

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**PROGRAMA DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

**PET - COPPE**

**“UM MODELO DE SELEÇÃO DE AERONAVES  
PARA O TRANSPORTE DE PASSAGEIROS NO BRASIL”**

MÁRIO MARCONDES MACHADO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientadores:

Prof. Amaranto Lopes Pereira, Dr.Ing.

Prof. Respício A. Espírito Santo Jr., D.Sc.

RIO DE JANEIRO

2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UM MODELO DE SELEÇÃO DE AERONAVES  
PARA O TRANSPORTE DE PASSAGEIROS NO BRASIL

Mário Marcondes Machado

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM  
ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Aprovada por:

---

Prof. Amaranto Lopes Pereira, Dr.Ing.

---

Prof. Respício Antônio do Espírito Santo Junior, D.Sc.

---

Prof. Fernando Ribeiro da Silva, D.Sc.

---

Prof. Licínio da Silva Portugal, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2005

Machado, Mário Marcondes

Um Modelo de Seleção de Aeronaves  
Para o Transporte de Passageiros no Brasil  
[Rio de Janeiro] 2005.

XIII, 97 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,  
Engenharia de Transportes, 2005).

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
COPPE.

1. Seleção de Aeronaves;
2. Desempenho de Aeronaves;
3. Operações de Vôo.

I. COPPE/UFRJ      II. Título (série).

*Dedico este trabalho a meu pai, que com sua disciplina de soldado e habilidade com números próprias do oficial da intendência da aeronáutica me mostrou, que aviação se faz na ponta do lápis e com os pés no chão.*

## Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão para com o incansável Professor Amaranto, sua valiosa orientação, superioridade intelectual e dedicação aos alunos, o que me proporcionou gratificante experiência de aprendizado.

Agradeço ao Prof. Respício por sua decisiva contribuição, clareza e positividade.

Um agradecimento especial vai para a Professora Angela de Faria Vieira pela iluminada orientação na estruturação do projeto de pesquisa.

Devo agradecer também aos professores Licínio, Giovani e Mário Jorge, por sua importante contribuição nas dicas para a modelagem matemática.

Agradeço à minha mulher Sidnéa pelo companheirismo e paciência nos momentos difíceis. E também por ouvir as minhas divagações “pensando alto” durante todo o processo.

Aos colegas Manuel, Vladimir e Simon por suas contribuições e companheirismo, pois nossas conversas durante o cafezinho no “Café Burguesão” foram sempre muito valiosas.

Gostaria de registrar meu agradecimento ao Prof. Fernando Ribeiro e ao Cmte. Schittini pelas cartas de recomendação ao mestrado na COPPE, ao Professor João Luiz pelo empréstimo dos livros de aviação e aos amigos Pedro Mendes, Antônio J. Mazzoli e Gustavo Zanettini por suas importantes contribuições e idéias.

Não posso deixar de mencionar que este trabalho foi levado a termo graças aos recursos da bolsa de mestrado do CNPq e agradecer a este país por ter me proporcionado ensino de qualidade. E finalmente, agradeço a todos os funcionários do PET, Luciano, André, Cássia, Jane, Helena, enfim todos aqueles que sempre tiveram boa vontade no atendimento de minhas solicitações proporcionando uma ótima convivência no campus.

*“Uma aeronave comercial é aquela capaz de se sustentar no ar aerodinâmica e economicamente”.*

William B. Stout.  
(1880 – 1956)

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UM MODELO DE SELEÇÃO DE AERONAVES  
PARA O TRANSPORTE DE PASSAGEIROS NO BRASIL

Mário Marcondes Machado

Outubro/2005

Orientadores: Amaranto Lopes Pereira

Respício A. Espírito Santo Jr.

A atual situação financeira das empresas tradicionais de transporte aéreo no Brasil e no mundo é bastante crítica. Atuando em cenário altamente competitivo, elas não podem permitir ineficiências de qualquer natureza em seu *modus operandi*. Enquanto isso, novas empresas aparecem no mercado, trazendo novos conceitos e práticas, bem como métodos e estruturas de baixo custo.

Considerando que a eficiência operacional de um sistema de transporte aéreo depende, principalmente, do grau de adequação das aeronaves utilizadas ao tipo de ligação oferecida, o presente trabalho estabelece um modelo de seleção de aeronaves a partir de uma análise que considera as variáveis relevantes envolvidas no processo, dando ênfase às questões que envolvem o desempenho da aeronave na missão.

Um modelo de seleção de aeronaves é construído através de um sistema de cálculos de desempenho de aeronaves, acoplado a um sistema de equações, estruturado e resolvido como um problema de programação matemática, cuja função-objetivo é minimizar os custos operacionais diretos.

Aplicado a um cenário tipicamente brasileiro e considerando quatro tipos de aeronaves, o modelo estabelece um ordenamento das aeronaves analisadas quanto ao seu grau de adequação técnica e econômica, indicando, a melhor aeronave para as diferentes missões estabelecidas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

AN AIRCRAFT SELECTION MODEL  
FOR PASSENGER TRANSPORTATION IN BRAZIL

Mário Marcondes Machado

October/2005

Advisors:     Amaranto Lopes Pereira  
              Respício A. Espírito Santo Jr.

Department: Transportation Engineering

The current financial situation of some traditional air carriers around the world is quite critical. Operating in a highly competitive scenario they cannot allow any kind of inefficiency in its *modus operandi*. Meanwhile, new carriers are still rising in the horizon with new concepts, methods and low costs structures.

Considering that the aircraft selection and fleet allocation are some of the most important aspects to maintain the operational efficiency of a transportation system, this dissertation establishes an aircraft selection model analysis as a decision support tool with emphasis in the aircraft performance for a given mission profile.

The proposed model is built from a numerical performance simulator connected to an Integer Programming Problem whose objective-function is to minimize Direct Operational Costs (DOCs). Taking into account restrictions of capacity and time utilization, the model indicates the optimum aircraft choice.

An application with four different aircraft types operating in a conceived scenario was performed to show how the model works.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Justificativa	3
1.3. Estrutura do trabalho	4
2. SELEÇÃO DE AERONAVES – CONSIDERAÇÕES	5
2.1. Capacidade e alcance	7
2.2. A influência da missão no desempenho da aeronave	10
2.3. Seleção de aeronaves	11
2.3.1. Uma abordagem ao problema da seleção de aeronaves	13
2.4. O Tamanho da aeronave	14
2.5. Velocidades	16
2.6. Motores	17
2.7. Aerodinâmica	17
2.8. Estruturas	18
2.9. Custo operacional	18
2.10. Indicadores do setor	21
2.10.1. Recordes de faturamento e custo unitário	24
3. ASPECTOS OPERACIONAIS DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE AÉREO	25
3.1. Determinação do disponível para transporte	25
3.2. Estrutura e interfaces do sistema	28
3.3. Operações de voo (análises)	30
3.3.1. O despacho de um voo	32
3.4. O desempenho da aeronave na missão (capacidade prática)	33
3.4.1. Desempenho de decolagem e pouso	34
3.4.2. Desempenho em rota (plano de voo)	35
3.5. Tipos de aeronaves e missões	37
3.5.1. Identificação dos tipos de aeronaves viáveis	40
4. ESTABELECIMENTO DO MODELO	41
4.1. Critérios de seleção	42
4.2. Modelo conceitual simbólico	43
4.3. Geração do modelo matemático	49

4.4. Uma abordagem por programação matemática	51
4.5. O modelo de aplicação	54
4.5.1. Custos operacionais diretos	55
4.5.2. Características técnicas ou de projeto (capacidade nominal)	57
4.5.3. Nível de serviço (conforto na cabine e emissões)	60
4.5.4. Níveis de oferta para a análise (Variável aleatória)	61
4.6. Simplificações do modelo de aplicação	61
4.7. Ajustes e validação do modelo de aplicação	62
4.8. Hipóteses para a análise	64
4.9. Resultados	69
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
5.1. Linhas de continuidade para este trabalho	75
5.2. Conclusões	76
BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS	78
GLOSSÁRIO	80
ANEXO 1 – Características do Modelo	84
ANEXO 2 – Nomogramas de Performance	91
ANEXO 3 – Resposta do Excel para a análise com o Módulo 2	92
ANEXO 4 – Modelo de Relatório da ICAO (Motores)	93
ANEXO 5 – Questionários Utilizados	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- AC1M3: Aeronave tipo A operando no cenário 1 realizando a missão 3;
- ACN: (Aircraft Classification Number) Classificação quanto à qualidade de pavimento requerida pela aeronave;
- AIP-Brasil: Manual de Informações Aeronáuticas;
- ATC: (Air Traffic Control) – Órgão do Controle de Tráfego Aéreo;
- CLWY: (Clearway) – Área livre de obstáculos no alinhamento da pista;
- C1M2: Cenário 1 Missão 2;
- CP: Carga-paga ou (Payload): É a soma dos pesos correspondente a (passageiros + bagagem + carga + correio), representa a demanda de transportes;
- DECEA: Departamento de Controle do Espaço Aéreo;
- DISP: (ATL – Allowed Traffic Load) Disponível para transporte. Representa a oferta de transportes;
- $DISP_{ij}^T$ : Disponível em kg calculado para a aeronave tipo  $T$  na etapa voada de  $i$  para  $j$ ;
- $DISP_{PAXij}^A$ : É o Disponível em número de passageiros calculado para a aeronave tipo  $A$  na etapa voada de  $i$  para  $j$ ;
- Elev.: Elevação do aeródromo. Normalmente medida em pés (ft);
- Etapa: Trecho origem-destino;
- ISA: (International Standard Atmosphere) Atmosfera Padrão Internacional;
- Jeppesen: Publicações Aeronáuticas;
- LDA: (Landing Distance Available) – Comprimento de pista disponível para o pouso;
- MFR: (Minimum Fuel Required or Block Fuel) Combustível mínimo requerido. Inclui o combustível de taxi;
- Número Mach: Relação entre a TAS e a Velocidade do Som no nível de vôo (Mach 1 = 100% da Velocidade do som);
- PBV: (EW – Empty Weight) Peso Básico Vazio;
- PBO: (OEW – Operating Empty Weight) Peso Básico Operacional;
- PAD: (ATOW – Actual Takeoff Weight) Peso Atual de Decolagem;
- PAX: abreviação comumente utilizada para designar o Passageiro;
- PAZC: (AZFW – Actual Zero Fuel Weight) Peso Atual Zero Combustível;
- PCN: (Pavement Classification Number) Classificação da qualidade do Pavimento de pátios e pistas;

PMEP: (MDLW – Maximum Design Landing Weight) Peso Máximo Estrutural de Pouso;

PMED: (MTOGW – Maximum Takeoff Gross Weight) Peso Máximo Estrutural de Decolagem;

PMD: (MTOW – Maximum Takeoff Weight) Peso Máximo de Decolagem referente à operação. Pode estar limitado por qualquer fase da operação;

PMP: (MLW – Maximum Landing Weight) Peso Máximo de Pouso;

PMT: (MTW – Maximum Taxi Weight) Peso Máximo de Táxi;

PMZC: (MZFW – Maximum Zero Fuel Weight) Peso Máximo Zero Combustível.

PO: (OW – Operating Weight) Peso Operacional. Corresponde a soma OEW+TOF;

ROTAER: Manual de Rotas e Auxílios à Navegação Aérea;

TAS: (True Air Speed) Velocidade real do ar. Normalmente expressa em nós (kt);

*TIF*: (Trip Fuel) Combustível Queimado na Etapa.

*TOF*: (Takeoff Fuel) Combustível à Decolagem;

TORA: (Takeoff Runway Available) Comprimento de pista disponível para a decolagem.

$TV_{ij}^A$  : É o tempo de voo da aeronave tipo *A* voando de *i* para *j*.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1a – Diagrama Payload-Range de um B737-300	7
Figura 2.1b – Diagrama Payload-Range	8
Figura 2.2 – Produtividade e Custos	9
Figura 2.3 – Limites no diagrama Payload-Range	11
Figura 2.4 – Modelo de Análise de Aeronaves proposto por (MACHADO <i>et al.</i> , 2004)	14
Figura 2.5 – Efeito do tamanho da aeronave nos custos	15
Figura 2.6 – Tráfego de Passageiros – Setor Doméstico	21
Figura 2.7 – Eficiência do Sistema de Transporte Aéreo Brasileiro	23
Figura 3.1 – Esquema para cálculo do Disponível	27
Figura 3.2 – O Planejamento de Frota na Estrutura de uma Empresa de Transporte Aéreo	28
Figura 3.3 – Perfil de uma missão. (Etapa + Reservas)	36
Figura 4.1 – Diagrama do Fluxo Global do Sistema (Modelo Proposto)	41
Figura 4.2 – Modelo Conceitual Simbólico da Seleção de Aeronaves	43
Figura 4.3 – Curva Característica Velocidade Média x Distância	59
Figura 4.4 – Gráfico Payload x Range do Modelo	59
Figura 4.5 – Painel principal do Módulo 1 - Sistema de Cálculo da Capacidade	63
Figura 4.6a – Resultados da Aplicação com o Módulo 1	69
Figura 4.6b – Resultados da Aplicação com o Módulo 1 (cont.)	70
Figura 4.7 – Painel Principal do Módulo 2 com a solução da Aplicação	71
Figura 4.8 – Destaque da Solução do Módulo 2	72
Figura 4.9 – Gráfico com o resultado da Aplicação com o Modelo	72

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Distribuição dos Custos Operacionais	20
Tabela 2.2 – Indústria Segmento Doméstico (Dados Econômicos)	22
Tabela 3.1 – Atributos e Interfaces do Planejamento de Frota	29
Tabela 3.2 – Tipos de Aeronaves	38
Tabela 3.3 – Classificação dos Tipo de Aeronaves (alcance)	39
Tabela 3.4 – Modelo de um banco de dados de aeroportos e pistas	40
Tabela 4.1 – Sistema de Seleção de Aeronaves (Atributos de Entrada e Saída)	41
Tabela 4.2 – Variáveis Relevantes e Critérios de Seleção	42
Tabela 4.3 – Atributos do subsistema Análise de pistas	47
Tabela 4.4 – Atributos do subsistema Plano de Vôo	47
Tabela 4.5 – Atributos do subsistema Classificação de Aeronaves	48
Tabela 4.6 – Níveis de Aluguel de aeronaves (Leasing)	56
Tabela 4.7 – Aspectos Financeiros (Custos)	57
Tabela 4.8 – Características Técnicas ou de Projeto	58
Tabela 4.9 – Nível de Serviço	60
Tabela 4.10 – Resultado da Aplicação com o Modelo de Seleção de Aeronaves	72

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte aéreo é certamente o mais jovem dos modais de transporte comercial já desenvolvido. Com menos de um século de existência, este importante setor da economia vem sendo testado por diversas crises ao longo de sua história, desde as crises mundiais decorrentes da II Guerra Mundial e outros conflitos de relevância (Guerra da Coréia, Guerra do Vietnã, Guerra do Golfo etc.), passando pelas crises do petróleo nos anos 70 e 80 até os atentados terroristas de 11 de setembro de 2001.

No Brasil, a desvalorização do real em 1999 teve forte impacto nos custos das empresas nacionais uma vez que seus insumos básicos estão atrelados à moeda estrangeira. Entretanto, considerando que o Brasil possui: uma frota aérea civil de 7231 aviões, 988 helicópteros além de 176 planadores, segundo o Diretório Aeroespacial Brasileiro, 2005; dimensões continentais e regiões de difícil acesso; crescente demanda e potencial turístico incontestável, verifica-se que este setor é de vital importância para o desenvolvimento nacional.

Mesmo com as dificuldades e desafios característicos do transporte aéreo, grandes somas continuam sendo investidas, aeronaves cada vez mais sofisticadas são desenvolvidas e novos operadores aparecem enquanto outros desaparecem em meio a uma guerra pela sobrevivência na qual, mercados como Ásia, Estados Unidos e Europa são os principais campos de batalha.

Na eterna luta pela redução de custos, onde importante componente se refere ao combustível consumido, acredita-se que para atingir a eficiência operacional e a sustentabilidade do setor, importante fator é o emprego adequado da frota disponível com a adequação técnica e econômica entre aeronave e missão, minimizando assim os custos operacionais e os impactos ambientais inerentes à atividade de transporte aéreo.

Ressalta-se que o conceito “eficiência operacional” aqui expresso, se refere ao grau de adequação entre aeronave e a rede de transportes associada, já o conceito “sustentabilidade” se refere a eficiência energética que o par (aeronave x missão) pode assumir, mediante o dimensionamento da oferta de transportes e a conseqüente proporcionalidade nas emissões de poluentes da queima de combustíveis.

### **1.1. Objetivo**

Considerando que o estabelecimento de métodos e critérios técnicos de apoio à decisão pode proporcionar um melhor emprego dos recursos disponíveis e ainda auxiliar na recuperação financeira das empresas aéreas nacionais, este trabalho tem como objetivo principal estabelecer um modelo de análise para a seleção de aeronaves no Brasil. Para alcançar este objetivo, torna-se necessário identificar as variáveis relevantes envolvidas neste processo, conforme o tipo de aeronave e sua missão, bem como avaliar os procedimentos normalmente empregados nesta decisão.

O trabalho visa contribuir para minimizar os custos totais do operador através de uma melhor adequação entre aeronave e a rede de transportes, respondendo a pergunta: Como selecionar aeronaves para o transporte de passageiros no Brasil? Para isso, serão identificados também os critérios a serem adotados na escolha de aeronaves para rotas nacionais, de modo a conseguir colocar a aeronave certa no lugar certo.

O método aqui proposto dá especial atenção às questões que envolvem as características técnicas e o desempenho das aeronaves na etapa (missão) considerada, atribuindo um grau de adequação técnica entre a aeronave e sua missão em três níveis (rótulos), a saber: Aeronave Ótima; Aeronave Aceitável e Aeronave Imprópria para a missão considerada.

