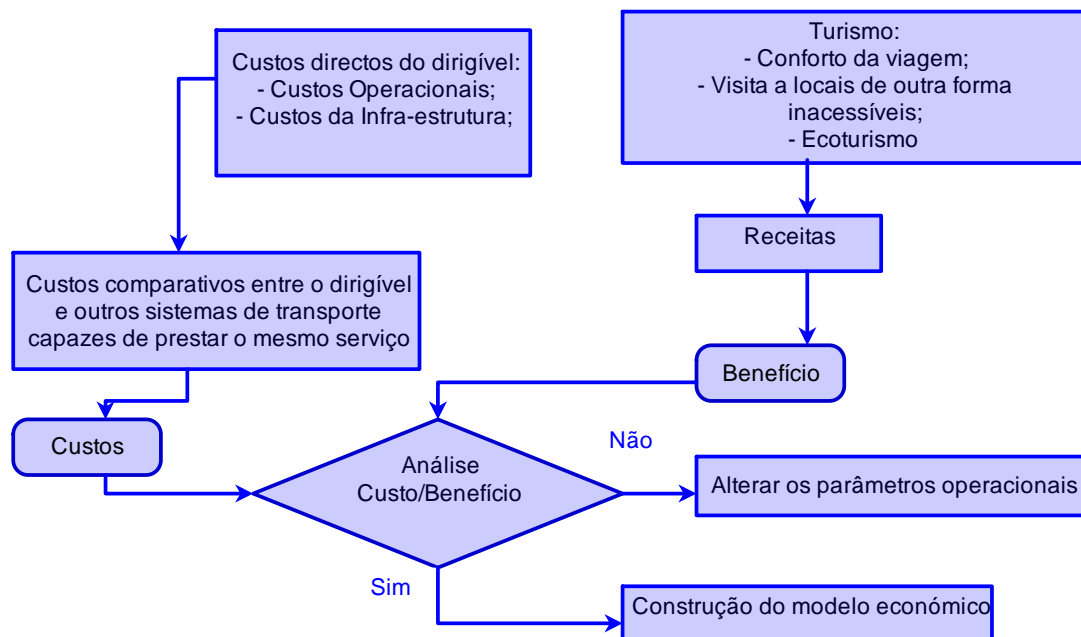


FIGURA 35: Fluxograma da Análise Custo/Benefício

Estabelecidas as premissas para o projecto torna-se necessário compreender a sua viabilidade económica. Esta etapa inicia-se pelo do fluxograma da Análise Custo/Benefício (ACB) para o modelo (Figura 35) na qual se verifica que a implementação do projecto depende dos custos directos e indirectos da operação da aeronave e das receitas provenientes do serviço prestado; assim é necessário balancear os dois itens para melhorar a ACB.

Tratando-se de um estudo cujo objectivo é delinear as premissas básicas para a viabilização de tal projecto, na Tabela 10 são comparados os parâmetros de missão afectos aos três sistemas de transporte alternativos para prestar o mesmo serviço no PNPG e que permitem entender os benefícios da utilização do dirigível. Como era expectável o Skyship 600 apresenta os melhores resultados na prestação do serviço de sobrevoo turístico, principalmente pela vantagem de oferecer maior conforto de viagem, não só pelo grande espaço de cabine mas também menor ruído e vibração. Dado que a operação será mantida numa zona protegida é preciso levar em consideração o impacto ambiental da emissão de gases poluentes, gerados principalmente pelo trabalho dos motores. O dirigível é de facto a melhor alternativa entre as três possíveis.

TABELA 10: Comparação dos Parâmetros de Missão entre as Aeronaves

Parâmetro	Socata TB-10 Tobago	Augusta Bell AB206B	Skyship 600
Consumo de Combustível	Elevado	Elevado	Baixo
Ruído/Emissões	Médio	Médio	Baixo
Vibrações	Elevado	Médio	Baixo
Max. autonomia	Baixo	Baixo	Elevada
Nº max. Ocupantes	4	4	13 + 2
Plataforma	Lycoming O-360-A1 (reciprocating) x3	Allison 250-C20 (turboshaft) x1	Textron-Lycoming IO-540 (reciprocating) x2

A Tabela 10 comprova pois os benefícios da utilização do dirigível na missão proposta quando comparado com as outras duas alternativas possíveis; agora é necessário realizar uma análise comparativa dos custos entre as três aeronaves.

Para realizar uma análise comparativa dos custos entre as três aeronaves, neste particular serão considerados apenas os custos anuais da operação. Na Tabela 11 são colocados os custos básicos por ano excluindo, claro, o custo de aquisição dos veículos. Os valores correspondem a uma estimativa média relativamente a uma operação normal das aeronaves. Como se observa, o dirigível apresenta um baixo custo operacional por milha náutica e um bom custo de combustível por hora, contudo o custo total da operação do dirigível é superior ao das outras duas aeronaves o que é justificado facilmente pelas suas especificidades técnicas como, por exemplo, a exigência de infra-estruturas de apoio em terra mais complexas.

TABELA 11: Comparação dos Custos Operacionais Básicos entre as Aeronaves

Item	Unidade	SCOTA TB-10 Tobago	Augusta Bell AB206B	Skyship 600
Custo / milha náutica	€	0,69	7,88	0,70
Custo do combustível / hora	€	58,20	612,64	90,00
Custo total /ano	€	1.062,40	1.326,40	1.894,22

Sendo este um estudo preliminar de um projecto único em Portugal, a análise custo/benefício da operação é de fácil interpretação demonstrando a viabilidade do dirigível. Os benefícios da implementação do projecto proposto são enormes e é expectável que os custos operacionais por ano sejam suplantados pela procura. Deste modo, reúnem-se as condições para lançar as bases para o desenvolvimento do modelo económico do dirigível.

4.3 Desenvolvimento do Modelo

Com base nas especificações do nosso caso de estudo e na recolha bibliográfica de dados fornecidos por operadoras de dirigíveis no sector do turismo, na Europa, construímos a matriz de parâmetros operacionais de um modelo económico para a implementação do dirigível Skyship 600 - a Tabela 12; ela é auto-explicativa, no entanto é necessário sublinhar que foram assumidas algumas suposições baseadas em alguns cenários virtuais, e que explicitaremos oportunamente.