Em resumo, o presente trabalho tem como objetivo principal:

- Estabelecer um modelo de análise para a seleção de aeronaves no Brasil.

Como objetivos decorrentes ou associados:

- Identificar as variáveis relevantes envolvidas neste tipo de decisão;
- Avaliar os procedimentos normalmente empregados na seleção de aeronaves.

E como benefícios esperados:

- Proporcionar nova abordagem ao problema;
- Incentivar a discussão acerca do tema;
- Contribuir para a recuperação financeira das empresas do setor.

## **1.2. Justificativa**

A atual situação financeira das empresas tradicionais de transporte aéreo no Brasil e no mundo é bastante crítica. Atuando em cenário altamente competitivo, elas não podem permitir ineficiências de qualquer natureza em seu *modus operandi*. Enquanto isso, novas empresas aparecem no mercado, trazendo novos conceitos e práticas.

No Brasil, segundo (BARAT, 2004) em editorial de 06/10/2004 de O Estado de São Paulo, “A crise renitente do transporte aéreo é sistêmica”. Ainda segundo o autor, “questão-chave é a do controle da oferta, para evitar, tanto ociosidade nos assentos oferecidos, quanto a sua insuficiência frente a acréscimos da demanda”.

Neste sentido surge a questão do gerenciamento da capacidade de uma frota e, assumindo que a eficiência operacional de um sistema de transporte aéreo depende, principalmente, do grau de adequação entre o tipo de aeronave utilizado e sua capacidade real de transporte para o tipo de ligação e frequência oferecida.

Durante atuação de dez anos na área de operações de vôo em empresas de transporte aéreo regular de passageiros, foi possível verificar a carência por ferramental de apoio à decisão no que diz respeito à determinação da frota ideal para operação no cenário nacional, visando eficiência produtiva e plena utilização dos recursos disponíveis.

### **1.3. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está estruturado em 5 capítulos. No capítulo 1 é feita uma breve introdução ao tema e são apresentados os objetivos e a justificativa do trabalho. No capítulo 2 são apresentadas as principais considerações acerca do tema através de uma revisão bibliográfica, onde uma estrutura de tópicos é apresentada. No capítulo 3 são levantados os principais aspectos operacionais de um sistema de transporte aéreo. No capítulo 4 um modelo de seleção de aeronaves é estabelecido através de diagramas conceituais onde a estrutura de interação dos subsistemas é apresentada. É proposto um modelo de aplicação e uma análise numérica é realizada para auxiliar o entendimento do leitor. No capítulo 5 são feitas considerações finais, comentadas as possíveis linhas de continuidade para o trabalho e as tecidas as conclusões do trabalho. São apresentados em anexo: ANEXO 1 – Características do Modelo, onde são apresentadas as algumas curvas que demonstram as características do modelo de aplicação, baseado nos nomogramas do B737-300-20k; ANEXO 2 – Nomograma de Performance; ANEXO 3 – Relatório do Microsoft Excel; ANEXO 4 – Modelo de Relatório ICAO (Motores) e ANEXO 5 – Questionários Utilizados.

## 2. SELEÇÃO DE AERONAVES – CONSIDERAÇÕES

A seleção de aeronaves é um processo freqüente no âmbito do planejamento de frotas. Segundo (HOLLOWAY, 1997), esta discussão pode ser orientada pelos interesses da área de operações, concentrando-se no desempenho (performance) e em características de manutenção, pelo pessoal de marketing que estará preocupado com aspectos de produto ou ainda pelo pessoal de finanças que terá em foco os custos operacionais e o apelo de diferentes tipos de aeronaves a potenciais investidores. Ainda segundo o autor, “... enquanto vários fatores devem ser considerados na avaliação de diferentes tipos de aeronaves, um dominante *input* é, invariavelmente, a missão projetada. Isto por que uma rede típica de transporte aéreo contém uma variedade de rotas com diferentes combinações (aeronave-missão) para um custo mínimo de operação e, conseqüentemente, a composição ótima de uma frota irá conter mais tipos de aeronaves de que se desejaria ter”. Sendo assim, o dimensionamento de um sistema de transporte aéreo precisa levar em conta a combinação destes aspectos.

Um estudo realizado pelo *Institute of Air Transport* - ITA no Brasil (MORA-CAMINO *et al.*, 1983), estabelece alguns componentes necessários à abordagem do problema do dimensionamento de um sistema de transporte aéreo, considerando conexão entre duas cidades. Tais componentes podem ser assim classificados:

- Função Demanda;
- Nível de Serviço;
- Características Técnicas da Aeronave;
- Política Operacional (frequências, horários etc.);
- Capacidade Oferecida;
- Fator de Ocupação;

- Função de Custos;
- Função de Vendas.

Como política de otimização para a empresa, a fim de maximizar os lucros operacionais e minimizar os custos, os referidos autores indicam a Pesquisa Operacional e a Teoria dos Grafos e seu desenvolvimento. (MORA-CAMINO *et al.*, 1983).

A abordagem adotada no presente trabalho se concentra nas funções Características técnicas do tipo de aeronave empregado e nas Características da missão, considerando as funções a seguir:

- Função de Custos (relativos ao tipo de aeronave);
- Características Técnicas da Aeronave (projeto);
- Capacidade Oferecida (resultado da interação aeronave-missão);
- Nível de Serviço (relativo ao tipo de aeronave).

Para a Função de Custos, consideraram-se os principais fatores de custos operacionais diretos para cada tipo de aeronave. Com relação às Características Técnicas, são analisados um conjunto de variáveis e o desempenho nas rotas. Para considerar a função Capacidade Oferecida, o modelo proposto efetua os cálculos para obter a capacidade de transporte de cada tipo de aeronave analisada, e é “alimentado” por uma demanda aleatória, mas permite a utilização, por exemplo, de dados dos Anuários Estatísticos e Econômicos do Departamento de Aviação Civil. Para dimensionar uma oferta compatível com as características do mercado a ser atendido. Para a função Nível de Serviço consideraram-se, para cada tipo de aeronave, apenas as características de conforto na cabine e emissões de poluentes e ruídos. A discriminação das variáveis consideradas é apresentada nos Capítulos 3 e 4.

## 2.1. Capacidade e alcance

Segundo (PADILHA, 1996) no estudo de uma aeronave e seu desempenho, um documento importante é o diagrama “*Payload-Range*”. Através deste diagrama, o operador pode verificar a carga-paga que a aeronave pode transportar e até onde ela pode voar com esta carga. Tal análise pode ser realizada quando o operador considera modificações na frota, entrada e saída de diferentes tipos de aeronaves ou mesmo, quando avalia a re-alocação de determinado tipo de aeronave em diferentes rotas como já foi dito. A Figura 2.1a mostra o diagrama *Payload-Range* para o B-737-300.

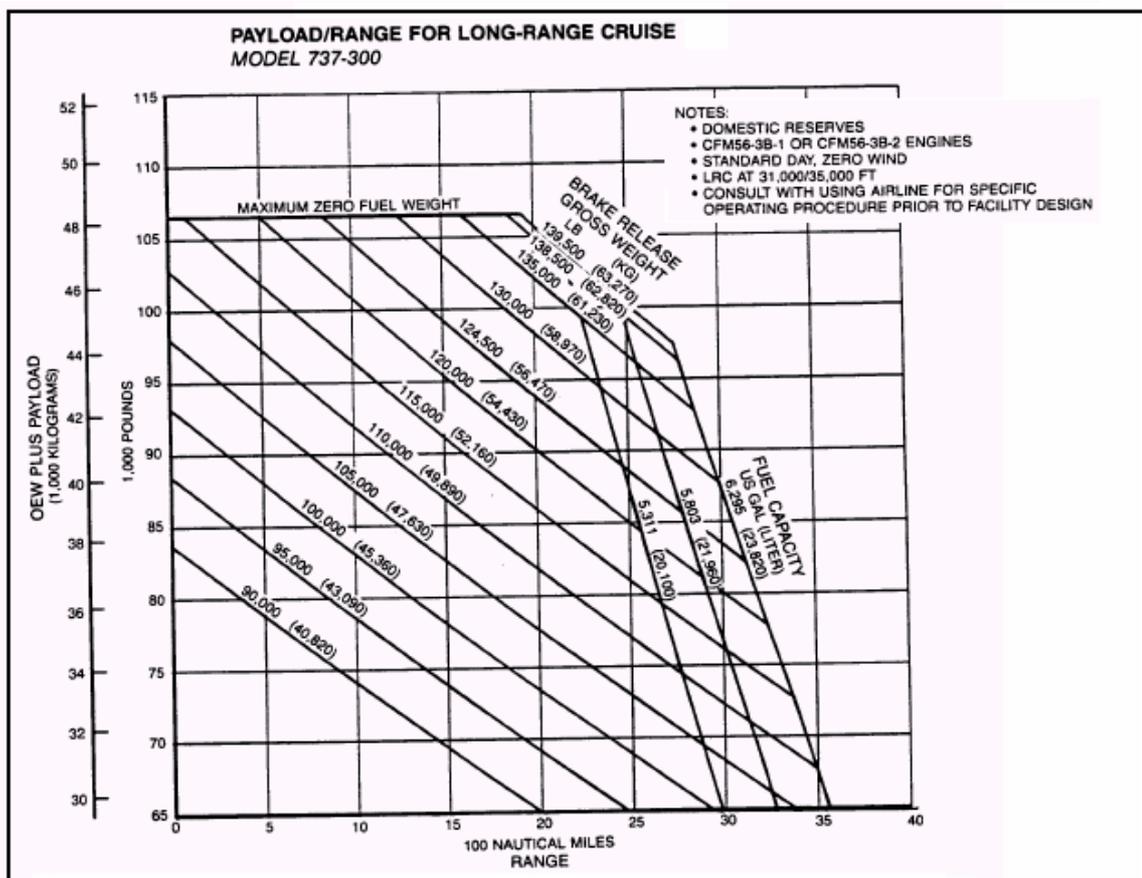


Figura 2.1a – Diagrama *Payload-Range* de um B737-300.

Fonte: [www.boeing.com](http://www.boeing.com).

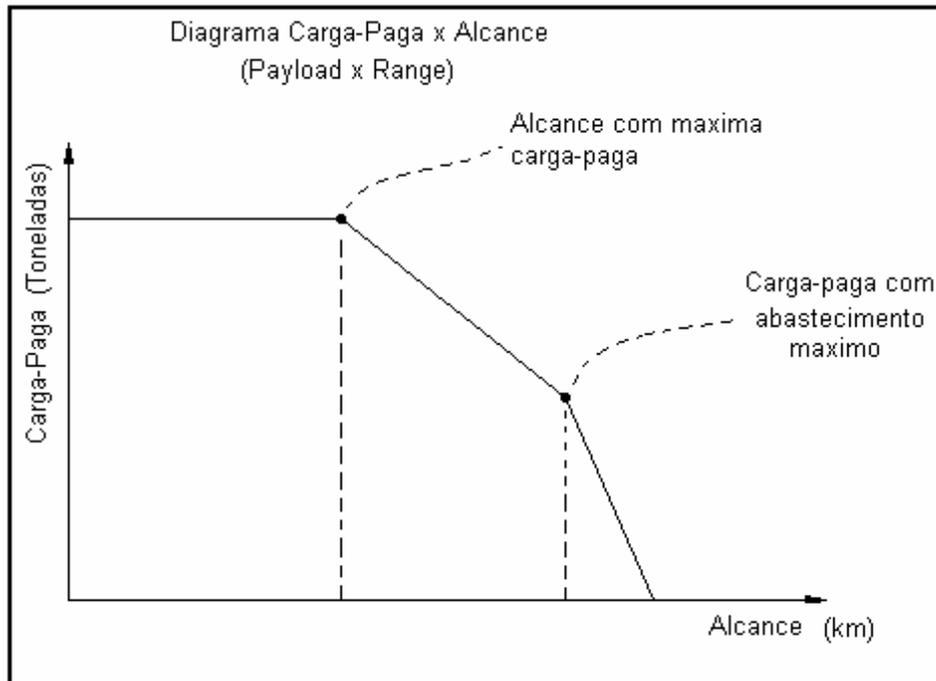


Figura 2.1b – Diagrama *Payload-Range* (teórico).  
Desenhado pelo autor.

Fatores como o tamanho (capacidade), velocidade de cruzeiro e alcance útil da aeronave determinam a produtividade por hora de operação. Desde que essa produtividade seja o produto da carga-paga pela velocidade, quanto maior a velocidade de cruzeiro, maior será a produção horária do sistema de transportes.

$$\text{Produtividade} = \text{Carga - Paga} * \text{Velocidade} \quad (2.1)$$

Utilizando sua capacidade máxima, sem considerar restrições de desempenho de decolagem ou pouso, uma aeronave será capaz de voar certa distância definida em projeto, conhecida como o alcance útil ou alcance com carga-paga máxima.

Para voar distâncias maiores, será necessário “trocar” carga-paga por combustível. O alcance então pode ser aumentado neste processo até que a capacidade máxima dos tanques seja atingida. A este alcance chamaremos de alcance máximo, ele estabelece a carga-paga permitida com alcance máximo. A partir deste ponto, a carga-paga disponível cai até zero quando teríamos o alcance absoluto da aeronave.

O operador deve selecionar a aeronave conforme seus parâmetros e características de projeto. Embora se saiba que é impossível alocar sempre a aeronave ótima para cada ligação da rede, um acompanhamento constante do grau de adequação entre aeronave e sua missão é fundamental para atingir altos níveis de eficiência operacional e, desta forma, reduzir os custos totais.

A Figura 2.2 mostra a relação entre alcance, produtividade e custos.

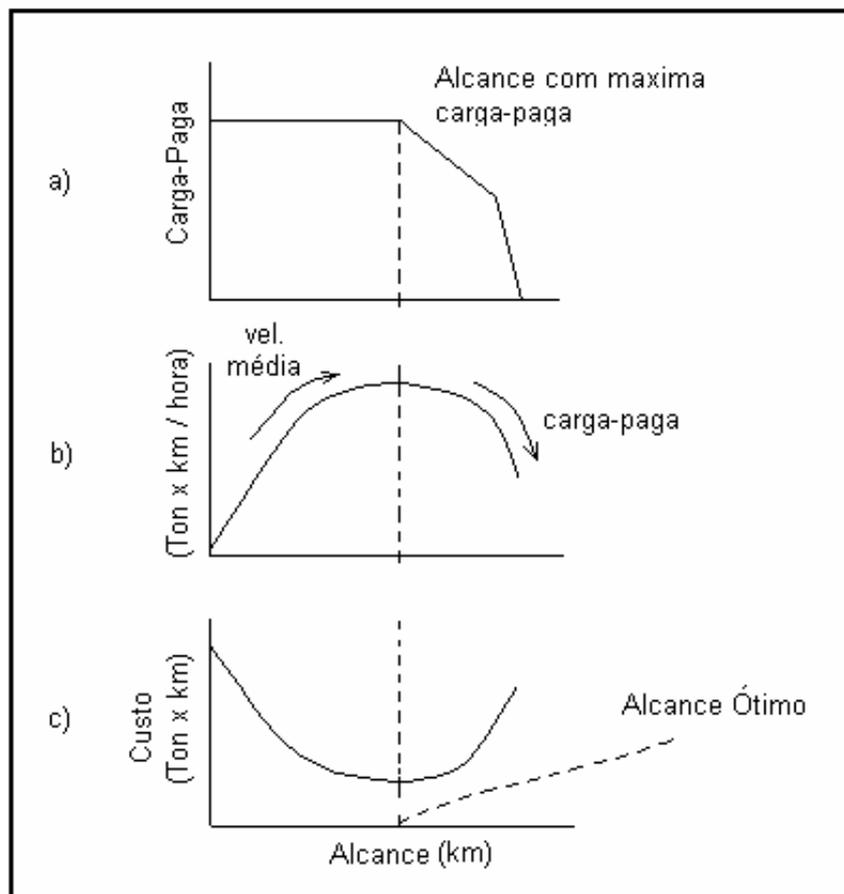


Figura 2.2 - Produtividade e Custos.

a) *Payload-Range*; b) Produtividade horária; c) Custos unitários.

Fonte: (DOGANIS, 2001)

## 2.2. A influência da missão no desempenho da aeronave

A natureza da missão determina as características requeridas ao tipo de aeronave empregado. A operação em condições adversas trás sempre uma redução da carga-paga disponível, com conseqüente redução do peso máximo permitido no despacho ou liberação do vôo, onde uma combinação dos fatores limitantes reflete a influência das características da missão no desempenho da aeronave, conduzindo o problema a diferentes configurações, como pode ser visto a seguir.

Caso 1 – A operação poderá estar limitada pelo Peso Máximo de Decolagem PMD, quando ocorrer uma combinação de fatores como: decolagem em pista curta; presença de obstáculos; grande elevação de aeródromo<sup>1</sup>; altas temperaturas; etapas muito longas para o tipo de aeronave (muito combustível no momento da decolagem) etc.;

Caso 2 – A operação poderá estar limitada pelo Peso Máximo de Pouso PMP quando ocorrer uma combinação de fatores como: pouso em pista curta; etapa muito curta (associado a alto peso de decolagem e baixo consumo de combustível); grande elevação de aeródromo etc.;

Caso 3 – A operação poderá estar limitada pela capacidade dos tanques de combustível (Autonomia Máxima) no caso de uma etapa muito longa e/ou com aeroporto de alternativa<sup>2</sup> muito distante, ocasionando grande quantidade de combustível para o despacho.

Estas são as situações mais comumente observadas nas operações diárias com uma frota aérea. Em alguns casos, dada a natureza da carga ou bagagem a ser

---

<sup>1</sup> Aeródromo é toda área destinada a pouso, decolagem e movimentação de aeronaves. Já um aeroporto se caracteriza por ser um aeródromo público dotado de instalações e facilidades para apoio de operações de embarque e desembarque de pessoas e cargas. (CBA – Código Brasileiro de Aeronáutica Art. 27, e 31, I).

embarcada, devem ser observadas ainda as limitações de resistência do piso dos porões e a capacidade volumétrica, além de condições para embarque de animais vivos etc.

A Figura 2.3 ilustra as principais limitações no diagrama *Payload-Range*.

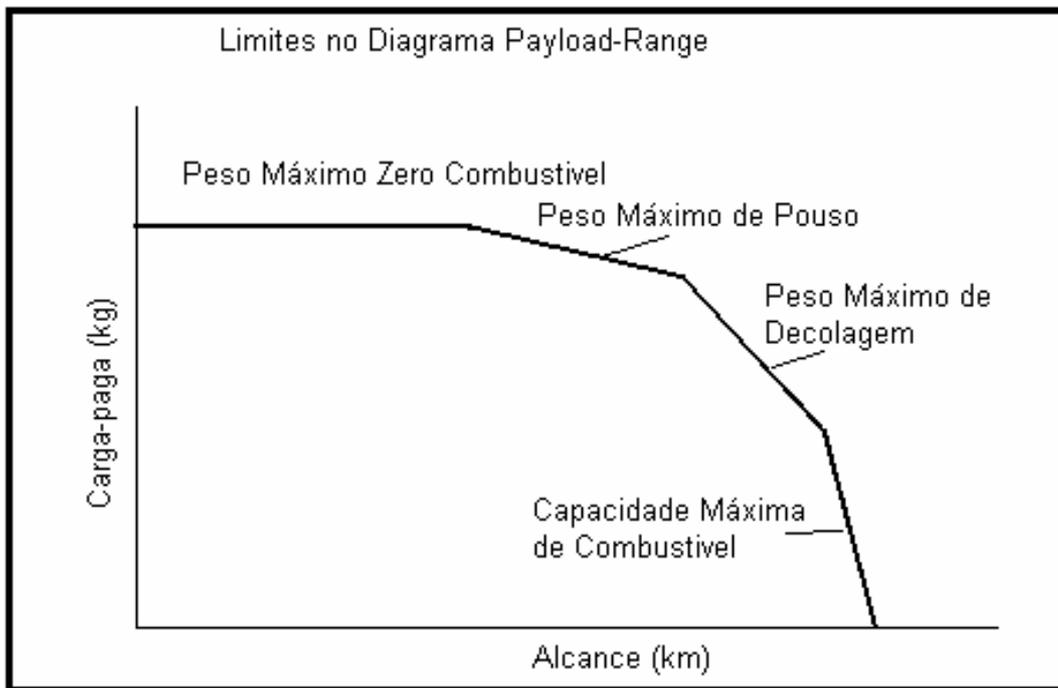


Figura 2.3 – Limites no diagrama *Payload-Range*.

### 2.3. Seleção de aeronaves

A seleção de uma aeronave é um processo onde um conjunto de parâmetros deve ser considerado a fim de racionalizar a utilização de um determinado tipo de aeronave em dada rede de transportes ao longo do tempo. Tal análise pode se fazer necessária para uma avaliação da programação de vôos em curso e a análise de possíveis modificações nesta programação ou ainda para a renovação ou modificações na frota. Tal análise pode ser realizada, periodicamente, para avaliar a eficiência operacional do sistema e auxiliar nos processos de tomada de decisões.

---

<sup>2</sup> Alternativa é um aeródromo estabelecido como uma alternativa de destino, caso não seja possível o pouso no aeródromo de destino.

Processos de seleção de aeronaves são freqüentes também no ambiente militar. A seleção de caças para equipar a força aérea, por exemplo, é uma análise técnica e econômica que pode gerar grande discussão e até mesmo crises políticas. Ora, como a força aérea escolhe uma nova aeronave? Segundo (WANTTAJA, 1996), trata-se de cuidadosa análise da missão projetada: Qual a velocidade máxima necessária? Qual a velocidade de cruzeiro? Qual a carga-paga máxima? Quais níveis de manobrabilidade são requeridos? Tais requisitos são incluídos em um documento encaminhado à indústria aeroespacial que irá desenvolver tal produto ou adequar e modificar um já existente.

No caso de uma empresa de transporte aéreo, é preciso confrontar os requisitos das missões estabelecidas com as características das aeronaves disponíveis no mercado/indústria para uma análise comparativa, pois conforme a natureza da missão, diferentes características da aeronave são requeridas.

Segundo (DOGANIS, 2001), aeronaves são projetadas para atenderem a uma determinada densidade de tráfego relativo à etapa, o que determina características como pesos máximos de decolagem, pesos máximos de pouso e também o alcance. Um determinado tipo de aeronave pode requerer maior comprimento de pistas do que outra, ou utilizar motores que têm restrições para operar em aeroportos com altas temperaturas, altitudes elevadas etc.

Características como: alcance, consumo, capacidade dos tanques de combustível, velocidade, pesos máximos de decolagem/pouso, e capacidade de transporte de passageiros e carga são estabelecidos na fase de projeto da aeronave.

Após processo de testes estáticos e ensaios em vôo, a aeronave é certificada pelo órgão competente. Na Europa existe o JAA - *Joint Aviation Administration*, nos Estados Unidos o FAA - *Federal Aviation Administration* e no Brasil o CTA - Centro

Tecnológico da Aeronáutica em São José dos Campos. Depois disso, quando a aeronave chega ao mercado, entra em cena o operador de transportes que irá explorá-la e verificar, na prática, sua capacidade, eficiência etc. Fica então estabelecida, entre o fabricante e o operador, importante interface de desenvolvimento do produto.

Finalmente, após longo período de operação (cerca de 20 anos) a aeronave será então “aposentada” e como qualquer veículo que sai de serviço, se transformará em sucata ou peça de museu. Este é o final do ciclo de vida de uma aeronave comercial.

### **2.3.1. Uma abordagem ao problema da seleção de aeronaves**

De acordo com recente pesquisa intitulada “Uma Abordagem Fuzzy para o Processo de Seleção de Aeronaves no Brasil” (MACHADO *et al.*, 2004), são estabelecidos níveis de importância relativa para conjuntos de variáveis envolvidas nos processos de seleção de aeronaves no cenário nacional. O trabalho apresenta um modelo de seleção construído através de uma abordagem “Fuzzy<sup>3</sup>”, utilizando variáveis de entrada estabelecidas pela estrutura lógica do pensamento de especialistas do setor.

A pesquisa, que fez uso de um questionário de opinião e análise de desempenho de onze tipos de aeronaves em duas missões, permitiu o estabelecimento de um ordenamento (ranking) das aeronaves analisadas, identificando as mais adequadas para cada missão. O modelo conceitual da análise de aeronaves estabelecido naquela pesquisa é apresentado na Figura 2.4. Alguns resultados desta pesquisa são comentados no Capítulo 4.

---

<sup>3</sup> A Lógica Fuzzy é uma abordagem matemática baseada na teoria dos conjuntos nebulosos e utiliza variáveis lingüísticas ao inferir graus de pertinência entre elementos e conjuntos.

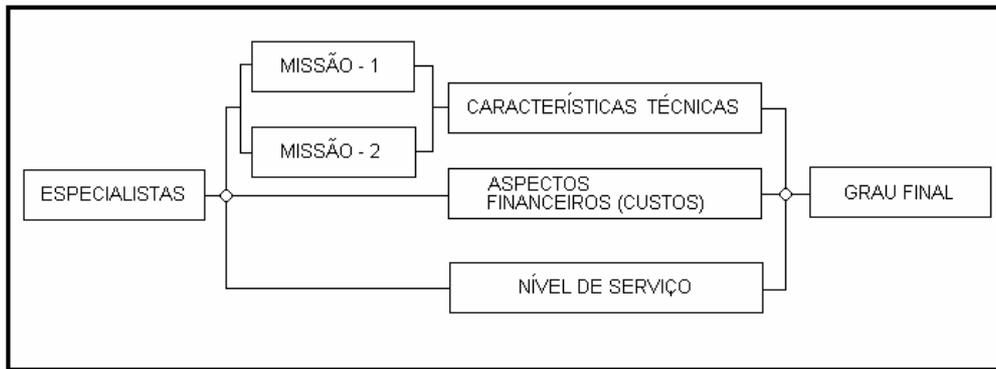


Figura 2.4 - Modelo de Análise de Aeronaves proposto por (MACHADO *et al.*, 2004).

## 2.4. O Tamanho da aeronave

Com algumas exceções, quanto maior a aeronave, menor será o custo do assento\*quilômetro por ela produzido. Mantendo-se as demais variáveis constantes, o custo direto de operação de uma aeronave não cresce na mesma proporção do seu tamanho ou capacidade. O custo de operação de uma grande aeronave é maior, porém em termos da sua produção ele é menor. Grandes aeronaves têm certas vantagens aerodinâmicas e, conseqüentemente, menos arrasto por capacidade de transporte ao mesmo tempo em que motores maiores e mais eficientes podem ser utilizados. Assim, um B-767-300 com 215 assentos, apresenta um peso máximo de decolagem PMD quase três vezes maior do que um B-737-400, porém seu consumo horário é pouco maior do que o dobro deste último (Airline Monitor *in* DOGANIS, 2001). É relativamente mais fácil e barato, por unidade de peso, deslocar uma grande massa através do ar, isto é, grandes aeronaves se movimentam com maior eficiência energética. “Por outro lado, o custo horário de aeronaves menores é menor, sendo estes adequados a rotas de baixa densidade, que oferecem condições de vantagem mesmo com o alto custo por assento\*quilômetro oferecido. Isto cria o grande desafio do planejamento de frotas. Escolher a aeronave que oferece os menores custos por assento.kilômetro ou aquela que oferece menores custos de operação? (DOGANIS, 2001).

Um estudo realizado sobre os efeitos do tamanho da aeronave no desempenho e nos custos, (KROO, 1994) apresenta alguns resultados interessantes assumindo como constantes as características geométricas e considerando uma variação do método ATA para o cálculo dos custos operacionais diretos *DOCs*. O estudo concluiu, por exemplo, que a razão *L/D* (Lift/Drag) cresce com o tamanho, primariamente devido ao efeito do número de Reynolds, e que as limitações ao tamanho da aeronave, não são de natureza aerodinâmica ou estrutural, mas sim com relação à infra-estrutura de aeroportos, regras de segurança, embarque, evacuação, e de ordem prática. Tal estudo ofereceu ainda resultados computacionais que permitiram traçar o gráfico da Figura 2.5.

EFEITO DO TAMANHO DA AERONAVE NOS CUSTOS OPERACIONAIS  
DIRETOS

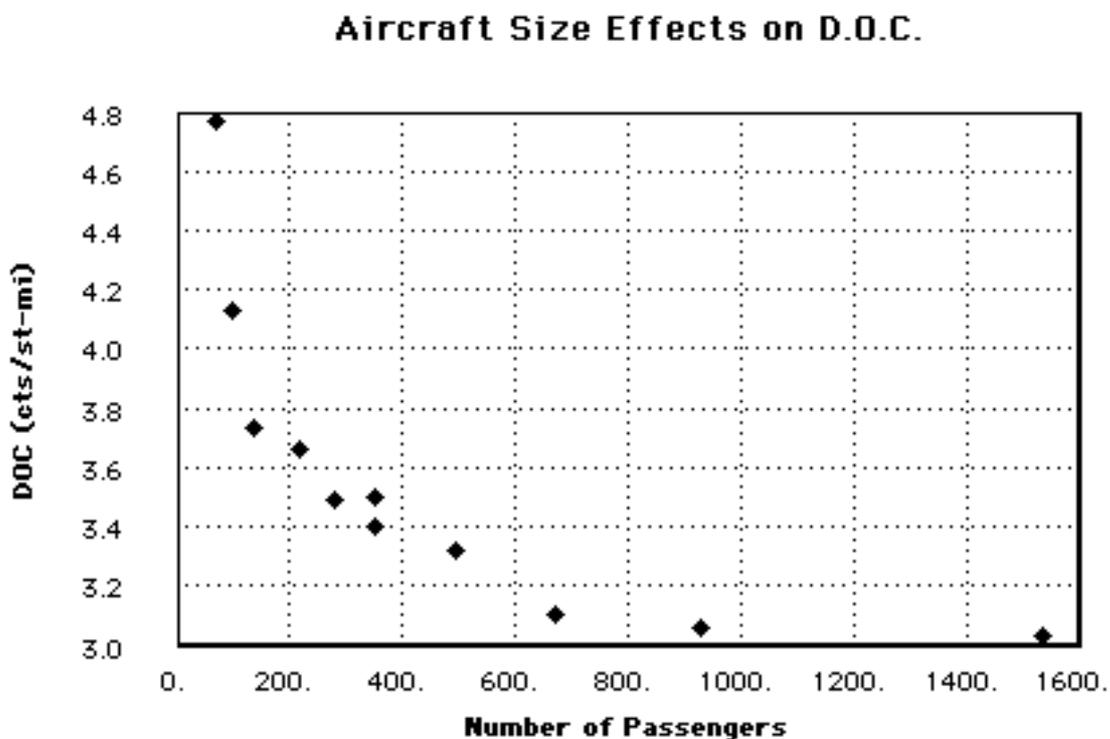


Figura 2.5 – Efeito do tamanho da aeronave nos custos.  
Fonte: Gráfico extraído de (KROO, 1994).

## 2.5. Velocidades

As velocidades desenvolvidas pela aeronave enquanto fator de produtividade, influenciam diretamente os custos de operação, já que:

$$\text{Produtividade}_{\text{TipoAeronave}} = \text{CargaPaga Disponível} * \text{Velocidade}_{\text{Média}} \quad (2.2)$$

Cada aeronave possui suas características de velocidades, seja durante a decolagem, pouso, nos regimes de subida, cruzeiro, descida, espera etc.

Voando em grande altitude e a altas velocidades, devido a questões de compressibilidade do ar, a velocidade aerodinâmica das aeronaves comerciais (transônicas<sup>4</sup>) é expressa em termos do Número Mach, que é a razão entre TAS<sup>5</sup> e a velocidade do Som no nível de vôo, (ex. Mach 1.0 = 100% da Vel.<sub>SOM</sub>).

As velocidades de decolagem variam diretamente com o peso da aeronave no momento da operação. Em vôo, vários são os regimes de velocidades que uma aeronave pode assumir. Para a etapa (origem-destino), geralmente, se utiliza o regime de cruzeiro econômico (*Economy Cruise Speed*), que é a velocidade em que os custos operacionais são minimizados. É definida como a velocidade onde a soma dos custos da hora de vôo e do combustível é minimizada e pode ser calculada como uma função do “*Cost Index*” que mede a importância relativa do custo da hora de vôo comparado com o custo do combustível. Sendo assim, o Índice de Custos ou *Cost Index* é definido por:

$$CI = \frac{\text{Custo da hora de vôo}}{\text{Custo do Comb.}} \quad (2.3)$$

Através desta relação e conforme sua estrutura de custos, o operador pode obter a velocidade de cruzeiro econômico associada a determinado vôo.

---

<sup>4</sup> Transônicas são as aeronaves que desenvolvem velocidades entre 75 e 120% da velocidade do som no ar, de *M.75* a *M.1.2*.

<sup>5</sup> TAS vem da sigla *True Air Speed* e representa a velocidade real da aeronave em relação ao ar.

Para o trecho da alternativa (destino-alternativa) utiliza-se, geralmente, o regime de longo alcance (*Long Range Cruise*); No regime de espera utiliza-se velocidade que proporciona a maior autonomia, isto é, o maior tempo de vôo por consumo de combustível, o chamado (*Maximum Autonomy Cruise Speed*).

## **2.6. Motores**

A eficiência energética de uma aeronave é um somatório, onde o nível tecnológico dos motores tem forte influência além das características aerodinâmicas e estruturais. O consumo específico de combustível e a potência disponível são alguns dos principais parâmetros observados no estudo dos motores em geral. O empuxo produzido por um motor a jato é, normalmente, expresso em lbf.

Outro aspecto interessante é que certas versões de motores podem ter sua potência ajustada para equipar diferentes tipos de aeronaves. Esta flexibilidade é sempre importante para o operador, já que manter motores sobressalentes tem fortes impactos em amortizações e custos de manutenção, tornando-se necessário considerar tais fatores na determinação e composição de uma frota.

Neste contexto, o relacionamento entre o operador e o fabricante de motores aeronáuticos, muitas vezes, pode ser objeto de importantes decisivas e negociações.

## **2.7. Aerodinâmica**

A eficiência aerodinâmica de uma aeronave é também um somatório que considera fatores como: a relação entre a sustentação aerodinâmica produzida a uma dada velocidade e ângulo de ataque e o respectivo arrasto  $L/D$  (*Lift/Drag*); a geometria

da aeronave, os perfis de aerofólios empregados nas asas e empenagem; o ângulo de enflexamento e ataque das asas; a seção transversal da fuselagem; a configuração e localização dos motores.

## **2.8. Estruturas**

Aeronaves comerciais são construídas em Alumínio Aeronáutico, ligas de Aço, Titânio e outros. O emprego de materiais compósitos como fibras de vidro, fibras de carbono, *kevlar* e outros, vem reduzindo significativamente o peso estrutural das aeronaves modernas.

No que diz respeito à eficiência estrutural, um parâmetro importante é a razão entre o peso operacional e o peso máximo de decolagem PBO/PMD que, segundo (LEE, 2000), “é a medida de quão leve uma aeronave pode ser para levantar a carga-paga, o combustível, e seu peso estrutural”. Outro aspecto importante é o fator de carga que a aeronave pode suportar em manobras. Segundo as regras internacionais, aeronaves comerciais podem ser submetidas à aprox. 2,5g positivos e 1,5g negativo, isto é, realizar manobras que produzam acelerações desta ordem. Aeronaves experimentais, por exemplo, têm que demonstrar resistência mecânica capaz de suportar acelerações da ordem de até 6g positivos e 3g negativos. Já aeronaves militares de caça podem suportar manobras que produzam acelerações ainda maiores.