**TABELA 12: Parâmetros Operacionais do Modelo Económico do Dirigível.
(adaptado de [34])**

Parâmetro Operacional	Descrição		Unidades
Nº máximo de semanas de operação por ano	32 (entre os meses de Maio e Novembro)		semanas/ano
Nº máximo de dias de operação por semana	6		dias/semana
Nº máximo de horas de voo por dia	8		hora
Ciclo operacional	INTERVALO ENTRE AS DESCOLAGENS OU TAKEOFF (TO)	1.75	hora
Duração do voo	1		hora
Nº de descolagens por dia	$\frac{(\text{Max. hrs de voo /dia}) - (\text{Duração do voo})}{((\text{Interv. entre TO}) + (\text{Duração do voo}) + 1)}$		takeoff/dia
Nº máximo	$(\text{Interv. entre TO}) \times (\text{Nº TO/dia})$		hora/dia

de horas de voo por dia		
Tempo total da operação de voo	77% (percentagem de tempo durante o qual o dirigível pode operar; depende de factores meteorológicos e de condições sazonais da zona de voo)	
Horas de voo por dia	$(\text{semanas/ano}) \times (\text{dias/semana}) \times (\text{horas/dia}) \times (0,77)$	
Factor de carga	74% (percentagem média esperada de ocupação do dirigível)	
Assentos por ano	$(\text{semana/ano}) \times (\text{dias/semana}) \times (\text{TO/dia}) \times (0,77) \times (15) \times (0,74)$	lugares/ano
Vida operacional do dirigível	18.000	hora

Apresentados os parâmetros para a modelação económica torna-se necessário agora realizar uma análise abrangente de todo o estudo explicitando também a definição de cada item definido no modelo.

4.3.1 Caracterização da Operação

A implementação do modelo exige que o dirigível seja tecnicamente capaz de satisfazer os requisitos exigidos pela operação e que influenciam a viabilidade do projecto. Tornar viável a operação proposta no estudo implica perceber que existem parâmetros que influenciam a operação mas que não podem ser controlados, como o caso da temperatura, pressão da altitude de voo e vento.

Devido às características topográficas do Parque Natural da Peneda Gerês são dois os factores externos que maior impacto têm nos três primeiros parâmetros da Tabela 12, ou seja: número máximo de semanas de operação por ano, número máximo de dias de operação por semana, e número máximo de horas de voo por dia. Esses factores são: a temperatura, o clima e a elevação do terreno. A pesquisa bibliográfica [Pant, 2011] comprovou que para temperaturas elevadas o dirigível perde flutuabilidade (a expansão do ar circundante é superior à expansão do gás de elevação no interior do envelope, isto é, aumentando a temperatura do ar circundante diminui a densidade do ar). De facto a partir dos 15°C por cada aumento da temperatura de 2,7°C a aeronave perde 1% da capacidade de flutuabilidade. A elevação do terreno também tem um impacto importante na *performance* do dirigível pois altera a altitude de voo: o aumento da pressão da altitude de voo (PA - *pressure altitude*) provoca uma diminuição da pressão estática (Ps - *static pressure*) e da densidade do ar (ρ). Para compensar é preciso aumentar a velocidade do dirigível no fluxo de ar (TAS - *true air speed*). Fisicamente traduz-se numa diminuição de 1% na flutuabilidade por aumento de 109,7m na altitude de voo. Assim, atendendo a que o ponto mais alto do PNPG tem cerca de 1.500 m de

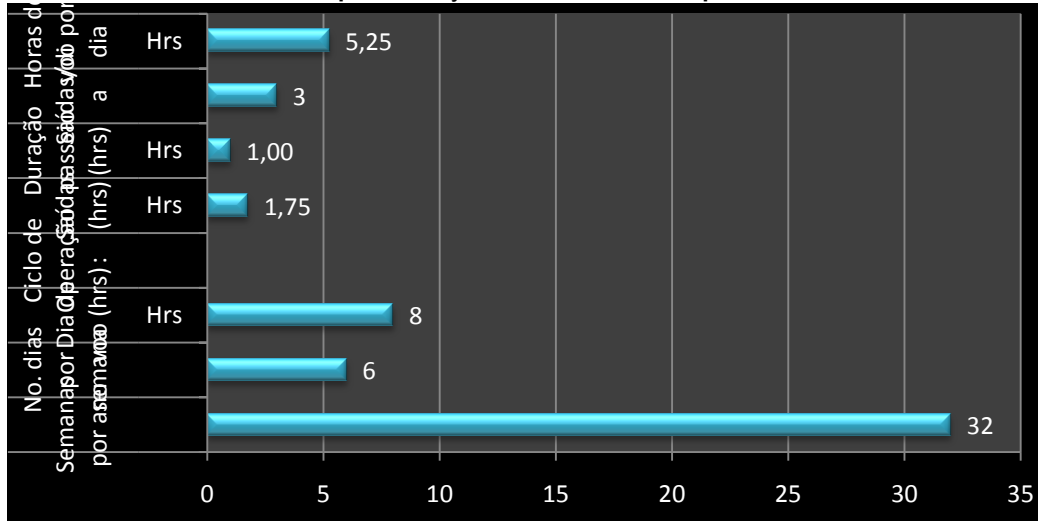
altitude isso representa uma diminuição de 13,67% na flutuabilidade do Skyship 600. Por se tratar de uma zona montanhosa temos de considerar também a actividade térmica e zonas de ventos frontais adversos ao voo do dirigível. Deste modo depois de recolhidos dados junto do Aeroclube de Braga referentes ao clima na região e a forma como este afecta o voo, a operação do dirigível será restrita entre os meses de Maio e Novembro e durante as primeiras horas de manhã e final da tarde (num total de 8 horas de voo por via), pois num clima de montanha estas são as alturas do dia com menor actividade térmica. Impostas as condições de voo previstas para o estudo construiu-se a Tabela 13 - agora apresentada a título de exemplo, em Excel, para determinarmos os parâmetros da operação Esta modelação económica tem por base o modelo do trabalho realizado por Sandoval (2004).

Tabela 13: Exemplo de Dados para a Modelação Económica

32 Semanas por ano	32	Factor do tempo	0,77	
No. dias por semana	6	Horas de voo por ano	Hrs 776	Tipo de aeronave
Dia de voo (hrs)	Hrs 8	Horas por Grupo	por mês 100	Skyship 600
Ciclo de Operação:		No. Grupos Requeridos	1	
Int. entre saídas (hrs)	Hrs 1,7	Assentos por aeronave	5	13
	Hrs 1,0			
Duração passeio (hrs)	s 0	Factor de carga	% 74	
Saídas/dia	3	Assentos por ano*		4.267
Horas de “voo” por dia	Hrs 5,25	Preço por assento	€ 50	

Este modelo (Sandoval, 2004) permite-nos variar alguns parâmetros (células cinzentas) e assim determinar quais as melhores estratégias para a implementação (optimizada) do projecto. O Gráfico 1 correspondente à Tabela 13 e nele pode-se observar a variação dos diferentes parâmetros afectos à operação.

GRÁFICO 1: Representação Gráfica do Exemplo da Tabela 13



4.3.2 Modelação Económica

Para realizar a modelação dos Custos e Receitas provenientes da operação do Skyship 600 foi construída uma tabela de custos/receitas onde se registaram os dados obtidos durante a pesquisa bibliográfica e fornecidos por operadoras de dirigíveis no sector do turismo, na Europa. Neste estudo apenas serão contabilizadas as receitas provenientes exclusivamente da actividade do turismo. Note-se que esta será uma utilização simplificada de um modelo bastante mais complexo. O objectivo deste trabalho é pois obter uma modelação simples da viabilidade económica do eventual serviço turístico do dirigível no PNPG; contudo não se pode realizar uma modelação económica de qualquer nível sem considerarmos o financiamento do projecto. Neste particular serão considerados duas formas de financiamento: por accionista da empresa proprietária da aeronave Equity¹ e por aluguer a uma empresa de Leasing por um período de 7 anos.