## **2.9. Custo operacional**

Classificando os custos de uma empresa aérea conforme o grau de controle sobre estes, exercido por parte da administração, (DOGANIS, 2001) afirma que os custos do

tipo e características das aeronaves utilizadas e a estrutura de rotas são fatores que têm razoável grau de controlabilidade por parte da administração, enquanto outros como: marketing; política de produto; política financeira e estratégia corporativa estão totalmente a critério da organização. Os três principais determinantes dos custos sobre os quais a empresa aérea tem considerável controle são então os custos com pessoal, o tipo de aeronave e o padrão de suas operações.

Nota: No presente trabalho abordou-se o processo de seleção de aeronaves, entendendo que este tipo de decisão tem impactos diretos nos custos totais de operação.

Ainda conforme o mesmo autor, os custos em operações de vôo representam a maior componente dos custos operacionais totais. Estes incluem todos os custos associados às tripulações técnicas e de cabine bem como os salários, viagens de posicionamento, estadias em hotéis, pensões seguros e outros. Os custos com tripulações podem ser diretamente calculados com base em cada rota operada, porém, estes são usualmente expressos com base nos custos horários de um tipo de aeronave. Assim sendo, os custos totais com tripulações para uma dada rota ou serviço podem ser calculados multiplicando-se o custo horário da tripulação pelo tempo de operação (calço a calço) ou tempo de bloco (*Block Time*) da operação.

O segundo maior componente dos custos operacionais se refere ao combustível consumido. Este varia com a distância da etapa voada, o peso da aeronave, condições de vento na rota, altitude de cruzeiro e outros. Assim, o consumo de combustível tende a ser relativo ao custo horário da aeronave e é normal considerar-se este com base no tempo de operação em cada rota. (DOGANIS, 2001).

A distribuição dos custos operacionais de grandes empresas aéreas norte americanas com serviços regulares pode ser observada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Distribuição dos Custos Operacionais  
Fonte: (ICAO *in* DOGANIS, 2001).

<b>Distribuição dos Custos Operacionais (Serviços Regulares) ICAO</b>	<b>1978</b>	<b>1983</b>	<b>1988</b>	<b>Média 78-88</b>
<b>Custos Operacionais Diretos (DOC)</b>	%			
1 - Operações de Vôo	<b>35,2</b>	<b>39,1</b>	<b>31,1</b>	<b>35,1</b>
Salários de Tripulantes Técnicos	8,5	7,1	6,8	7,5
Combustível e Lubrificantes	18,4	24,5	14,5	19,1
Taxas Aeroportuárias e de Navegação	5,2	4,8	5,2	5,1
Seguros e Aluguéis de Aeronaves	3,1	2,7	4,6	3,5
2 - Manutenção	<b>12,3</b>	<b>10</b>	<b>11,5</b>	<b>11,3</b>
3 - Depreciação e Amortização	<b>7,9</b>	<b>7,2</b>	<b>7,8</b>	<b>7,6</b>
TOTAL (DOC)	<b>55,4</b>	<b>56,3</b>	<b>50,4</b>	<b>54,0</b>
<b>Custos Operacionais Indiretos (IOC)</b>	%			
4 - Despesas com Bases em terra	<b>12,6</b>	<b>11,1</b>	<b>12,6</b>	<b>12,1</b>
5 - Serviços ao Passageiro	<b>10,1</b>	<b>9,2</b>	<b>10,5</b>	<b>9,9</b>
6 - Emissão, vendas e promoções	<b>15,5</b>	<b>16,4</b>	<b>17,6</b>	<b>16,5</b>
7 - Despesas Administrativas	<b>6,4</b>	<b>7</b>	<b>8,9</b>	<b>7,4</b>
TOTAL (IOC)	<b>44,6</b>	<b>43,7</b>	<b>49,6</b>	<b>46,0</b>

Fonte: ICAO (1990).

“Os custos indiretos de uma operação podem ser assumidos como constantes, desde que estes não são afetados pelo tipo de aeronave utilizada. Sendo assim, a avaliação de uma nova aeronave ou a comparação entre diferentes tipos pode então ser baseada em análise dos custos operacionais diretos.” (DOGANIS, 2001).

Considerando os dados dos anuários do transporte aéreo com a estrutura de custos declarada pelas empresas aéreas brasileiras do segmento doméstico em 2001, verificou-se que os aspectos relacionados com o tipo de aeronave empregado, que têm impactos diretos nos custos com pessoal, combustível, depreciação e seguro de equipamentos e tarifas aeroportuárias, podem representar mais de 42% dos custos totais das empresas consideradas.

Segundo (DOGANIS, 2001), com relação aos fatores que afetam os custos operacionais, em função de seu grau de “controlabilidade” por parte da administração, fatores econômicos externos têm baixo grau de controle. Nestes estão incluídos os

níveis salariais, preços do combustível, taxas aeroportuárias e de navegação. Os níveis e padrões de demanda estão além do controle e são determinados por fatores econômicos e geográficos. O autor informa ainda que a localização geográfica de uma empresa aérea, sua base operacional e a densidade do tráfego nas rotas são fatores que influenciam fortemente o tipo de aeronave requerida e a rede de transportes associada. Além disso, o tipo de aeronave utilizado pode, em alguns momentos, estar totalmente sob o controle da administração.

## 2.10. Indicadores do setor

Alguns dos principais parâmetros que são objeto de estudo do setor podem ser observados, com base nos dados do anuário do transporte aéreo. O gráfico da Figura 2.6 mostra a evolução do tráfego doméstico de passageiros no período de 1990 a 2002.

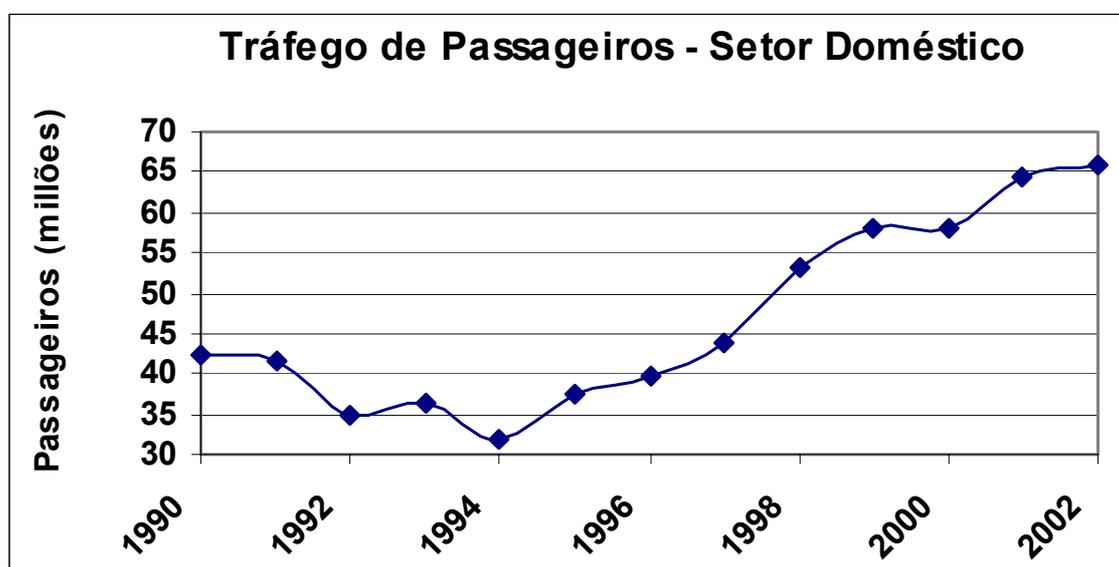


Figura 2.6 – Tráfego de Passageiros – Setor Doméstico.  
Fonte: Anuários do Transporte Aéreo (Dados Econômicos).

Da mesma fonte, obtiveram-se os níveis de atividade da indústria nacional nos últimos anos.

Tabela 2.2 – Indústria Segmento Doméstico  
 Fonte: Anuários do Transporte Aéreo (Dados Econômicos).

<b>INDÚSTRIA SEGMENTO DOMÉSTICO</b>				
	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>MÉDIAS</b>
Horas Voadas	706179	742354	716666	721733
Dist. Voada (km)	404294663	420115305	404073821	409494596
Ass. Km oferecido (x1000)	41562143	45313616	47013166	44629642
Ass. Km pago (x1000)	20493072	26527419	26711136	24577209
Aproveit. Pago (%)	49	59	57	55
<b>Carga</b>				
Ton. Km oferecido(x1000)	4999088412	5487514237	5669917389	5385506679
Ton. Km util pago(x1000)	2432661663	3169588774	3159797712	2920682716
Aproveit. Pago	49	58	56	54
Bag Transportada (kg)	259072196	343516669	343687352	315425406
Bag Transportada Paga	23871385	8742744	3895251	12169793
Carga Transportada	591429342	760789581	748218102	700145675
Carga Transportada Paga	580217782	754331212	742650656	692399883
Correio	56391344	53985287	46174786	52183806
Pax Transp.	28995282	31139700	31528561	30554514
Pax Transp. Pago	28016184	29885764	30137835	29346594
<b>Etapas Realizadas</b>				
Etapa Média de Vôo	662716	689425	643554	665232
Etapa Média de Vôo Pax	610	609	628	616
Etapa Média de Vôo Pax	732	890	892	838
Cons. De Combustível (l)	1972660804	2298227500	3086439440	2452442581

Com os dados da Tabela 2.2, é possível fazer uma análise do desempenho global do Sistema de Transporte Aéreo Brasileiro no período, para avaliar, por exemplo, parâmetros de desempenho operacional, tais como: os níveis de horas voadas; a distância voada; a velocidade média; o consumo de combustível; a eficiência energética, representada pela razão (distância voada / consumo de combustível); e finalmente, o aproveitamento dos vôos.

O gráfico da Figura 2.7 apresenta a variação destes parâmetros para o triênio.

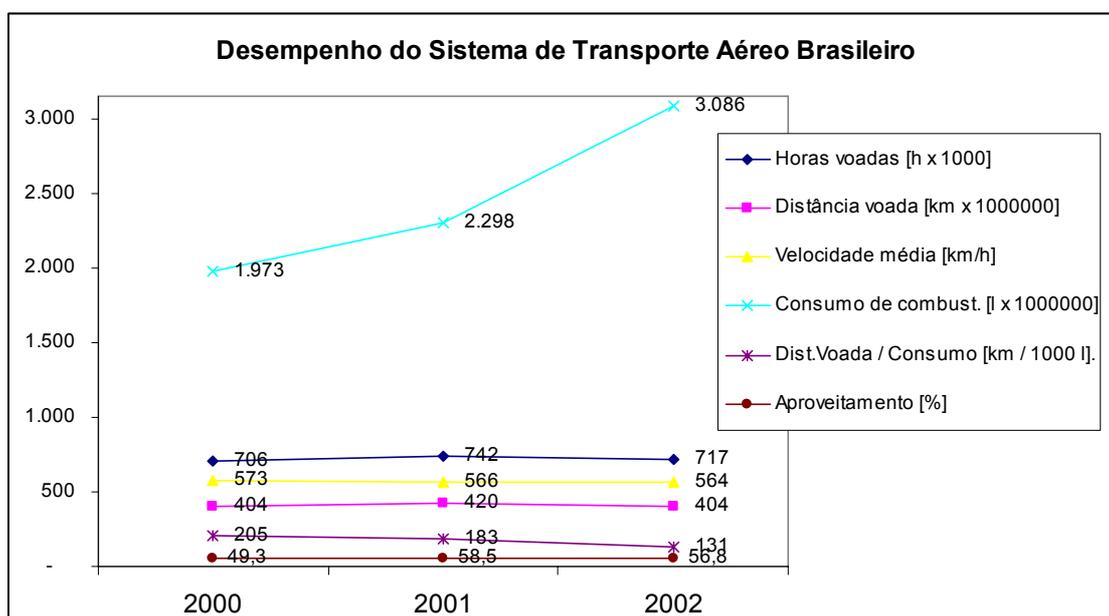


Figura 2.7 – Eficiência do Sistema de Transporte Aéreo Brasileiro – Fonte: Anuários Estatísticos; Compilado pelo autor.

Com base nos dados analisados, verificou-se que o consumo de combustível vem aumentando significativamente, ao passo que as horas e distâncias voadas têm se mantido em suas faixas nos anos analisados. A velocidade média decresce enquanto o aproveitamento no setor de passageiros vem crescendo timidamente.

Mesmo sem considerar as variações na frota existente, pelo crescimento do consumo de combustível no período, é possível observar que a frota nacional vem sendo empregada de forma inadequada. Com base nestes dados, um alerta precisaria ser dado no que diz respeito à questão econômica, mas também com relação aos níveis de emissões de poluentes decorrentes de uma má utilização da frota existente no país, refletindo uma baixa eficiência energética para o setor.

### 2.10.1. Recordes de faturamento e custo unitário

O transporte aéreo registra também os seus “Recordes”. Mesmo nos difíceis períodos atuais, novas empresas invadem os mercados desafiando, com baixas tarifas, as grandes organizações tradicionais. O modelo de empresa de baixo custo e baixa tarifa, o chamado *low cost / low fare*, surge como um desafio/oportunidade para os empresários do setor. Segundo um periódico do mundo dos negócios, a revista *Management*, “... Enquanto gigantes do setor faturaram em 2003: US\$ 17,4 bilhão (*American Airlines* com 4200 vôos por dia para 250 destinos em 40 países); US\$ 13,7 bilhão (*United Airlines*); e 13,3 Bilhão (*Delta Airlines*)”, uma empresa considerada de baixo custo e tarifas a *JetBlue* declarou um faturamento de US\$ 1 bilhão no mesmo período. Ainda segundo a mesma publicação, a *JetBlue* desfila um custo unitário de pouco mais de US\$ 0,60 por cada assento.milha, como sendo a melhor marca do setor nos últimos tempos. Trata-se de uma empresa dita “enxuta” com 6000 funcionários e frota de 57 aeronaves do tipo Boeing 737 operando 220 vôos diários para 23 destinos nos Estados Unidos. (*Management*, n.46, 2004).

Outro importante número a ser considerado é o fator de ocupação das aeronaves, o chamado *Load Factor*. Com números da ordem de 55% de ocupação nas empresas nacionais, vide Tabela 2.2, acredita-se que as empresas não podem se dar ao luxo de subutilizar suas aeronaves. Por outro lado, é preciso estabelecer uma programação de vôos que mantenha as aeronaves voando a maior parte do tempo disponível. Taxas de utilização da ordem de 9 a 10 horas por dia são boas marcas, considerando-se redes domésticas, enquanto que taxas de 14 horas/dia podem ser obtidas em redes de longa distância ou internacionais. Em síntese, o que se quer é obter a programação de vôos que oferece o maior lucro operacional.

### **3. ASPECTOS OPERACIONAIS DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE AÉREO**

O estabelecimento do modelo de seleção de aeronaves leva em conta uma série de características tecnológicas e econômicas, a fim de realizar uma análise comparativa entre tipos de aeronaves, de forma a identificar as relações entre desempenho e custos, conforme a missão a ser cumprida.

Tendo em vista as operações de vôo de uma companhia de transportes, já foi visto que é importante monitorar a capacidade de transportes (oferta) de uma frota ao longo do tempo. Para isto é necessário estabelecer alguns métodos empregados em um ambiente típico de operações de vôo. A seguir, são apresentados alguns dos principais métodos utilizados para o cálculo do disponível de transporte em um determinado vôo e pode ser observado que este cálculo requer o conhecimento de uma série de aspectos e variáveis envolvidos.

#### **3.1. Determinação do peso disponível para transporte**

Nem sempre é possível utilizar a capacidade máxima ou nominal de uma aeronave. Normalmente, a capacidade prática de um vôo só é obtida após serem considerados os parâmetros da operação como um todo. Fatores como: pesos máximos de decolagem e pouso, o abastecimento requerido, o combustível que será queimado na etapa, a resistência do pavimento das pistas e pátios e ainda fatores atmosféricos no momento da operação, precisam ser considerados num balanço, onde o menor dos limitantes será o máximo da operação.

A escolha do aeroporto de alternativa para um determinado vôo, por exemplo, é uma decisão que influencia diretamente a quantidade de combustível no momento da decolagem, afetando assim, o disponível para o transporte. Esta decisão é tomada com alguns critérios como: previsões meteorológicas; infra-estrutura existente nos aeroportos; conveniência em termos da continuação do vôo e conexões da rede etc.

Segundo (MEDEIROS e ROCHA, 1980), para a determinação da carga-paga disponível, designada simplesmente por Disponível – (DISP), deve-se partir do peso máximo de pouso PMP obtido das análises de pouso, somar-se o combustível a ser consumido na etapa (*TIF-Trip Fuel*) para se obter o peso máximo de decolagem limitado pelo pouso  $PMD_{PMP}$ . Obter das análises de decolagem, o peso máximo de decolagem  $PMD_{PERF}$ . Somar ao peso máximo zero combustível PMZC o combustível à decolagem (TOF) e, observando-se os pesos máximos de projeto, selecionar o menor destes como sendo o limitante da operação. Deste subtrai-se o combustível à decolagem ou (*TOF-Takeoff Fuel*) e temos o peso atual zero combustível PAZC. Finalmente, deste subtrai-se o peso básico operacional PBO, e então temos a carga-paga máxima do vôo. Uma seqüência simplificada pode ser vista na Figura 3.1.

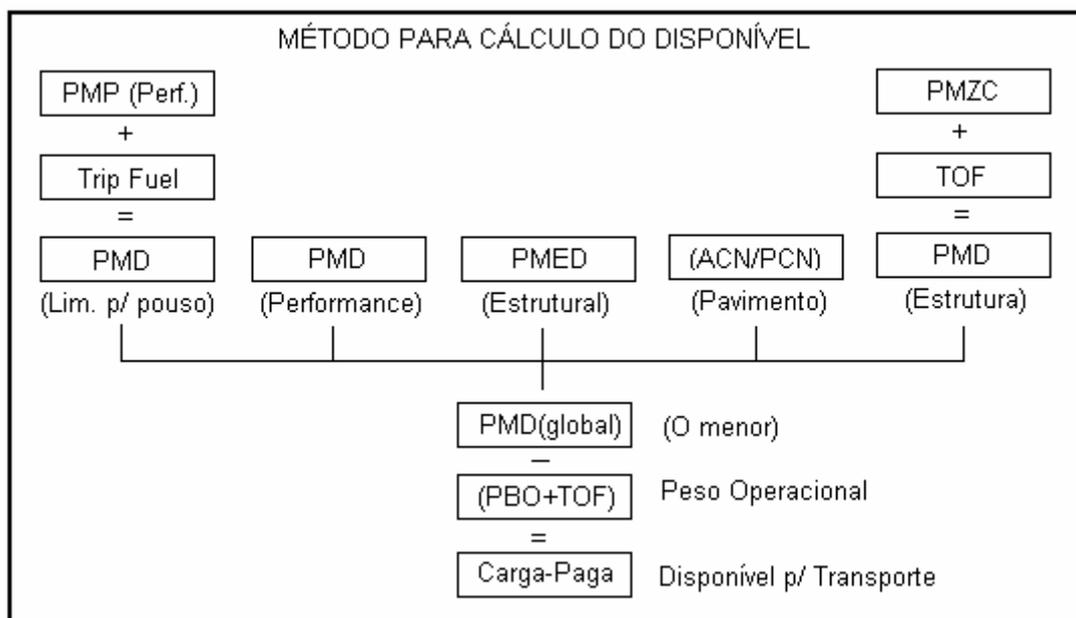


Figura 3.1 – Esquema para cálculo do Disponível.  
 Extraído de apostila do *Operations Engineering Course* (EMBRAER, 2002).  
 Compilado e adaptado pelo autor.

Tendo em vista as características das pistas e infra-estrutura aeronáutica nacional, acredita-se que especial atenção deve ser dedicada às questões envolvendo as características de desempenho das aeronaves no dimensionamento da oferta de transportes, por entender que estas questões se situam no início da cadeia produtiva do setor.

### 3.2. Estrutura e interfaces do sistema

A estrutura do modelo proposto e seu detalhamento são apresentados no capítulo 4. Para “localizar” o processo de seleção de aeronaves dentro da uma organização de transporte aéreo é sugerido o seguinte diagrama de fluxo de dados entre os principais departamentos envolvidos e seus principais atributos, no que concerne ao planejamento das operações com a frota.

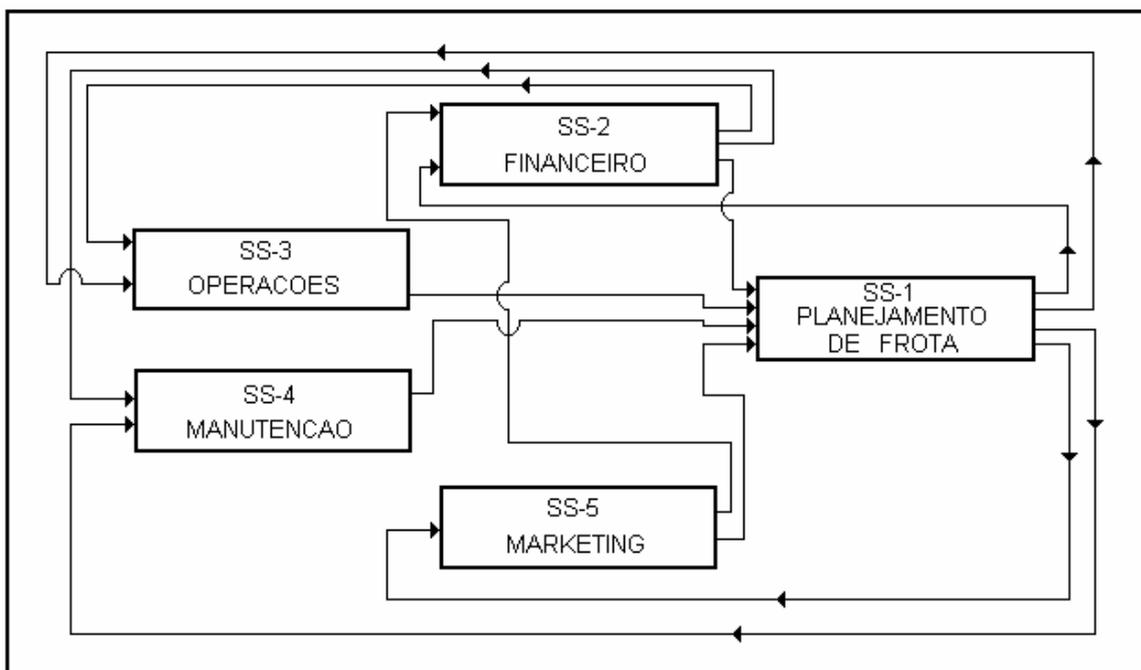


Figura 3.2 – O Planejamento de Frota na Estrutura de uma Empresa de Transporte Aéreo. Desenhado pelo autor.

O setor de Planejamento de Frota é responsável pela composição e gestão desta, com vistas a uma determinada rede de transportes associada.

Segundo (PEREIRA, 2003) Os atributos de saída de um determinado setor ou subsistema que, eventualmente, se tornam entradas de outro subsistema formam as chamadas interfaces de estrangimento como superfícies de contato entre estes. O estabelecimento destas interfaces serve para moldar a estrutura e escolher os atributos mensuráveis pertinentes ao objetivo para o qual o sistema é desenvolvido. Estas

interfaces podem ser representadas matematicamente através das equações de constrangimento, revelando as estruturas e os diferentes aspectos das interações do sistema, fazendo parte do seu modelo matemático. A Tabela 3.1 apresenta as principais interfaces que envolvem o setor e os principais atributos referentes a estes departamentos.

Tabela 3.1 – Atributos e Interfaces do Planejamento de Frota. Compilado pelo autor.

<b>INTERFACES DO PLANEJAMENTO DE FROTA COM OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO</b>	
<b>Planejamento de Frota</b>	
<b>Atributos de Entrada:</b>	<b>Atributos de Saída:</b>
Dados quantitativos da frota Desempenho da Frota (Tipo x Etapa) Demanda por trecho Programas de manutenção das aeronaves Infra-estrutura das bases (aeroportos) Passageiros transportados (Fator de Ocupação) Lucratividade e custos operacionais Política de marketing Composição e Alocação futura da frota	Programação de Vôos (Oferta) Diretrizes da malha (modificações etc.) Diretrizes da frota (modificações etc.) Diretrizes comerciais Diretrizes financeiras
<b>Operações de Vôo</b>	
<b>Atributos de Entrada:</b>	<b>Atributos de Saída:</b>
Programas de manutenção de aeronaves Diretrizes da malha (modificações etc.).  Infra-estrutura das bases e aeroportos Boletins de serviço	Desempenho da frota (de pista e em rota) Recomendações e normas técnicas de operação Composição e Alocação futura da frota Dados de operação (livro de bordo) Dados quantitativos da frota
<b>Manutenção</b>	
<b>Atributos de Entrada:</b>	<b>Atributos de Saída:</b>
Dados quantitativos da frota Recomendações e normas técnicas de operação	Pedidos de partes, peças, serviços etc. Programação de manutenção de aeronaves  Dados de operação (Livro de bordo) Boletins de serviço

Os demais departamentos da empresa, Financeiro, Operações, Manutenção e Marketing, não serão objetos deste trabalho, porém, os departamentos de Operações e Manutenção apresentam importantes interfaces com o Planejamento de Frota que devem ser consideradas.

O Departamento de Operações de Vôo tem, normalmente, as funções de estabelecer os procedimentos operacionais, gerar as análises e dados de desempenho das aeronaves, realizar análises de viabilidade técnica para alocação e modernização da

frota e atuar junto aos órgãos de homologação e certificação, representando a organização. Este departamento possui grande interface com o Planejamento de Frota, pois é neste que são realizadas as análises de desempenho (Performance) dos tipos de aeronaves. Tais análises serão detalhadas oportunamente bem como seus principais atributos.

O setor de manutenção também possui importante interface com o Planejamento de Frota, porém, este estudo se restringe a estabelecer apenas alguns de seus atributos.

### **3.3. Operações de vôo (análises)**

Observaram-se na indústria, que juntamente com a aeronave, o fabricante disponibiliza ao operador, uma série de manuais técnicos de operação e manutenção, bem como programas de desempenho de pista, desempenho em rota, de peso e balanceamento, monitoramento de desempenho etc. Fica estabelecida, então, uma interface entre o fabricante da aeronave e o operador onde um fluxo de dados e informações de natureza técnica tem passagem. A seguir, apresenta-se uma breve descrição dos principais *softwares* utilizados nas diversas análises do dia-a-dia de um departamento de engenharia de operações de vôo:

- Programa de Desempenho de Pista (*Runway Analysis Software*) – Utilizado para estabelecer os pesos máximos de decolagem e de pouso para cada pista onde se pretende operar, este programa considera as características da aeronave e calcula os pesos em função de: comprimento disponível da pista para a operação; características do pavimento; declividade ou gradiente da pista; elevação do

aeródromo; presença de obstáculos no alinhamento da pista, posição dos *flaps*, temperatura e outros.

Obs.: Para fazer uso destes programas, o operador precisa construir um banco de dados de aeroportos e pistas, a fim de produzir seu manual de análises de pistas, contemplando todas as pistas dos aeródromos de destino e de alternativa. Tais dados são, normalmente, obtidos a partir da consulta das fontes oficiais (AIP, ROTAER e outros).

- Programa de Análise de Rotas (*Route Analysis Software* ou *Flight Planning*) – Este programa tem como entrada os dados obtidos nas análises de pista e, considerando as distâncias da etapa e o consumo da aeronave em cada fase do voo, calcula o combustível requerido para a missão, definindo também a carga-paga máxima que poderá ser transportada (Disponível).

Obs.: Um banco de dados, com as características das ligações da rede de transportes, é requerido para utilização deste programa, bem como dados de navegação aérea e restrições do espaço aéreo envolvido.

- Programa de Peso e Balanceamento (*Weight and Balance Software*) - Utilizado para estabelecer a posição do C.G. (Centro de Gravidade) do avião, durante as fases da operação e indicar o ajuste do estabilizador a ser usado na decolagem. Este programa indica a melhor situação para efeito de consumo de combustível e estabilidade. É alimentado por dados de atendimento de passageiros (demanda) e do carregamento da aeronave, para considerar os efeitos da distribuição dos passageiros, bagagem, cargas e correio embarcado.

- Programa de Monitoramento de Desempenho (*Aircraft Performance Monitoring*) – Este programa é utilizado para estabelecer o fator de degradação de cada aeronave da frota para efeitos de planejamento de voo e acompanhamento da vida útil dos motores. O programa faz uma comparação entre os dados de consumo real (livro de bordo) e os dados de consumo teórico (manuais do fabricante). Isto é necessário porque à medida que a aeronave realiza seus ciclos de operação, seu desempenho se degrada. Os motores apresentam aumento de consumo, enquanto a fuselagem apresenta deformações que aumentam o arrasto total da aeronave. Este fator também pode ser visto como um indicativo da idade da aeronave.

A integração dos sistemas anteriormente descritos produz grande massa de dados técnico-operacionais que são utilizados pelos tripulantes técnicos, despachantes operacionais de voo, balanceadores e demais técnicos envolvidos em operações de voo.

### **3.3.1. O despacho de um voo**

O profissional diretamente engajado no despacho de um voo é o Despachante Operacional de Voo – DOV ou o *Flight Operations Officer* – FOO. Tido como um tripulante técnico não embarcado, é quem planeja o voo assumindo os aspectos logísticos da operação local como um todo.

Horas antes da apresentação dos tripulantes técnicos no aeroporto, o DOV é quem determina o combustível necessário para o cumprimento da missão, o peso da aeronave no momento da decolagem e pouso, bem como a distribuição das cargas nos porões da aeronave, o tempo de voo. Reúne dados das condições meteorológicas no destino e alternativas bem como a situação das facilidades de navegação aérea e a infra-

estrutura aeroportuária disponível, dando suporte aos tripulantes técnicos, segundo as regras e procedimentos estabelecidos pela ICAO – *International Civil Aviation Organization* e IATA – *International Aviation Transport Association*. O DOV visa sempre à segurança e eficácia do voo, sendo habilitado em cada tipo de aeronave através de um treinamento específico denominado *Ground School*.

Hoje em dia com as facilidades de comunicações e informática, este trabalho vem sendo feito de forma remota, com as documentações dos voos que trazem as características peculiares da missão, sendo enviadas ao piloto através de mensagens tipo Telex, e-mail etc. Também o balanceamento é feito de forma “mecanizada”. A tendência da automação dos procedimentos reduziu, significativamente, os quadros de DOVs nas empresas aéreas em geral, concentrando estes profissionais em grandes centros de despacho de voo, de onde são enviadas todas as documentações de voo.

### **3.4. O desempenho da aeronave na missão (capacidade prática)**

O desempenho de uma aeronave é o resultado da combinação do seu desempenho na decolagem, no pouso e em voo. Considera-se por missão, ligar motores, taxiar e decolar do aeródromo de origem, transportar a carga-paga até o aeródromo de destino e nele pousar cumprindo com as regras de autonomia mínima requerida.

O desempenho em voo pode ser traduzido pela combinação do alcance com a velocidade e o consumo de combustível. Finalmente, o desempenho global da aeronave na missão, se traduz na carga-paga máxima disponível para o transporte, o consumo de combustível e o tempo da viagem.

Outros aspectos precisam ser levados em conta. O grau de “despachabilidade” da aeronave, representado pelo percentual de voos atrasados ou cancelados por falhas

apresentadas, e também aspectos de similaridade com a frota existente. Este, se traduz no número de partes e peças em comum ou mesmo características de operação, tais como programas de treinamento de pilotos, mecânicos e outros técnicos, que podem ser “compartilhados” entre diferentes tipos de aeronaves, minimizando assim os custos totais de operação relativos a determinado tipo de aeronave. Surge aí o conceito de família de aeronaves, já adotado pela indústria, como é o caso da Airbus e, mais recentemente, da Embraer.

Com os dados do manual de voo, o AFM - *Airplane Flight Manual*, do manual de operações OM - *Operations Manual*, e de desempenho e planejamento de voo, o FPPM - *Flight Planning and Performance Manual* ou SPM - *Supplementary Performance Manual*, publicados pelos fabricantes, o operador tem acesso aos dados de desempenho das aeronaves. Tais documentos indicam, através de diagramas, nomogramas e tabelas, os pesos máximos, tempos de voo e consumo para cada fase da operação, demonstrando o que a aeronave é capaz de fazer.

#### **3.4.1. Desempenho de decolagem e pouso**

A decolagem é um momento “mágico”. Uma decisão importante que requer total atenção do piloto, já que decolar é opcional enquanto pousar é sempre obrigatório.

Como já foi mencionado, o programa de análises de pistas fornece o peso máximo de decolagem limitado pelas características físicas da pista, em função de entradas como: *TORA – Takeoff Runway Available*; a declividade ou gradiente da pista - *slope*, a componente de ventos no momento da decolagem, posição dos *flaps*, a presença de obstáculos na trajetória de decolagem, a temperatura e elevação de aeródromo etc. Em seguida é necessário verificar o peso máximo limitado pela subida o *Climb Limited*

*Weight*, que é função da temperatura e da elevação do aeródromo. O menor destes pesos será então o limitante da decolagem. Existem ainda outras limitações a serem consideradas tais como o peso máximo de decolagem limitado pelo pouso, que é a soma do peso máximo de pouso no destino com o peso do combustível que será queimado na etapa.

As velocidades de decolagem, por exemplo, têm que estar dentro de uma faixa de operação para a determinada condição e a técnica empregada na decolagem.

O sistema de freios, por sua vez, apresenta uma capacidade limitada de absorção de energia e, conseqüentemente, uma velocidade e peso máximo para ser empregado com segurança. Os pneus têm sua velocidade máxima publicada pelo fabricante etc.

Sendo assim, cada decolagem apresenta condições próprias e a operação em condições adversas limitará sempre a capacidade máxima de transporte.

No pouso, a situação é semelhante à decolagem, uma série de limitantes deve ser considerada.

### **3.4.2. Desempenho em rota (plano de vôo)**

Nesta fase da operação considera-se os pesos de decolagem e pouso e, como já foi mencionado anteriormente, o programa de planejamento de vôo fornece o abastecimento de combustível requerido para a missão e os tempos de vôo considerando os regimes de velocidades na subida, em cruzeiro, regime de vôo para alternativa, o regime de espera e as reservas de combustível e considerando ainda as condições meteorológicas previstas para o vôo. A Figura 3.3 ilustra a seqüência e as fases de um vôo, no que concerne a questões de autonomia mínima requerida.