A Tabela 13 foi desenvolvida considerando estimativas conservadoras. Para minimizar os erros nos custos de operação as variáveis incluem: combustível e óleo, tripulação, engenharia de manutenção, custos no aeroporto e serviço de passageiros. O custo de contingência estipulado (10,0%) serve para compensar o coeficiente de erro que provem de itens não considerados na modelação.

1ª Modelação:

A primeira modelação teve em atenção os dados obtidos no inquérito referido oportunamente. Assim o preço estipulado para os bilhetes foi de 50 € (da Tabela 13). Com base nesta Tabela 13 foi obtida a Tabela 14 na qual estão registados os valores obtidos após a 1ª simulação do modelo.

¹Consideramos que o conjunto dos accionistas suportaram 14/15 do valor total do dirigível estimado em 5.500.000€. Portanto o encargo total suportado pelos accionistas é de 1/15, ou seja, 366.133€. Este valor de 5.500.000€ corresponde ao de uma aeronave já com alguns anos de depreciação.

TABELA 14: 1ª Modelação dos Custos e Receitas da Operação

CUSTOS (€)		Tipo de dirigível:		Skyship 600	
Pessoal	Factor de custo máximo	1,20			
		Salário	Total	Quantidade	Custo
	Tripulação				
	Piloto 1	30.000	36.000	1	36.000
	Piloto 2	25.000	30.000	1	30.000
	Comissários de bordo	15.000	18.000	1	18.000
	Grupo de Terra				
Chefe	30.000	36.000	1	36.000	
Mecânicos	25.000	30.000	2	60.000	
Custos do Leasing	Valor			5.500.000	
	Equipamento de Terra			750.000	
	Leasing %	8,50			
	Período (Anos)	7,00			
	Pagamentos mensais			98.978	
	Pagamentos anuais				1.187.736
Custos de Operação (variáveis)	€/Hora			300	
	Horas/ano			776	
	Total				232.848
Facilidades Aeroportuárias	Aluguer			100.000	
	Total				100.000
Sub-Total					1.520.584
Contingência	% do Total	10,00			152.058
DESPESA TOTAL					<u>1.672.643</u>
Receitas Turismo	Preço por assento €			50	
	Assentos preenchidos por ano			4.267	
	Rendimento				213.333
RENDIMENTO TOTAL					<u>213.333</u>
Dirigível financiado por Leasing					
Despesa total					<u>1.672.643</u>
Lucro ou Perda					-
					<u>1.459.310</u>

% Lucro sobre Rendimento		-684,05
Total		
Dirigível financiado por Equity		
Despesa total		366.133
Lucro ou Perda		=
		152.800
% Lucro sobre Rendimento		-71,62
Total		
NOTA: Os custos com pessoal são estimados a partir de tabelas normalmente utilizadas para tal.		

Com base nesta tabela foi analisado o rendimento anual do dirigível Skyship 600 com os parâmetros propostos para a 1ª simulação. Os dados foram registados na Tabela 15 e agrupados no gráfico 2:

TABELA 15: Resultados para o Skyship 600 na 1ª Modelação

Skyship 600	
Rendimento Anual (€):	213.333
<u>Financiado por Leasing</u>	
Despesa	1.672.643
Lucro ou Perda	-1.459.310
% Lucro sobre Rendimento Total	-684,05
<u>Financiado por Equity</u>	
Despesa	366.133
Lucro ou Perda	-152.800
% Lucro sobre Rendimento Total	-71,62
Nota: $Lucro Total = (Receita do Turismo) - (Despesa)$	

	s	5	aeronave		
	Hr	1,0			
Duração passeio (hrs)	s	0	Factor de carga	%	74
Saídas/dia		3	Assentos por ano*		4.267
Horas de “voo” por dia	Hr				
	s	5,25	Preço por assento	€	90

Como se observa o único parâmetro alterado foi o preço por lugar, tendo-se estipulado o valor de 90 € por bilhete. A partir daqui construímos as Tabelas 17 e 18 da 2ª modelação dos custos e receitas da operação, e dos resultados globais para o Skyship 600, respectivamente. O Gráfico 3 é a representação gráfica desta 2.ª modelação.

TABELA 17: 2ª Modelação dos Custos e Receitas da Operação

CUSTOS		Tipo de dirigível		Skyship 600	
Pessoal	Factor de custo máximo	1,20			
	Salário		Total	Quantidade	Custo
	Tripulação				
	Piloto 1	30.000	36.000	1	36.000
	Piloto 2	25.000	30.000	1	30.000
	Comissários de bordo	15.000	18.000	1	18.000
	Grupo de Terra				
	Chefe	30.000	36.000	1	36.000
	Mecânicos	25.000	30.000	2	60.000
Custos do Leasing	Valor			5.500.000	
	Equipamento de Terra			750.000	
	Leasing %	8,50			
	Período (Anos)	7,00			
	Pagamentos mensais			98.978	
	Pagamentos anuais				1.187.736
Custos de Operação (variáveis)	€/Hora			300	
	Horas/ano			776	
	Total				232.848
Facilidades Aeroportuárias	Aluguer			100.000	
	Total				100.000
Sub-Total					1.520.584
Contingência	% do Total	10,00			152.058