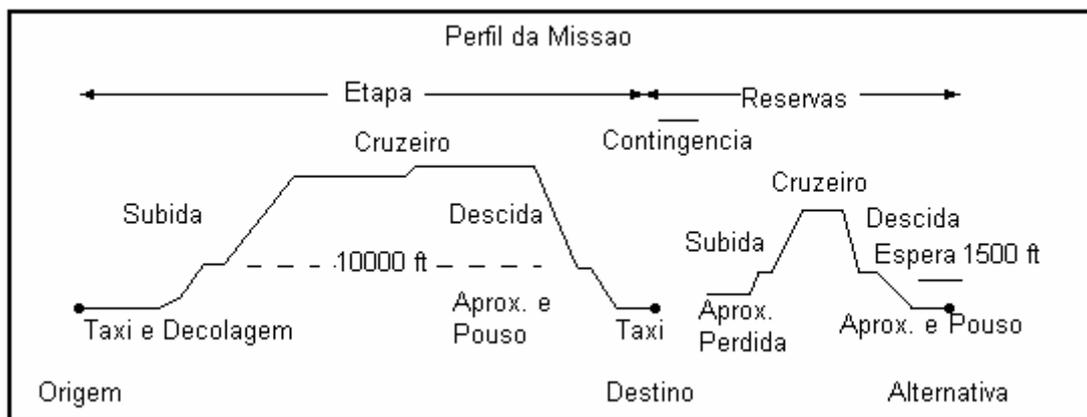


Figura 3.3 – Perfil de uma missão. (Etapa + Reservas).

Conforme o Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica, verifica-se que, de forma resumida, uma aeronave a jato, engajada no transporte regular não deverá ser despachada a menos que tenha o combustível suficiente para cobrir o tempo de vôo do ponto de partida ao destino, considerando-se a decolagem, subida, cruzeiro, aproximação e pouso no destino, mais 10% deste tempo de vôo, mais o tempo de vôo para voar do destino até a alternativa, em regime de longo alcance (*long range cruise*<sup>6</sup>), considerando-se a arremetida<sup>7</sup>, subida, cruzeiro, aproximação e pouso no aeródromo de alternativa e mais 30 minutos de vôo (*holding*) a 1500 pés sobre o aeroporto de alternativa em regime de máxima autonomia (*maximum endurance*<sup>8</sup>). Para estes cálculos deverão ser levados em consideração os ventos e condições meteorológicas da rota, destino e alternativas.

Ao calcular o combustível requerido, se deverá ter em conta, também, a perda de altitude causada pela falha de um dos motores, o chamado *drift down* e considerar ainda: o prognóstico de ventos e as condições meteorológicas ao longo da rota planejada no nível de vôo apropriado com um motor inoperante durante a aproximação

<sup>6</sup> *long range cruise*: é a condição de vôo que se obtém a maior distância percorrida para um determinado combustível, ou o menor consumo por distância percorrida.

<sup>7</sup> Arremetida: é um pouso não realizado devido a uma aproximação frustrada. Depois de uma arremetida pode ser realizada uma nova aproximação ou o vôo prossegue para a alternativa.

e pouso; qualquer operação necessária dos sistemas de proteção contra formação de gelo nas superfícies de comando; qualquer operação necessária do *APU - Auxiliar Power Unit*<sup>9</sup>; a perda de pressão e ar condicionado do avião; voar a um nível de vôo que permita cumprir os requerimentos de oxigênio no caso de depressurização da cabine; a aproximação seguida de uma arremetida e uma subsequente aproximação e pouso; além de restrições impostas por regras de tráfego aéreo (ATC). Deverá cumprir estritamente com as limitações de manutenção e de operação, impostas pela lista de equipamento mínimo *MEL - Minimum Equipment List* onde constam os diversos sistemas instalados na aeronave e requeridos pela operação. As facilidades de comunicações estejam disponíveis para proporcionar, em condições normais de propagação a uma altura de cruzeiro normal e com um motor inoperante, comunicação plena entre o avião e a unidade ATC - *Air Traffic Control* na rota. Os auxílios-radio<sup>10</sup> deverão estar disponíveis e localizados para proporcionar a exatidão necessária à navegação para a rota planificada.

### **3.5. Tipos de aeronaves e missões**

Para prosseguir nesta análise, é necessário estabelecer os diferentes tipos de aeronaves empregadas no transporte de passageiros, bem como os diferentes tipos de missões (etapas) que caracterizam a rede do transporte aéreo nacional.

Aeronaves são, normalmente, divididas em grupos conforme sua capacidade de transporte, alcance e quantidade de motores. Neste trabalho consideraram-se aeronaves

---

<sup>8</sup> *Maximum endurance*: é a condição de vôo em que se obtém o maior tempo de vôo para um determinado combustível, ou menor consumo por tempo. Utilizado para espera (*holding*).

<sup>9</sup> APU é uma pequena turbina localizada, geralmente na cauda do avião, destinada a fornecer força elétrica, pneumática e hidráulica aos sistemas da aeronave durante aproximação, pouso, no solo e na decolagem.

<sup>10</sup> Auxílios-radio são estações radio localizadas em terra que emitem sinais aos equipamentos de navegação a bordo, orientando a navegação.

de asa fixa a jato, equipadas com motores *turbofan*, conforme a classificação internacional apresentada na Tabela 3.2.

Com relação ao tipo de missão ou etapa a ser cumprida pela aeronave, conforme (LEE, 2000), uma etapa de 1000 milhas náuticas (1 nm = 1,852 km) é um divisor entre etapas de curto e longo alcance. Além disso, observa-se que a maioria das aeronaves de curto alcance tem menos de 150 lugares enquanto as de longo alcance têm 150 ou mais lugares. Naquele trabalho, o autor estabelece três valores-base (913, 2.227 e 4.267 milhas náuticas) para as distâncias das diferentes etapas da rede de transporte aéreo dos Estados Unidos. Ainda conforme Lee, geralmente, jatos de fuselagem estreita com dois motores (*two-engine/narrow body jets*) são aeronaves de curto alcance enquanto jatos de fuselagem larga com 3 ou 4 motores (*three or four-engine/wide body jets*) são aeronaves de longo alcance. Uma exceção a esta regra é o caso do B-777, equipado com dois motores que produzem mais tração do que os convencionais quadri-motores existentes. A Tabela 3.2 apresenta uma classificação de aeronaves.

Tabela 3.2 – Tipos de Aeronaves.  
Fonte: FAA – BTS *Form-41*.

<b>Tipo de Aeronave</b>	<b>N. de Motores</b>	<b>N. de Assentos</b>
Jatos regionais (Curto alcance)	2	40 a 59
Jatos regionais (Curto alcance)	2	acima de 59
Jatos de fuselagem estreita (Médio Alcance)	2, 3 ou 4	assentos
Jatos de fuselagem larga (Longo Alcance)	2, 3 ou 4	

No presente trabalho, foi realizada uma pesquisa de opinião entre os especialistas do setor, para estabelecer os valores-base das distâncias das diferentes etapas da rede nacional de transporte aéreo, considerando aeronaves a jato de dois reatores com capacidades entre 50 e 150 assentos. Com o resultado da pesquisa foi possível estabelecer os seguintes valores-base: (etapa curta = 336 nm, média = 689 nm e longa = 1279 nm).

A Tabela 3.3 apresenta algumas das principais aeronaves em suas configurações mais utilizadas pelas 10 maiores transportadoras norte-americanas, em ordem crescente de etapa média utilizada, classificando-as como aeronaves de curto e longo alcance segundo o FAA.

Tabela 3.3 – Classificação dos Tipos de Aeronaves (alcance).  
 Fonte: *The Airline Pride Guide*, FAA (HOFFER *et al.*, 1998) e USDOT.  
 (FAA-BTS *Form 41 in LEE*, 2000). Compilado pelo autor.

<b>Código Form 41</b>	<b>Tipo de Aeronave</b>	<b>Entrada em serviço</b>	<b>No. de Motores</b>	<b>Tipo de Fuselagem</b>	<b>No. Assentos</b>	<b>Etapa Média</b>	<b>Classificação</b>
6501	DC-9-50	1976	2	Estreita	122	452	Curto alcance
6201	B-737-100/200	1967	2	Estreita	106	457	Curto alcance
6451	DC-40	1968	2	Estreita	109	491	Curto alcance
6161	B-737-500/600	1990	2	Estreita	113	536	Curto alcance
6191	B-737-300	1984	2	Estreita	132	601	Curto alcance
6171	B-737-400	1988	2	Estreita	144	630	Curto alcance
7151	B-727-200/231A	1967	3	Estreita	138	706	Curto alcance
6551	MD-80/DC-9-80	1980	2	Estreita	141	736	Curto alcance
6941	A320-100/200	1988	2	Estreita	148	1054	Curto alcance
<hr/>							
6221	B-757-200	1984	2	Estreita	186	1137	Longo alcance
6911	A300-600	1984	2	Larga	262	1228	Longo alcance
7601	L1011-100/200	1973	3	Larga	271	1409	Longo alcance
6251	B-767-200	1983	2	Larga	190	2087	Longo alcance
6261	B-767-300	1987	2	Larga	228	2187	Longo alcance
6931	A310-300	1986	2	Larga	193	2605	Longo alcance
6271	B-777	1995	2	Larga	291	2725	Longo alcance
7651	L1011-500Tristar	1979	3	Larga	230	2954	Longo alcance
7321	DC-10-30	1972	3	Larga	268	3000	Longo alcance
8171	B-747-200/300	1970	4	Larga	380	3794	Longo alcance
7401	MD-11	1990	3	Larga	254	3895	Longo alcance
8191	B-747-400	1989	4	Larga	398	4603	Longo alcance

No estabelecimento da missão são definidas as distâncias da etapa (Origem-Destino) e da alternativa de destino mais adequada (Destino-Alternativa); Demanda da ligação (densidade de tráfego); Dados de aeroportos e pistas (decolagem e pouso). Após a definição da missão e das condições ambientais (desvio da ISA etc.), a análise de desempenho de aeronaves faz uso de um banco de dados de aeroportos e pistas. Um exemplo de banco de dados de aeroportos e pistas para uma análise de desempenho é apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Modelo de um banco de dados de aeroportos e pistas.

\*Os dados de obstáculos foram computados conforme RBHA 121.189.

Fonte: AIP-Brasil Parte AGA, ROTAER, Manuais e cartas da DECEA.

AEROPORTO (IATA-ICAO)	ELEV. [m / ft]	CABEÇEIRA (PISTA)	COMP. DISPONÍVEL (TORA / LDA) [m]	CLWY [m]	GRAD. PISTA [%]	OBSTACULO* Dist./Alt.[m]	CLASSIFIC. PAVIMENTO [PCN]
SDU-SBRJ Rio de Janeiro	3.4 / 11	02R	1323 / 1323	0	0	5020 / 57	65FB
		20L	1323 / 1323	0	0	4003 / 78	65FB
		02L	1260 / 1260	0	0	5020 / 57	39FB
		20R	1260 / 1260	0	0	4003 / 78	39FB
CGH-SBSP São Paulo	802 / 2631	17R	1940 / 1940	500	1	3440 / 354	50FB
		35L	1940 / 1940	500	-1	4290 / 27	50FB
		17L	1435 / 1435	0	1	3035 / 47	38FB
		35R	1435 / 1495	0	-1	3935 / 38	38FB

### 3.5.1. Identificação dos tipos de aeronaves viáveis

Esta análise é realizada, normalmente, por um engenheiro de operações de vôo que estabelece o conjunto de aeronaves viáveis através da utilização dos programas de desempenho já mencionados. Outra forma para realizar as análises de desempenho, é através da utilização dos gráficos ou nomogramas de desempenho existentes nos manuais de desempenho e de planejamento de vôo também já mencionados. Tais gráficos fornecem um desempenho global simplificado, porém, bastante útil para uma análise que se concentra na questão da adequação técnica do tipo de aeronave com a rota ou um conjunto de rotas (missões) a que esta está associada.

#### 4. ESTABELECIMENTO DO MODELO

O estabelecimento do modelo de seleção de aeronaves se inicia com o diagrama de fluxo de dados do sistema no meio ambiente de uma empresa de transporte aéreo.

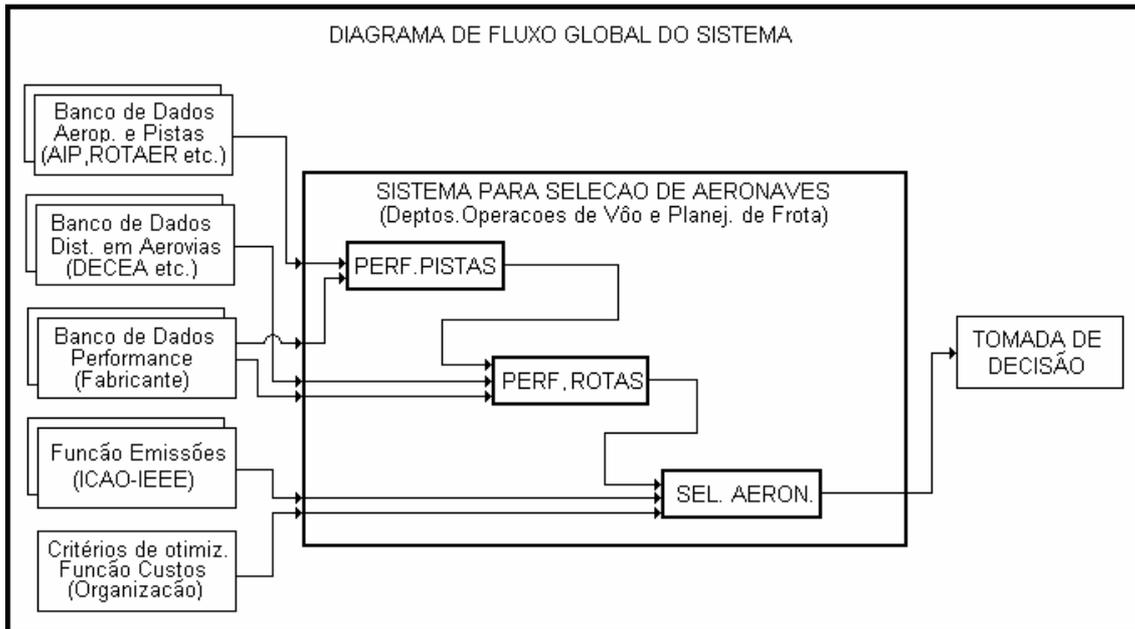


Figura 4.1 – Diagrama do Fluxo Global do Sistema (Modelo Proposto).  
Desenhado pelo autor.

O conjunto das entradas do sistema é dividido em subconjuntos, a saber:

Tabela 4.1 – Sistema de Seleção de Aeronaves (Atributos de Entrada e Saída).

Sistema de Seleção de Aeronaves	
Atributos de Entrada:	Atributos de Saída:
Critérios de Otimização, Função Custos Operacionais Diretos.	Nota final e Classificação das Aeronaves através de um Ordenamento "ranking"
Dados de Aeroportos e Pistas.	
Distâncias Aéreas (características da rede).	
Desempenho da Aeronave na Missão.	
Níveis de Emissões de Poluentes e Ruído.	
Níveis de Oferta projetada.	

#### 4.1. Critérios de seleção

Para efeitos de avaliação dos custos, uma função de custos por hora de operação por aeronave obtida do *Form 41 – FAA* foi utilizada e a Tabela 4.2 apresenta alguns dos resultados da pesquisa mencionada anteriormente.

A Tabela 4.2 apresenta alguns dos resultados obtidos na pesquisa “Uma Abordagem Fuzzy para o Processo de Seleção de Aeronaves no Brasil”.

Tabela 4.2 – Variáveis Relevantes e Critérios de Seleção.  
Fonte: (MACHADO *et al.*, 2004). Compilado pelo autor.

<b>VARIÁVEIS RELEVANTES NA SELEÇÃO DE AERONAVES</b>	
<b>CRITÉRIO</b>	<b>IMPORTÂNCIA (de 0 a 1)</b>
Características de Custos (Leasing, Sal. de Tripulantes, Manutenção, Combustível e Lubrificantes, Seguro, Deprec. etc.).	0,98
Características Técnicas (Capacidade, Velocidade, Alcance, Motor, Pesos de projeto, Consumo específico etc.).	0,89
Nível de Serviço da Aeronave (Geometria do assento e layout da cabine, Níveis de ruídos e Emissões etc.).	0,85

Como pode ser observado, o critério “Características de Custos” aparece em primeiro lugar, seguido pelos critérios “Características Técnicas” e “Nível de Serviço”.

No presente trabalho, um problema de programação matemática é estabelecido, tendo como função-objetivo a minimização dos custos operacionais diretos, característicos do emprego de diferentes aeronaves em diferentes missões. A Figura 4.2 apresenta uma proposta de modelo conceitual para a resolução do problema da seleção de aeronaves expandindo-se o modelo da Figura 4.1.

## 4.2. Modelo conceitual simbólico

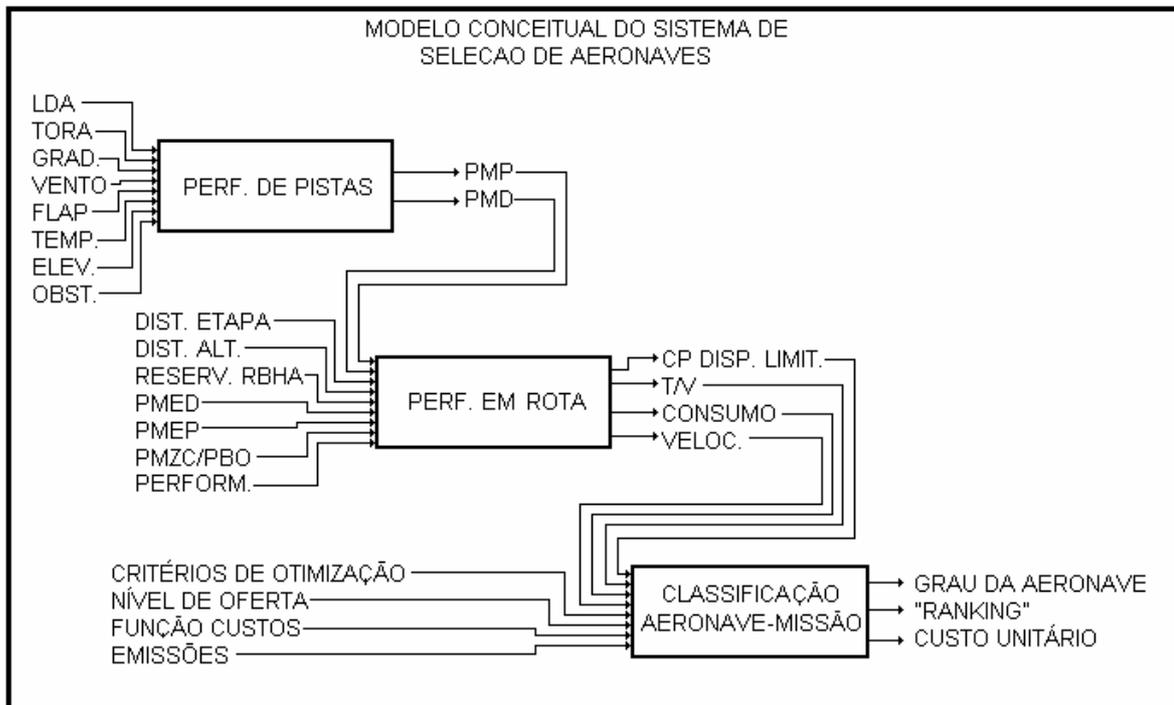


Figura 4.2 – Modelo Conceitual Simbólico da Seleção de Aeronaves.  
Desenhado pelo autor.

Para efeitos deste trabalho, o modelo de seleção de aeronaves é construído como um sistema de cálculo de capacidade prática, acoplado a um modelo de programação matemática. A função-objetivo é minimizar os custos operacionais diretos da utilização de determinado tipo de aeronave, sujeita às restrições referentes às Características Técnicas (capacidade, tempo de voo e consumo de combustível) e outras, que refletem o desempenho da aeronave na missão. O modelo oferece, ainda, condições para um monitoramento de aspectos específicos, conforme descrito anteriormente.

Para o cálculo do desempenho na decolagem, o modelo considera, a partir de valores iniciais, correções ao comprimento disponível da pista, fornecendo dados como o peso máximo de decolagem PMD limitado pelo comprimento da pista, o PMD limitado pela capacidade de subida da aeronave, o PMD limitado pela capacidade máxima de frenagem, limitado pela velocidade máxima de pneus e outros. É importante

observar que, segundo regras internacionais, todo o desempenho de decolagem considera a falha de um dos motores durante a corrida de decolagem, no momento em que se atinge a velocidade de decisão, a chamada V1. A esta velocidade, é possível abortar a decolagem, o que significa desacelerar e parar a aeronave, utilizando somente os freios, dentro dos limites da pista. Ocorrendo a falha acima desta velocidade a decolagem deve ser conduzida com o(s) motor(es) remanescente(s).

Para efeito do presente trabalho, considerando as condições de operação no território nacional, foram levados em conta os limitantes mais freqüentemente observadas na prática, os pesos máximos de decolagem limitados pelo comprimento da pista  $PMD_{Pista}$  (*field limited weight*); limitado pela existência de obstáculos no alinhamento da pista (*obstacle limited*); limitado pela capacidade de subida  $PMD_{Subida}$  (*climb limited weight*); limitado pelo PMZC; e o peso máximo de decolagem limitado pelo pouso. O menor dentre estes é o máximo permitido para decolagem. De forma semelhante, é feito o cálculo do peso máximo de pouso.

Para o cálculo do desempenho em rota, de posse dos pesos máximos de decolagem e de pouso o modelo calcula o consumo da etapa, o tempo de vôo, o abastecimento requerido e, finalmente, a carga-paga disponível, respeitando as regras do RBHA-121 – Requisitos Operacionais: Operações Domésticas, de Bandeira e Suplementares do Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica.

Como foi visto na Figura 4.2, o Modelo de Seleção de Aeronaves compreende então 3 sub-sistemas divididos em 2 módulos:

## **Módulo 1 – Simulador de capacidade**

Desenvolvido para fornecer a carga-paga máxima, o tempo de voo, consumo de combustível, este módulo compreende dois subsistemas, a saber:

- Subsistema 1 – Desempenho de pistas (Decolagem e Pouso);
- Subsistema 2 – Desempenho em rota (Planejamento de voo).

Desenvolvido através da análise dos nomogramas de desempenho do manual de operações do B737-300 equipado com motores de 20000 lbf de empuxo, gentilmente cedido pelo Departamento de Operações da Transbrasil ao curso (Ground School) de DOV da EAPAC. Este tipo de aeronave entrou em serviço em 1984 e sua configuração de dois motores sob as asas ficou consagrada e seguida pela indústria aeronáutica desde então.

Os subsistemas 1 e 2 calculam, através de equações polinomiais, os pesos máximos permissíveis para as operações de pouso e decolagem e, em seguida, estabelecem a capacidade prática da aeronave na missão, oferecendo o peso disponível para o transporte (o Disponível), o tempo de voo, o consumo e o abastecimento mínimo requerido para a etapa. O Módulo de cálculo de desempenho (Simulador de capacidade) deve conter as equações representativas de cada tipo de aeronave, frente as variáveis envolvidas em cada fase do voo. No ANEXO 1, são apresentadas as curvas obtidas da análise dos nomogramas que deram origem ao modelo proposto. Através da construção de uma planilha eletrônica dinâmica é possível obter o peso máximo de operação e, conseqüentemente, o disponível para transporte, o consumo da etapa e tempo de voo, bastando inserir as variáveis (entradas) e observar, instantaneamente, os dados de desempenho (saídas), como demonstrado a seguir.

O processo de desenvolvimento do sistema consistiu em utilizar cada correção estabelecida nos nomogramas, em intervalos padronizados, como pode ser verificado nos gráficos do ANEXO 1, que descrevem as principais curvas características do comportamento de uma dada aeronave em sua missão.

O ANEXO 1 apresenta um conjunto de gráficos gerados pelo sistema, apresentando as curvas obtidas durante a fase de desenvolvimento do modelo. De posse destas curvas características, linhas de tendência foram obtidas no Excel e suas respectivas equações polinomiais. Através destas equações uma planilha de desempenho foi construída para cada cálculo. Conectando-se cada uma destas planilhas (subsistemas), ficou estabelecido o simulador de desempenho da aeronave em questão. Com o auxílio desta ferramenta, é possível observar o que a aeronave pode produzir no cenário de operação estabelecido. As Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 apresentam os atributos pertinentes e as interfaces do sistema.

## Módulo 1 / Subsistema 1 – Desempenho de pistas (Análises de decolagem e pouso)

Tabela 4.3 – Atributos do subsistema Análise de pistas.

DECOLAGEM	
Entradas	Saídas:
Comprimento de pista disponível para decolagem (TORA – <i>Takeoff Runway Available</i> ) [m];	PMD <sub>Pista</sub> [kg];
Gradiente de pista – <i>Slope</i> [%];	PMD <sub>Subida</sub> [kg];
Componente de Vento na decolagem – <i>Wind component</i> [kt];	PMD <sub>Obstáculo</sub> [kg];
Posição dos Flaps – <i>Flap position</i> [Graus];	PMD <sub>GLOBAL</sub> [kg];
Temperatura do ar [°C];	Limitação imposta [pista, subida, obstáculo ou estrutural].
Elevação do aeródromo [ft];	
Altura do obstáculo [ft];	
Distância do obstáculo a partir do ponto de início da corrida de decolagem [ft].	
POUSO	
Entradas:	Saídas:
Comprimento de pista disponível para pouso (LDA – <i>Landing distance available</i> ) [m];	PMP <sub>Pista</sub> [kg];
Condições da pista [seca ou molhada];	PMP <sub>Subida</sub> [kg];
Componente de vento [kt];	PMP <sub>GLOBAL</sub> [kg];
Posição dos <i>flaps</i> [Graus];	Limitação imposta [pista, subida ou estrutural].
Elevação do aeródromo [ft].	

## Módulo 1 / Subsistema 2 – Desempenho em rota (Plano de vôo)

Tabela 4.4 – Atributos do subsistema Plano de Vôo.

PLANO DE VÔO	
Entradas:	Saídas:
Distância da etapa (origem-destino) [nm];	Carga-paga disponível [kg];
Distância da alternativa (destino-alternativa) [nm];	Consumo da etapa [kg];
Altitude para o regime de espera [Elev. da alternativa +1500 ft];	Tempo de vôo [h:m];
Carga-paga de referência (p/efeito de consumo e tempo de vôo) [kg];	Velocidade média [kt];
Peso máximo de decolagem (do Sistema 1.1) [kg];	Limitação imposta [decolagem, pouso, zero combustível ou abastecimento máximo].
Peso máximo de pouso (do Sistema 1.2) [kg];	
Pesos máximos de projeto (Fabricante) [kg];	
Parâmetros de autonomia (Regras do RBHA-121).	

Os dados obtidos (saídas) referentes aos tempos de vôo, carga-paga e consumo são então (entradas) do Subsistema que realiza a Classificação das Aeronaves analisadas, que será descrito a seguir.

## Módulo 2 – Classificação de aeronaves

Este módulo foi construído através de um sistema de equações configurado e resolvido como um problema de programação matemática do tipo (*Mixed Integer Programming - MIP*) cuja função-objetivo é minimizar os custos operacionais diretos da utilização de cada aeronave. Esta função de custos representa os custos por hora de operação característicos do tipo de aeronave e foi obtida a partir do *FORM 41- FAA* . Esta poderia ser obtida com o fabricante da aeronave ou ainda no próprio sistema de custos da empresa, caso trate-se de aeronave existente na frota. Como saídas deste Módulo, temos a ordenação das aeronaves em um Ranking cujos rótulos são: Aeronave ótima; Aeronave aceitável e Aeronave imprópria.

As variáveis de decisão do modelo são inteiras e representam o número de vôos realizados no intervalo de programação entre cada cidade com cada tipo de aeronave analisada. O problema é solucionado com o Microsoft Solver que utiliza o método *Branch and Bound* na resolução de problemas de programação matemática.

A Tabela 4.5 apresenta os principais atributos deste subsistema.

Tabela 4.5 – Atributos do subsistema (Classificação de aeronaves).

CLASSIFICAÇÃO DE AERONAVES	
Entradas:	Saídas:
Grupo de aeronaves viáveis [A, B, C etc.];	Alocação ótima das aeronaves (Ranking) [%]; <ul style="list-style-type: none"><li>• Aeronave Ótima</li><li>• Aeronave Aceitável</li><li>• Aeronave Imprópria</li></ul>
Função de custos das aeronaves viáveis [US\$/h];	Custo unitário médio [US\$/assento.km];
Nível de oferta projetada [assentos por semana];	Níveis de emissões de poluentes [NOx, CO, e HC];
Capacidade de transporte CP/90 kg [assentos];	Velocidade média [km/h];
Tempo disponível da aeronave [horas por semana];	Distância voada [km].
Tempo de Vôo [h:m];	Número total de vôos na semana.
Velocidade média.	

### 4.3. Geração do modelo matemático

Lembrando que a produtividade máxima de um sistema de transporte aéreo é o produto da carga-paga pela velocidade e, no caso do par aeronave-missão, interessa a capacidade prática, a carga-paga disponível e a velocidade média conseguida no vôo. Temos então:  $Prod_A = CP_D \times V_M$  e o objetivo é minimizar os custos operacionais diretos *DOCs*. A seguir apresenta-se o modelo matemático proposto para a seleção de aeronaves. Seja o Disponível calculado para uma aeronave tipo *T*, voando de *i* para *j*, temos:

É importante notar que as relações matemáticas entre as variáveis envolvidas dependem do processo de homologação pelo qual a aeronave foi certificada. O modelo aqui empregado reflete aquele adotado pelo FAA na certificação do B-737-300 na década de 80.

## Módulo 1 – Simulador de capacidade

Seja o disponível em kg para o transporte aéreo entre as cidades  $i$  e  $j$ , calculado para uma aeronave tipo  $T$ , temos:

$$DISP_{ij}^T = f_1(PBO^T, PMP_{ij}^T, PMZC^T, PMD_{ij}^T, TOF_{ij}^T, TIF_{ij}^T) \quad (3.1)$$

Onde:

$PBO^T$ : Peso básico operacional da aeronave tipo  $T$ ;

$PMP_{ij}^T$ : Peso máximo de pouso permitido para a aeronave tipo  $T$  na etapa  $ij$ ;

$PMZC^T$ : Peso máximo zero combustível da aeronave tipo  $T$ ;

$PMD_{ij}^T$ : Peso máximo de decolagem permitido para a aeronave tipo  $T$  na etapa  $ij$ ;

$TOF_{ij}^T$ : Combustível no momento da decolagem em  $i$  da aeronave tipo  $T$  na etapa  $ij$ ;

$TIF_{ij}^T$ : Combustível a ser queimado pela aeronave tipo  $T$  na etapa  $ij$ .

E, por sua vez, seja,

$$PMP_j^T = f_2(LDA_j, ELEV_j, FLAP_j^T) \quad (3.2)$$

$$PMD_{ij}^T = f_3(TORA_i, ELEV_i, TEMP_i, PMP_j^T, FLAP_i^T, TIF_{ij}^T) \quad (3.3)$$

$$TOF_{ij}^T = f_4(ADIST, TIF_{ij}^T) \quad (3.4)$$

$$TIF_{ij}^T = f_5(DIST_{ij}, PAD_i^T, VENTO_{ij}, FL_{ij}, DEG^{Ta}) \quad (3.5)$$

E ainda devem ser consideradas as condições a seguir:

$$PMP = f_6(PMP_{Pista}, PMP_{Subida}), \text{ dentre estes o menor.}$$

$$PMP_{Pista} = f_7(LDA, ELEV, TEMP, FLAP)$$

$$PMP_{Subida} = f_8(ELEV, TEMP, FLAP)$$

$PMZC = \text{Publicado pelo fabricante}$ ;

$$PMD = f_9(PMD_{Pista}, PMD_{Subida}, PMD_{Obstaculo}) \text{ Destes o menor.}$$

$$PMD_{PISTA} = f_{10}(TORA, GRAD, VENTO, TEMP, FLAP, ELEV, OBST).$$

$$PMD_{SUBIDA} = f_{11}(ELEV, TEMP, FLAP)$$

$$PMD_{Obstaculo} = f_{12}(ALT_{Obstaculo}, DIST_{Obstaculo}, FLAP)$$

#### 4.4. Uma abordagem por programação matemática

Seguindo a orientação do professor Mora-Camino e seus colaboradores, citada no capítulo 2, a Pesquisa Operacional é empregada para solucionar o problema da seleção de aeronaves.

Segundo (LACHTERMACHER, 2002), que utiliza o Solver, que é um suplemento do Microsoft Excel para resolver os problemas de Pesquisa Operacional, a quantidade a ser maximizada ou minimizada é descrita como uma função matemática dos recursos (variáveis de decisão). As relações dentre as variáveis são formalizadas através de restrições expressas como equações e/ou inequações matemáticas.

No presente trabalho, um modelo do tipo “Otimização de Recursos” é desenvolvido de tal forma que os recursos (aeronaves) são alocados e, desta forma, avaliados perante as restrições impostas e sua interação com a missão. O modelo de programação matemática cuja função-objetivo é minimizar os custos operacionais diretos relativos a cada aeronave, tem como variáveis de decisão o número de vôos alocado para cada aeronave em cada missão estabelecida na análise, e pode ser escrito conforme segue:

$$\text{Minimizar: } z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Sujeito a:

$$\begin{bmatrix} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \leq \\ = \\ \vdots \\ \geq \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Onde:

$x_j$  - representa as quantidades das variáveis utilizadas (Capacidades de oferta de assentos, Tempos de vôo etc.); ( $j : 1, 2, \dots, n$ ).

$b_j$  - representa a quantidade disponível de um recurso (Oferta mínima de transporte, Tempo máximo de utilização etc.); ( $j : 1, 2, \dots, m$ ).

$X$  - vetor de  $x$ ;

$f(x)$  - Função Objetivo (custos operacionais diretos);

$g_j(x)$  - Funções utilizadas nas restrições do problema (capacidade, velocidade etc.);

$n$  - número de variáveis de decisão;

$m$  - número de restrições do modelo.

## Módulo 2 – Classificação de aeronaves

A função  $Z$  a ser minimizada é a função de custos operacionais diretos (DOCs) de cada tipo de aeronave da análise (Tipo A, B, C e D).

$$Z = (DOC_{ij}^A + DOC_{ij}^B + DOC_{ij}^C + DOC_{ij}^D), \text{ como sendo:}$$

$$Z = (C_{Trip}^A + C_{Comb\&Lub}^A + C_{Manut}^A + C_{Deprec}^A + C_{Seguro}^A, C_{Trip}^B + C_{Comb\&Lub}^B + C_{Manut}^B + C_{Deprec}^B + C_{Seguro}^B, \\ C_{Trip}^C + C_{Comb\&Lub}^C + C_{Manut}^C + C_{Deprec}^C + C_{Seguro}^C, C_{Trip}^D + C_{Comb\&Lub}^D + C_{Manut}^D + C_{Deprec}^D + C_{Seguro}^D)$$

Como o modelo se propõe a atender o transporte de passageiros, para estabelecer as restrições referentes à capacidade ofertada pelo grupo de aeronaves no cenário definido (conjunto de missões), torna-se necessário definir  $DISP_{PAXij}^T$  como sendo o número de assentos oferecidos, resultado da divisão do disponível para transporte no voo realizado pela aeronave tipo  $T$  em kg, por 90 (peso do passageiro adulto = 75 kg + bagagem = 15 kg):

$$DISP_{PAXij}^T = \frac{DISP_{ij}^T}{90} \quad (3.7)$$

Desse modo:

$$g_1 = (DISP_{PAXij}^A, DISP_{PAXij}^B, DISP_{PAXij}^C, DISP_{PAXij}^D) \quad (3.8)$$

Sendo que o produto do vetor  $g_1$  por  $Z$  tem que ser menor ou igual a oferta projetada para o período. As restrições referentes ao tempo de voo (utilização) que refletem a velocidade média da aeronave serão então:

$$g_2 = (TV_{ij}^A, TV_{ij}^B, TV_{ij}^C, TV_{ij}^D) \quad (3.9)$$

Sendo que o produto do vetor  $g_2$  por  $Z$  tem que ser maior ou igual ao tempo máximo de utilização da aeronave. Isto é conseguido, na planilha eletrônica, por meio

da função *somar produto*. Desta forma, o Solver resolve o PPM e estabeleça a solução que será mostrada na aplicação do modelo.