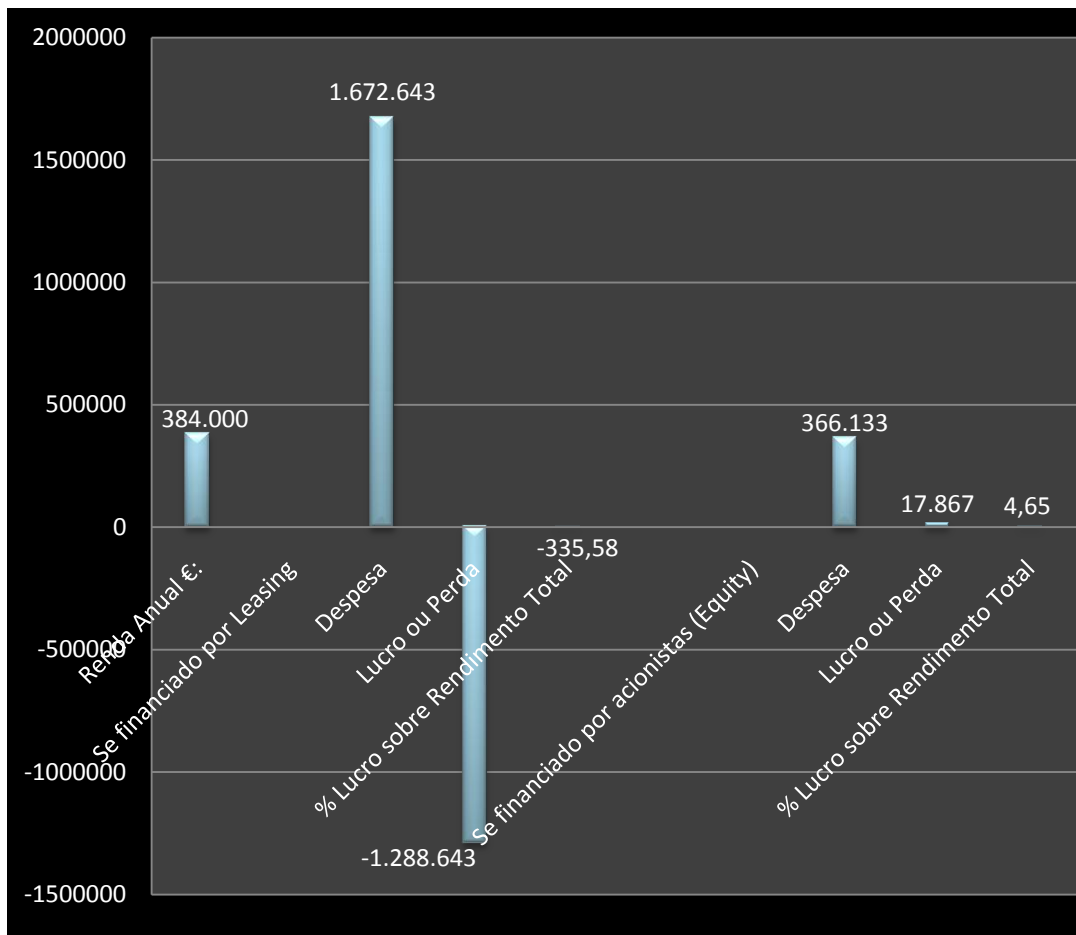
DESPESA TOTAL		<u>1.672.6</u>
		<u>43</u>
Receitas		
Turismo	Preço por assento €	90
	Assentos preenchidos por ano	4.267
	Rendimento	384.000
RENDIMENTO TOTAL		<u>384.000</u>
Dirigível financiado por Leasing		
Despesa total		<u>1.672.6</u>
		<u>43</u>
Lucro ou Perda		-
		<u>1.288.6</u>
		<u>43</u>
% Lucro sobre Rendimento Total		<u>-335,58</u>
Dirigível financiado por Equity		
Despesa total		<u>366.133</u>
Lucro ou Perda		<u>17.867</u>
% Lucro sobre Rendimento Total		<u>4,65</u>
NOTA: Os custos com pessoal são estimados a partir de tabelas normalmente utilizadas para tal.		

TABELA 18: Resultados para o Skyship 600 na 2ª Modelação
Skyship 600

Rendimento Anual (€):	384.000
<u>Financiado por Leasing</u>	
Despesa	1.672.643
Lucro ou Perda	-1.288.643
% Lucro sobre Rendimento Total	-335,58
<u>Financiado por Equity</u>	
Despesa	366.133
Lucro ou Perda	17.867
% Lucro sobre Rendimento Total	<u>4,65</u>
Nota: Lucro Total = (Receita do Turismo) – (Despesa)	

Como podemos observar na Tabela 18, um aumento de 40 € sobre o preço inicial dos bilhetes permite obter agora na modalidade de financiamento por accionistas uma percentagem positiva, ainda que pequena, sobre os lucros gerados pela operação. Esta pequena margem de lucro mostra que o operador da aeronave ao colocar o preço dos bilhetes acima dos 90 € começa a retirar lucro dos sobrevoos turísticos sobre o PNPG. Quanto à modalidade de financiamento por Leasing era expectável que os lucros não aparecessem tão rápido como na modalidade de Equity, ou seja accionistas, pois em Leasing o operador dos voos turísticos não é o proprietário da aeronave existindo uma sobretaxa nos custos; estes resultados são evidenciados no Gráfico 3.

GRÁFICO 3: Representação Gráfica da 2ª Modelação



Com a 2ª modelação demonstra-se que mantendo os parâmetros da operação iniciais, variando apenas o preço por lugar e colocando-o a 90 € a modalidade de financiamento por Equity torna viável a operação do dirigível para serviços exclusivamente turísticos no Parque Nacional da Peneda Gerês.

4.4 Conclusão

O levantamento bibliográfico provou que a nível mundial existe um mercado para o serviço turístico prestado pelos dirigíveis. Recolhidos dados sobre a aceitação de tal serviço em Portugal e comprovada a sua aceitabilidade, faltava apenas comprovar a viabilidade do projecto. O estudo da viabilidade começou pela análise do fluxograma indicativo da forma como a Análise Custo/Benefício deverá ser realizada. Com base neste fluxograma foi efectuado um estudo comparativo entre os parâmetros de missão e os custos operacionais básicos entre as três aeronaves com capacidade para explorar o ecoturismo do PNPG. Desta análise comparativa conclui-se que o dirigível se destaca como a aeronave com melhor *performance* na prestação deste tipo de serviço.

Considerando que a missão será realizada numa zona montanhosa foi necessário otimizar uma configuração para a operação de forma a garantir uma margem segura de operacionalidade. Depois de estabelecidos os parâmetros que regem o projecto e

caracterizado o modelo da missão iniciou-se o processo de modelação do estudo da viabilidade económica.

A modelação demonstrou que o dirigível é economicamente viável se o projecto for financiado por Equity, ou seja, por accionistas. Esta modalidade de financiamento implica que o investimento inicial seja substancialmente elevado, não só porque a empresa operadora terá de comprar a aeronave mas também deverá ter um encaixe financeiro que lhe permita manter a operação da aeronave com todos os custos inerentes até que a margem de lucro supere os custos directos da operação.

A hipótese de financiamento Leasing não é viável, apesar de o custo inicial da operação ser substancialmente menor, pois a aeronave é alugada em vez de comprada. Os custos directos da operação são significativamente mais altos do que os obtidos pelo financiamento por accionistas. Nesta modalidade de financiamento o factor preço por lugar teria de ser bastante superior a 90 € colocando este serviço num patamar proibitivo (oneroso) face às outras alternativas capazes de prestar o mesmo serviço.

O cenário mais viável de implementação operacional de um dirigível, capaz de preencher o nicho de mercado do ecoturismo existente no PNPG prestando um serviço exclusivamente turístico - como o voo panorâmico - é o modelo económico encontrado para o dirigível Skyship 600. Deste modo, este projecto será economicamente viável se a modalidade de financiamento por accionistas para uma operação com a duração de 32 semanas no ano, 6 dias por semana, realizando três *TakeOff* por dia e num total de 8 horas máximas de operação por dia. Os passeios turísticos deverão ser realizados durante a manhã ou final da tarde de forma a otimizar a margem de segurança de operação com a duração de 1h por viagem, sendo o preço dos bilhetes tabelados então em valor não inferior a 90 €.

5. Conclusão

5.1 Síntese da Dissertação

O objectivo deste estudo consistiu em estudar a viabilidade técnica e económica da utilização de dirigíveis em determinado nicho de mercado do sector do turismo em Portugal.

Numa etapa inicial efectuou-se uma extensa pesquisa bibliográfica sobre o estado da arte destas aeronaves concluindo-se que a evolução de novos dirigíveis está bem sustentada num vasto *background* tecnológico. Uma das maiores preocupações do estudo visava a segurança de voo do dirigível, tendo a pesquisa comprovado que os avanços tecnológicos nessa área têm permitido equipar os dirigíveis com sistemas sofisticados iguais/semelhantes aos utilizados na aviação convencional e por essa razão actualmente a segurança de voo dos dirigíveis é equiparada à das aeronaves convencionais. As principais razões que sustentam este regresso promissor dos dirigíveis aos corredores de voo são: o aumento exponencial do preço dos combustíveis e as preocupações ambientais. De facto, na aviação as cotas de emissão de poluentes das operadoras tem vindo a ser gradualmente reduzida, motivo pelo qual a comunidade aeronáutica tem procurado desenvolver aeronaves menos poluentes e neste contexto o dirigível apresenta-se como uma muito boa alternativa. A utilização dos dirigíveis pode aplicar-se a diferentes sectores da actividade comercial e militar. Por todo mundo há operadoras a oferecer de forma rentável serviços de publicidade, monitorização de eventos ao ar livre e passeios panorâmicos. Esta exploração do mercado torna-se cada vez mais atractiva, não só pela novidade do serviço em si, mas também pelo conforto da viagem e pela perspectiva panorâmica única proporcionadas pelas características próprias da operacionalidade do dirigível, capaz de aceder a locais inacessíveis a outras aeronaves. A viabilidade do projecto passa por assegurar o cumprimento de uma série de parâmetros entre eles a assegurar a navegabilidade da aeronave. O levantamento bibliográfico do estudo demonstrou que no que respeita a legislação aérea, existe uma tentativa de homogeneização garantindo que as operadoras de dirigíveis são obrigadas a executar padrões de segurança semelhantes às aeronaves convencionais; este facto é altamente positivo para estimular nos potenciais clientes, a confiança na qualidade operacional dos dirigíveis

Comprovada a exequibilidade técnica dos novos projectos de dirigíveis, a segunda etapa do estudo procurou determinar o nível de aceitação dos dirigíveis em Portugal. Para tornar possível este objectivo foi realizado um inquérito *online* cujos resultados foram bastante animadores revelando uma forte aceitação por parte dos potenciais

clientes quanto à segurança de operacionalidade dos dirigíveis principalmente para fins turísticos. Com base nos resultados desse inquérito, a próxima etapa foi encontrar e estudar um potencial nicho turístico em Portugal para a implementação do modelo económico. Decidiu-se que o Parque Nacional da Peneda Gerês reunia todas as condições para ser o local para desenvolver a hipotética rota turística. Localizado perto de Braga, uma das maiores cidades do país, este parque nacional tem a possibilidade de receber portugueses e estrangeiros pelos rápidos acessos que a cidade de Braga tem com os aeroportos internacionais do Porto e de Vigo. Desse modo a base operacional escolhida foi o aeródromo municipal de Braga. Apesar de ser o único parque nacional do país, o nicho de mercado do ecoturismo está, actualmente pouco explorado, sendo a única oferta de voos panorâmicos realizada pelo ultraleve Socata TB10 Tobago e pelo helicóptero Agusta-Bell AB206B. Neste contexto torna-se viável estudar a aplicação do dirigível como meio turístico complementar, principalmente se atendermos ao facto de o dirigível ser uma aeronave com um impacto ambiental muito reduzido no ambiente natural do parque: baixa taxa de emissão de poluentes e de ruído. Viabilizada a aceitação do dirigível e encontrado o nicho para a sua implementação foi necessário encontrar o modelo de dirigível a adoptar, realizando-se uma análise comparativa entre os dois modelos mais utilizados em todo mundo para a realização de voos panorâmicos, o LZ N07-101 e o Skyship 600. Optou-se por este último pela *performance* e estimaram-se os seus custos anuais atendendo aos seus parâmetros operacionais.

Provada a viabilidade técnica, demonstrada a existência de potenciais clientes com a realização do inquérito, encontrado o nicho de mercado em Portugal para a implementação do dirigível no sector do turismo e adoptado um modelo de dirigível para a sua realização, a ultima fase do estudo centra-se na viabilidade económica deste projecto. Em primeiro lugar foi estabelecido o fluxograma da análise custo/benefícios com passos que deverão ser efectuados ao longo do estudo do modelo económico. Com base nesse guia efectuamos uma análise comparativa dos parâmetros de missão entre o Skyship 600, o Socata TB10 Tobago e o helicóptero Agusta-Bell e dos respectivos custos operacionais tendo ficado demonstrado que o dirigível oferece globalmente maiores vantagens na prestação do serviço de turismo no PNPG. Por último faltava analisar os custos envolvidos na aplicação do modelo. Para realizar a última etapa do estudo foram assumidos cenários hipotéticos com valores adoptados tendo como referência dados fornecidos por operadoras de dirigíveis no sector do turismo. Com base nas simulações que efectuamos concluímos que o projecto é viável se forem adoptados determinados pressupostos financeiros como o financiamento quase integral por accionistas e um preço por lugar nunca abaixo dos 90 €.

5.2 Considerações Finais

O início do século XXI marca o começo de uma nova era para os dirigíveis. Com a introdução de tecnologias avançadas nos modernos projectos, estas aeronaves adquiriram parâmetros de *performance* operacional e de segurança equiparados aos das aeronaves convencionais. Por todo mundo nota-se um crescente aumento da inclusão dos dirigíveis em diferentes sectores do mercado mundial como, por exemplo, turismo, publicidade, monitorização de fronteiras e de eventos ao ar livre, e que se têm revelado altamente lucrativos. Contudo será sempre necessário uma muito maior divulgação envolvendo os investidores potencialmente interessados bem como as autoridades aeronáuticas visando a confiança dos potenciais clientes/utilizadores, junto dos operadores turísticos, numa bem montada operação de marketing que desmistifique por completo a opinião historicamente instalada de que os dirigíveis são aeronaves inseguras em voo. Só desse modo se conseguirá implementar a nível global um serviço de transportes em dirigível, estrategicamente bem implementado e economicamente viável.

A implementação de um projecto único como o voo panorâmico de dirigível em Portugal, nomeadamente no Parque Nacional da Peneda Gerês, é viável se for realizada uma optimização da operação, isto é, o estudo da rota de voo deverá ter em consideração a percentagem máxima de perda de fluabilidade durante o voo de forma a garantir a margem segura de operacionalidade. Acresce a que quando se observam os resultados dos inquéritos constata-se que a grande maioria dos potenciais clientes deste serviço turístico estaria disposta a pagar um valor máximo de 50 € por bilhete. Face aos resultados finais obtidos na modelação económica, o preço por lugar nunca poderá ser colocado em valores inferiores a 90 €. Mas é preciso notar que este estudo centrou-se apenas na viabilidade técnico-económica de um dirigível a operar exclusivamente no sector do turismo e por isso a única fonte de receitas seria proveniente da venda de bilhetes de voo para esse fim. As diferentes operadoras de dirigíveis existentes aliam a prestação de serviços turísticos, com a prestação de serviços publicitários e alguns até de transmissão de eventos televisivos em directo. A terem sido analisadas receitas deste tipo de serviços neste estudo, muito provavelmente o preço por lugar seria mais próximo do aconselhável (50 €). No caso particular do Parque Nacional da Peneda Gerês para além das receitas provenientes da exploração turística, entidades como empresas da região ou até mesmo autarquias locais teriam no dirigível uma forma de promoção dos seus municípios altamente atractiva e visível (quem não olhará para o céu na passagem de um dirigível?). Dado que a operação se desenvolve numa zona fustigada todos os anos por incêndios florestais o próprio governo e a Protecção Civil serão potenciais interessados em contratar a operadora do dirigível para serviços de monitorização florestal, resultando daí receitas que também não foram incluídas neste estudo mas que só reforçam em

nosso entendimento, a exequibilidade económica/financeira da introdução do dirigível para execução de voos com diferentes objectivos, civis, militares ou de protecção civil em todo o território nacional.

5.3 Perspectivas de Investigação Futuras

Numa perspectiva de investigação futura será necessário realizar um estudo mais detalhado dos custos que envolvem a implementação de um modelo de negócio sustentado na operação do dirigível, que por ser um modelo pioneiro torna-se necessário analisar minuciosamente em todas as fases do projecto para garantir o sucesso da sua implementação.

O modelo económico deverá contemplar uma avaliação económica/financeira, na qual se inclua a avaliação da atractividade do serviço e uma análise de sensibilidade profunda. De futuro dever-se-á obter uma avaliação cuidada da procura, tendo em conta do número de visitantes anual do parque, e tentando identificar qual a aceitabilidade do uso do dirigível na prestação de serviço turístico. Esta análise é de elevada importância por se tratar de um serviço de transporte em que grande parte das receitas é gerada pela procura e venda de bilhetes.

Futuramente seria recomendável procurar novas formas de receita (publicidade, monitorização, transmissão de eventos) e simular novamente o modelo com todos os custos detalhados, incluindo: despesas com a construção do hangar (facilidades em terra mais dispendiosas), despesas com seguros e no caso da modalidade de financiamento por accionistas o modelo deverá ser simulado considerando o valor inicial da compra total da aeronave.

Existe um forte potencial em Portugal para a implementação, num futuro próximo, do dirigível que pode passar pela estreita ligação entre a sua viabilidade turística e o desenvolvimento regional, não só pelo transporte de turistas para locais atractivos das regiões como também, por exemplo, através da publicidade de produtos regionais. Um projecto desta dimensão poderá ter como fonte de receita, autarquias empenhadas em desenvolver a sua economia local, patrocinando a implementação de um modelo de negócio com base na operação regional do dirigível.

Bibliografia

- [1] Ewing, L. *Rising Interest in Unmanned Airships Attracts Major Contractors*, Unmanned Systems 2009. <http://www.egreentechnologies.com/media/UnmannedSystemsFeb09articleonEGreen.pdf>. Disponível a 26 de Julho de 2011.
- [2] Prentice, B. E., Beilock R. E., Phillips, A. J. e J. Thomson. *The Rebirth of Airships*, Journal of the Transportation Research Forum, Vol. 44, No. 1, pp. 173-190, 2005.
- [3] Jan, B. e B., Przemysław. Innovative Perspective of Transport and Logistics. Apresentado no 12th World Conference on Transport Research Society, Lisboa, Portugal, Julho, 2010.
- [4] Nayler, Arnold W. Airship development world wide - A 2001 Review. AIAA paper 2001-5263, Airship Association Ltd, London, 2001
- [5] World SkyCat Corp.: <http://www.worldskycat.com>. Disponível a 27 de Maio de 2010.
- [6] NASA. *Innovation Pushed Too Far Too Fast*. System Failure Case Studie, Volume 1, Issue 6, Abril, 2007. http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=system%20failure%20case%20studie%20nasa%20airship%202007&source=web&cd=2&sqi=2&ved=0CCwQFjAB&url=http%3A%2F%2Fnsa.gov%2FSFCS%2FSystemFailureCaseStudyFile%2FDownload%2F63%2F&ei=MiykTsOxB4ro8QPeteGtCw&usg=AFQjCNGiYMf5Cc0W9-3qM4g_oz2UllbK6Q. Disponível a 27 de Maio de 2010.
- [7] Szirmai, A., Biemond, P., Boonen, K.H.M., Luijendijk, R.P. and J.P.C. Hertogh. *Lighter- Than-Air-Craft. an Enabling Technology for Wind Power Market Development?*. Publications Siemens, Nederland, 2002.
- [8] Miller, T. and M. Mandel. *Airship Envelopes: Requirements, Materials, and Test Methods*, Publication ILC Dover, Frederica, USA, 2002.
- [9] Khoury, G., and D. Gillett. *Airship Tecnology*. Cambridge University Press, University of Cambridge, UK, 1999, 2004.
- [10] Brooke, L., Wakefield, D.S. and A. Bown. The Development History of Inflated Lifting Body form LTA Vehicle Hulls. Apresentado no 7th International Airship Convention, Friedrichshafen, Germany, 2008.

[11] Boyd, R.R. Performance of Hybrid Air Vehicles. Presented at 40th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, Nevada, 2002.

[12] Valera, L. and B. Nagabhushan. Design Trends and Global Developments in Modern LTA Vehicles. Apresentado no 23rd Congress of International Council of the Aeronautical Sciences, Toronto, Canada, 2002.

[13] Gawale, A C. e R. S. Pant. Design Studies of Power Plant System of Non-Rigid Airships. Apresentado na 5th International Convention of the Airship Association, Oxford, England, 2004

[14] Colozza, A. and J.L. Dolce. *High-Altitude, Long-Endurance Airships for Coastal Surveillance*, Publication NASA/TM - 2005-213427, NASA, Ohio, 2005.

[15] Hall, J.L., Kerzhanovich, V.V., Jones, A.J., Cutts, A.J., Yavvrouian, A.A., Colozza, A. and R.D. Lorenz. Titan Airship Explorer. *Aerospace Conference Proceedings, IEEE*. 1 - 336 Vol. 1, MT, USA, 2002.

[16] Amiryants G.A., Grigoriev V.D., F.Z. Ishmuratov. Investigations of Airships Aeroelasticity. Apresentado no 23rd ICAS Congress, Toronto, Canada, 2002

[17] McDaniels, K., Downs, R.J., Meldner, H., Beach, C. and A. Chris. *High Strength-to-Weight Ratio Non-Woven Technical Fabrics for Aerospace Applications*. Publication Cubic Tech Corp., Mesa, Arizona, 2009.

[18] Tensys: <http://www.tensys.com/>. Disponível a 27 de Maio de 2010.

[19] Taylor, G. Hybrid Airships: A Green Solution to Canada's Transport Challenge. Apresentado na "Airships to the Arctic" Conference V, Calgary, Canada, 2009

[20] Pevzner E. The Systematic Approach. Apresentado na "Airships to the Arctic" Conference V, Calgary, Canada, 2009

[21] Bilko, D.T. *New Again: Innovative Missions For 21ST Century American Airships*, Master of Operational Studies, Marine Corps University, Quantico, Virginia, 2007.

[22] Storm, M.G.A. and P.M. Peeters. *Revival of the Airship?*, European Transport Conference 1999.

<http://www.etcproceedings.org/paper/revival-of-the-airship>. Disponível a 26 de Julho 2011

[23] *Advisory Circular CTI 09-02 Edição 1, (2009)*. Instituto Nacional de Aviação Civil (INAC), Lisbon, Portugal.

http://www.inac.pt/vPT/Generico/LegislacaoRegulamentacao/CircularesInformacao/Documents/cti_09_02Edicao1.pdf. Accessed July 28, 2011.

[24] EC No.2042/2003. EASA (European Aviation Safety Agency), Koeln, Germany, (2003).

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:315:0001:0165:EN:PDF>. Accessed July 28, 2011.

[25] Woodgerd, M. *The Mobilus Initiative: Creating A New Component of the US Aerospace Industry Centered Upon Transport Airships*. <http://dodreports.com/pdf/ada461320.pdf>. Disponível a 26 de julho 2010

[26] Machary, T. *Dirigíveis: Uma Alternativa para o Transporte de cargas Especiais*. Rio de Janeiro, Brasil, 2005. http://www.pet.coppe.ufrj.br/index.php/producao/teses-de-dsc/doc_details/28-dirigiveis-uma-alternativa-para-o-transporte-de-cargas-especiais. Disponível a 28 de Julho de 2011.

[27] Pant, R.S. *Transportation of Goods and Passengers to Remote Areas Using Airships: Two Case Studies in India*. ACEXC - Aviation Center of Excellence, Mumbai, India (2010) <http://www.acexc.com/category.php?catid=89&sublist=sub16&divshow=S>. Accessed July 26, 2011.

[28] Cahn-Hidalgo, G. *Aspectos relacionados con dirigibles Estudio de factibilidad Carretera Urcos-Puerto Maldonado*, LAGESA y B.W. As. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Lima, Peru, 1982.

[29] Oñate E. and B. Kroplin (Eds.). *Textile Composites 1 and Inflatable Structures*, European Community on Computational Methods in Applied Sciences (ECCOMAS), Springer, 2005.

[30] Pereira, L. and J. Silva. Airship and Conventional Air Transportation Systems. Insights and Challenges for Portugal. in *New Challenges for European Regions and Urban Areas in a Globalized World* at 51st Congress of European Regional Science Association (ERSA), Barcelona, 2011, Barcelona, 2011.

[31] *Type Certificate Data Sheet No. FAS 2*, 2000. United Kingdom Civil Aviation Authority.

[32] *Type Certificate AS1EU, Revision 4, 1997*. Department of Transportation Federal Aviation Administration.

[33] *Type Certificate No AS1CE, Revision 0, 2008*. Department of Transportation Federal Aviation Administration.

[34] Sandoval, A.B. *Modelo Econômico para Viabilização do Uso de Dirigíveis no Transporte Turístico*, Master of Transportation Engineering, Instituto Militar de Engenharia, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brazil, 2004.

Anexo A.1

Classes Estruturais dos Dirigíveis

Dirigíveis Não-Rígidos

- A forma do envelope é mantida pela pressurização do gás de elevação.
- A cabine de voo, sistemas propulsivos e de controlo e toda a restante carga estão ligados directamente ao envelope sendo suportadas pelas bolsas de ar (ou lastros).
- Esta classe estrutural dos dirigíveis é a que proporciona o projecto e a operacionalidade mais económicos e tem-se revelado como bastante resistente face aos agentes climatéricos. Contudo é o tipo de dirigível que apresenta a maior fragilidade estrutural quando ocorrem fugas de gás limitando as especificações do projecto, tais como: tamanho, capacidade de transporte de carga e missões operativas.

Dirigíveis Semi-Rígidos

- A forma do envelope é mantida pela pressurização do gás de elevação.
- Possui uma estrutura interna rígida que aumenta a resistência do envelope às forças de flexão e suporta a cabine de voo e toda a carga.
- A inovação tecnológica proporcionou o aparecimento de materiais compósitos permitindo a construção de envelopes mais resistentes contribuindo para um aumento substancial da resistência estrutural.
- Esta classe estrutural está em grande desenvolvimento para projectos de dirigíveis de grande dimensão visto que o seu peso em vazio é reduzido o que possibilita uma elevada capacidade de transporte de carga útil.

Dirigíveis Rígidos

- A forma do envelope é mantida por uma estrutura interna rígida.
- A estrutura interna está dividida em compartimentos que contêm as células de gás não pressurizadas que geram a flutuabilidade.
- A cabine de voo, sistemas propulsivos e de controlo e toda a restante carga estão ligados à estrutura rígida.
- Caso ocorra perda do gás de elevação a integridade estrutural e aeronavegabilidade a estrutura rígida garante a resistência da aeronave às forças de flexão.
- Os projectos dos modernos dirigíveis de médio e grande dimensão que empregam a estrutura rígida têm o objectivo de garantir uma maior capacidade de carga útil, maior segurança e eficiência de voo.

Anexo A.2

Sistemas de Controlo de Elevação do Dirigível

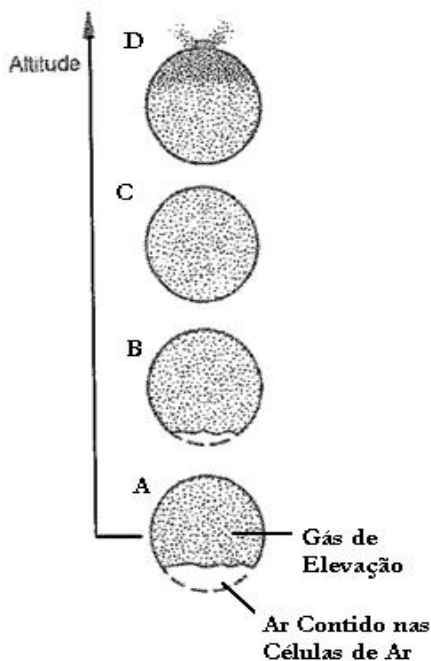


FIGURA 36: Representação Simples dos Efeitos da Altitude no Comportamento do Gás de Elevação, (adaptado de [9])

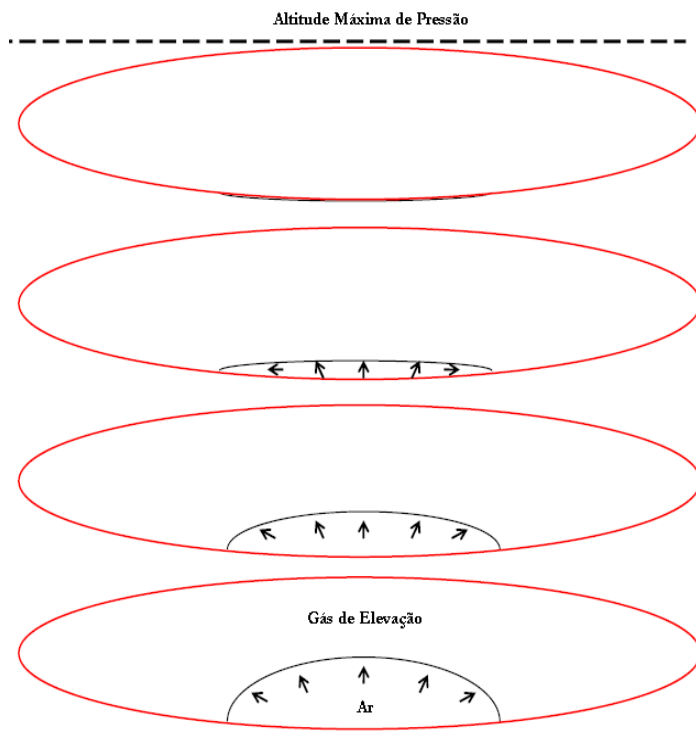


FIGURA 37: Representação Simplificada do Sistema de Controlo do Gás de Elevação/Sustentação, (adaptado de [9]).

A

• Em terra ou em altitudes próximas do solo a pressão no interior do envelope é mantida por compressores eléctricos ou pelo fluxo de ar criado pelo movimento das pás das hélices (*prop wash*).

B

• À medida que o dirigível aumenta a altitude de voo ou que a temperatura exterior aumenta, a válvula de controlo de ar (com uma pressão preestabelecida) abre, libertando o ar contido nas células de ar mantendo desta forma a pressão constante no interior do envelope.

C

• Em C o dirigível atinge a designada *Altura de Pressão*. Neste ponto o envelope do dirigível está totalmente preenchido pelo gás de elevação que se expandiu totalmente, pelo que a aeronave atinge o seu tecto máximo de segurança.

D

• Acima do tecto máximo de segurança o dirigível tem de libertar gás de elevação para que não ocorra um excesso de pressão interna que poderia levar a um aumento da densidade do gás de elevação no interior do envelope. Se a estrutura interna resistir a esta elevada pressão interna o dirigível vai simplesmente perdendo altitude, se não resistir o dirigível colapsar-se-á.

Anexo A.3

Características Gerais de Operacionalidade nas
Diferentes Etapas do Voo

	ETAPAS DO VOO				
DIRIGÍVEIS	Operação em Terra	Descolagem e Fase de Subida	Cruzeiro	Descida e Aterragem	Carga/Descarga e Gestão do Peso
LTA	<ul style="list-style-type: none"> • Requer equipa de apoio em terra • Ancoragem em mastros de amarração 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer equipa de apoio em terra • Descolagem vertical • Propulsão vectorizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustentação aeroestática • Propulsão vectorizada • Mecanismos de compensação do peso 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer equipa de apoio em terra • Aterragem vertical • Propulsão vectorizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Recurso a lastros de água para manter o equilíbrio vertical
HTA	<ul style="list-style-type: none"> • Não requer equipa de apoio em terra • Semelhante às aeronaves comuns 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer uma pequena pista • Descolagem com recurso a propulsão vectorizada • Alia características operativas dos dirigíveis LTA com as características das aeronaves comuns 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustentação aeroestática • Propulsão vectorizada • Sustentação dinâmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer uma pequena pista • Aterragem com recurso a propulsão vectorizada • Alia características operativas dos dirigíveis LTA com as características das aeronaves comuns 	<ul style="list-style-type: none"> • Recurso a lastros de água para manter o equilíbrio vertical

Anexo A.4

Controlo da Flutuabilidade (Buoyancy Compensation)

Método	Descrição
Lastros Pressurizados para Recolha de Água	<ul style="list-style-type: none"> • Recolha e armazenamento do vapor de água produzido pelo motor. • Recolha da humidade presente na atmosfera que é anteriormente condensada. • A desvantagem deste sistema é o custo operacional do seu desenvolvimento e o aumento do consumo do dirigível.
Sistema de Lastros com Água ou Areia	<ul style="list-style-type: none"> • O peso perdido pelo dirigível em voo pode ser compensado pelo reabastecimento de água ou areia em lastros no local de partida ou chegada. • O dirigível em voo pairado sobre locais com água (rios, lagoas, mares, etc.) e pode compensar o peso perdido reabastecendo os lastros. • A desvantagem deste sistema é que o seu sucesso depende muito da perícia e experiência do piloto, pois o dirigível ao diminuir a sua altitude de voo fica sujeito a grande pressão estrutural (possíveis rajadas e turbulência).
Propulsão Vectorizada	<ul style="list-style-type: none"> • A propulsão vectorizada pode, pela variação do ângulo das pás, compensar o desequilíbrio entre o aumento da força de sustentação e a perda de peso do dirigível em voo.
Aquecimento e Arrefecimento do Gás de Elevação	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema que controla a altitude de voo através de variações da temperatura interna do envelope: quando a temperatura aumenta o gás de elevação aquece e expande e o dirigível sobe; quando a temperatura desce e o gás de elevação arrefece e encolhe, o dirigível desce. • As desvantagens são os elevados custos energéticos envolvidos; por esta razão ainda é um sistema que se encontra em fase de desenvolvimento.
Libertação do Gás de Elevação	<ul style="list-style-type: none"> • O peso perdido pelo dirigível em voo pode ser compensado pela libertação do gás de elevação contido no interior do envelope. • A desvantagem deste sistema é que conduz a um aumento operacional da missão visto que o gás de elevação também é um <i>combustível</i> do dirigível pelo que este método apenas deve ser aplicado como recurso em casos de emergência.
Compressão do Gás de Elevação ou do Ar Contido nas Células de Ar ou Gestão Dinâmica da Flutuabilidade (<i>Dynamic Buoyancy Management</i> ou <i>Control of Static Heaviness System</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Este sistema permite ao dirigível ajustar o seu peso em voo sem recurso aos tradicionais lastros. • Utiliza um tanque pressurizado para armazenamento de hélio, um compressor para o hélio liquefeito e um sistema de aquecimento para evitar o arrefecimento do gás de elevação quando é libertado do tanque pressurizado para o interior das células de gás. • Neste sistema não é necessária a operação de reabastecimento dos lastros em terra pelo que os custos com as infra-estruturas são ainda mais reduzidos.