Obs.: As saídas do Módulo 1 referentes a  $TIF_{ij}^T$ , que é o consumo de combustível de cada aeronave, não são restrições do Modulo 2, pois já foram consideradas na função-objetivo, porém, estas são utilizadas para os cálculos do custo do assento.kilômetro de cada par aeronave-missão, e também para estabelecer os níveis de emissões de poluentes, cujos totais podem ser apresentados num relatório específico.

#### **4.5. O modelo de aplicação**

Através de uma prévia análise de desempenho, verificam-se quais são as aeronaves viáveis para a missão estabelecida e segue-se a tabulação de suas características (função custos, características técnicas e de nível de serviço) já consideradas anteriormente. Um grupo de aeronaves foi analisado com vistas a um determinado cenário de operação e os resultados apresentados na forma de um “*Ranking*”.

É importante mencionar que, caso este tipo de análise seja feito entre aeronaves com grandes diferenças em capacidade de transporte, torna-se necessário dividi-las em categorias evitando assim uma comparação injusta, já que aeronaves de menor capacidade apresentam maiores custos unitários. A modelagem da ferramenta de apoio à decisão considerou os aspectos a seguir:

- Aspectos de Oferta (nível de oferta projetada com base em variável aleatória representando o tráfego semanal na ligação);

- Características da rede de transportes (distâncias, elevação de aeródromo, dados de pistas etc.);
- Características Técnicas do tipo de aeronave (capac., velocidade, alcance etc.);
- Aspectos financeiros (custos operacionais diretos);
- Nível de serviço (velocidade e nível de emissões);

Parâmetros do modelo de aplicação:

- Critérios de Otimização (velocidade e custos);
- Função-objetivo (minimizar os custos operacionais totais diretos do emprego da aeronave);
- Restrições (Oferta projetada, Capacidade prática [Disponível/90 kg], tempo de utilização [Tempo de Vôo] e consumo real de combustível [kg] );

#### **4.5.1. Custos operacionais diretos**

No ambiente de uma empresa aérea, estes dados podem ser obtidos dos centros de custos através do sistema de informações gerenciais da organização. Uma estrutura organizacional matricial é recomendada, onde cada tipo de aeronave da frota é um projeto e cada unidade de negócio dedica parte de seus recursos a cada projeto.

Sendo assim, os custos devem ser alocados ao tipo de aeronave operada pela empresa ou, no caso de aeronave nova tais dados podem ser obtidos com o fabricante da aeronave. Para efeito desta aplicação, os custos operacionais diretos (*DOCs*), foram obtidos a partir do *Form 41* e do *Form 298-C* do *Bureau of Transportation Statistics (BTS)*. Tais documentos consideram os dados das principais empresas norte americanas

com vendas anuais acima de US\$100 milhões. Neste documento, os custos com combustível e lubrificante, são referentes ao valor do dólar no período da operação; custos de manutenção incluem: salários, partes e peças, materiais e encargos de manutenção de aeronave e motores; os custos com tripulações incluem: tripulações técnicas e de cabine. Dados relativos à depreciação consideram uma taxa fixa relativa ao uso e idade. A depreciação de itens como equipamentos de vôo, motores e equipamentos relacionados estão incluídos nesta categoria baseados em dados históricos. Maiores detalhes da obtenção dos dados de custos, seguros e outras despesas, podem ser verificados nos documentos já mencionados. A Tabela 4.6 mostra os níveis de “*leasing*” praticados no mercado norte americano, segundo o BTS.

Tabela 4.6 – Níveis de aluguel de aeronaves (Leasing).

Fonte: GRA Aviation Specialists, Inc., “*The Guide*” (HERNDON, 1996).

\*Dados referentes a valores médios observados em 1996. Não incluem itens como: depósitos, manutenção, combustível e lubrificante ou custos com tripulação.

Compilado pelo autor.

<b>TIPO DE AERONAVE</b>	<b>Aluguel Mensal* (US\$ / mês)</b>
Jatos bi-motores de fuselagem estreita	236,000.00
Jatos bi-motores de fuselagem larga	544,000.00
Jatos tri-motores de fuselagem estreita	72,000.00
Jatos tri-motores de fuselagem larga	279,000.00
Jatos quadri-motores de fuselagem estreita	60,000.00
Jatos quadri-motores de fuselagem larga	646,000.00
Jatos regionais de 40 a 59 assentos	145,000.00

Os contratos de aluguel de aeronaves duram, geralmente, de 1 a 7 anos, sendo que a maioria é de cinco anos. Os valores variam pela idade, condições gerais, prazo, credor e condições de mercado. Aluguéis de aeronaves mais novas representam, geralmente, menores percentuais do valor de mercado da aeronave (FAA - BTS, 2001).

Um conjunto de características de custos é apresentado na Tabela 4.7:

Tabela 4.7 – Aspectos Financeiros (Custos).

Fonte: (FAA – *BTS Form-41 Aircraft Operating Costs.*). Compilado pelo autor.

CUSTOS POR HORA DE OPERAÇÃO [US\$ / h]								
TIPO	Aluguel mensal Leasing [USD]	Trip	Comb & Lub	Manut	Deprec	Seguro [%]	Custo Total	Custo [assento/h] (s/ Aluguel)
A	280.000	691	500	390	80	9	1670	12,85
B	145.000	691	505	431	93	11	1731	13,32
C	220.000	691	500	410	80	9	1690	13,00
D	150.000	552	471	386	115	10	1534	13,34

O custo total que aparece na oitava coluna se refere à soma dos custos horários com tripulações, combustível e lubrificante, manutenção, depreciação e seguros. Para considerar o custo horário total, somou-se a este valor, uma parcela do leasing correspondente ao rateio deste no montante de horas estabelecido na análise, 252 horas semanais (28 dias de utilização a taxa de 9 horas/dia).

#### 4.5.2. Características técnicas ou de projeto (capacidade nominal)

Este outro banco de dados pode ser construído de diferentes formas. Caso a aeronave esteja em operação na empresa, tais dados podem ser obtidos através da utilização dos programas de desempenho disponibilizados pelo fabricante conforme já foi mencionado. Caso não seja possível a utilização dos programas de desempenho, o método gráfico é o mais recomendado.

A partir dos manuais técnicos de operação, de planejamento de voo e desempenho, é possível extrair todos os dados necessários. Caso nenhuma destas ferramentas esteja disponível, o analista deverá construir seu banco de dados através das informações disponíveis nos sítios dos fabricantes, na rede internacional de computadores, no material promocional e publicações disponíveis para cada tipo de

aeronave. Entretanto, neste tipo de pesquisa, costuma ser muito difícil obter e normalizar os dados, pois os fabricantes não divulgam dados técnicos de seus produtos, a não ser para os operadores. No entanto, é comum verificar, nas brochuras publicadas para o lançamento de uma nova aeronave, comparações entre o produto próprio e o da concorrência. É claro que um tem acesso aos dados do outro e seu produto é sempre o melhor de todos. Cabe ao operador analisar, em meio à atividade frenética do setor, se a aeronave é de fato adequada ao seu cenário de operação.

Como características técnicas das aeronaves, o modelo proposto considera o seguinte conjunto:

Tabela 4.8 – Características Técnicas ou de Projeto.

\* Densidade do combustível (0,80).

Fonte: Sítios dos fabricantes na internet, manuais e informações dos especialistas.

Compilado pelo autor.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS													
TIPO	MOTOR	CAPACIDADE			VEL [km/h]	ALCANCE		COMBUST		PESOS DA AERONAVE			
		Max PLD	PAX	CGO VOL [m <sup>3</sup> ]		Max PLD [km]	Max AUT [km]	CONS [kg/h]	CAP* [kg]	PMED [kg]	PMZC [kg]	PMEP [kg]	PBO [kg]
A	CFM56-7B	15500	130	28	850	4074	4600	1950	20800	70300	54600	58000	37600
B	CFM56-3C	15300	130	30	800	2963	4200	2300	15900	61200	48300	51700	33000
C	CFM56-5	16700	130	24	870	3360	4100	1900	19080	64000	57000	61000	40100
D	CFM56-3C	14600	115	23	800	2963	4200	2200	15900	54400	46500	49900	31900

É importante notar que dados de desempenho como: capacidade prática, velocidade média e consumo de combustível dependem da etapa considerada, como já foi mencionado anteriormente.

A seguir são apresentados dois gráficos que descrevem o comportamento do modelo desenvolvido com base nos nomogramas do Boeing 737-300, apresentando a variação da velocidade média e *payload* com a distância da etapa voada, confirmando as curvas teóricas apresentadas anteriormente.

Gráficos obtidos das análises com o modelo proposto.

Figura 4.3 – Curva Característica Velocidade Média x Distância [km/h x nm].

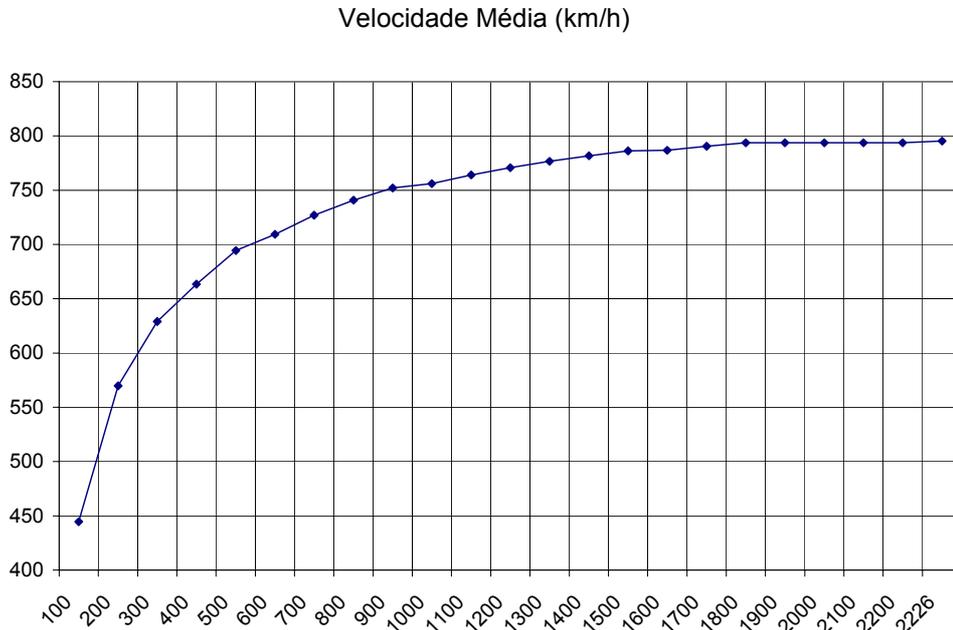
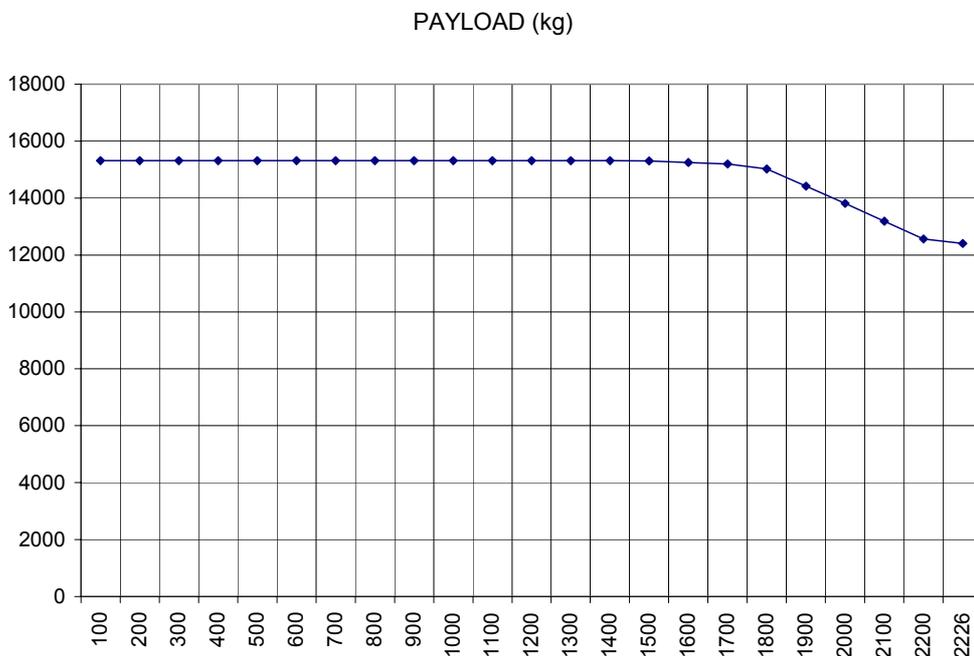


Figura 4.4 - Gráfico Payload x Range do Modelo [kg x nm].



Outras características do modelo podem ser verificadas nos demais gráficos no ANEXO 1- Características do Modelo de Aplicação.

### 4.5.3. Nível de serviço (conforto na cabine e emissões)

Para o monitoramento e comparação dos níveis de serviço oferecidos pela aeronave, o modelo poderia ainda considerar parâmetros de conforto no interior da cabine de passageiros e também parâmetros de qualidade ambiental como emissões de poluentes para o meio ambiente. Estes parâmetros servem para uma quantificação dos impactos ambientais da operação de cada aeronave da frota e podem orientar medidas no sentido de elaborar um balanço ambiental. A Tabela 4.9 apresenta um exemplo para o conjunto considerado.

Tabela 4.9 – Nível de Serviço.

\*Emissões referentes à potência de subida (a 85%).

Fonte: Sítios dos fabricantes, manuais, ICAO – EEEDB e informações dos especialistas.

TIPO	CONFORTO NA CABINE						QUALIDADE AMBIENTAL (EMISSÕES)			
	Larg. [m]	Altur a livre [m]	Larg. corredor [m]	Larg. do assento [m]	Distância entre fileiras (Pitch) [m / in]	Nível de ruído na Cabine **	POLUENTES* HC - CO - NOx [g / kg]			RUÍDOS [EPN dB Stage Limits]
							HC	CO	Nox	
A	2,60	2,05	0,50	0,50	0,81/32	N.A	0,1	0,6	20,5	4
B	2,60	2,05	0,50	0,50	0,81/32	N.A	0,04	0,9	17,8	3
C	3,60	2,05	0,50	0,50	0,81/32	N.A	0,06	0,6	16,4	4
D	2,60	2,05	0,50	0,50	0,86/34	N.A	0,04	0,9	17,8	4

Na presente análise, os aspectos de conforto na cabine não foram utilizados, porém, seria possível considera-los para um aprimoramento do modelo.

#### **4.5.4. Níveis de oferta para a análise (Variável aleatória)**

Para representar os níveis de oferta projetada em termos de assentos oferecidos para cada missão no período de simulação (uma semana), são estabelecidos os valores de entradas para a análise com o Módulo 2, conforme segue:

- Missão 1 – Curta distância (oferta projetada: 10000 assentos por semana);
- Missão 2 – Média distância (oferta projetada: 8000 assentos por semana);
- Missão 3 – Longa distância (oferta projetada: 6000 assentos por semana).

Obs.: É importante mencionar que esta é uma restrição do tipo “variável aleatória” ao problema de seleção de aeronaves, porém, esta deve ter valor que possibilite a existência de um campo de soluções viáveis. Desta forma, o Solver terá meios de encontrar a solução ótima de alocação para as aeronaves da análise.

#### **4.6. Simplificações ao modelo de aplicação**

O presente modelo possui as seguintes simplificações:

- 1- O modelo não considera o efeito dos ventos em rota. Este efeito pode ser incorporado no futuro;
- 2- Não foram utilizados, nesta análise, os dados de obstáculos no prolongamento das pistas de decolagem, embora o modelo seja capaz de considerar tais variáveis.
- 3- O modelo considera o consumo de combustível para uma carga-paga correspondente à lotação da cabine de passageiros, assim, o modelo não é sensível a variações de carga-paga, porém, esta facilidade também pode ser incorporada no futuro;

4- Para poder realizar as análises, um grupo de aeronaves foi concebido com base na aeronave de referência (B-737-300). Para representar as demais aeronaves, ajustes foram feitos nos resultados de desempenho de pistas e de rotas para a aeronave de referência. Tais ajustes podem ser observados nas Figuras 4.6a e 4.6b, do item 4.9 Resultados da aplicação;

5- Levando em conta os principais fatores limitantes e ainda que os aeroportos nacionais encontram-se abaixo dos 4000 pés de elevação, o modelo proposto não considera os limitantes referentes às velocidades máximas de pneus e capacidade máxima de frenagem. Estes fatores só se pronunciam com grande elevação de aeródromo, associado às altas velocidades na decolagem.

#### **4.7. Ajustes e validação do modelo de aplicação**

A validade do modelo reside no fato de que ele é estabelecido com base nos nomogramas<sup>11</sup> de desempenho, publicados pelo fabricante da aeronave. (Vide Figura 4.4 e Figura 2.1a para MTOW = 61230 kg. No presente trabalho utilizou-se, como base, o B-737-300, que é uma aeronave consagrada pela indústria e ainda as análises foram realizadas entre aeronaves de mesma capacidade e configuração. É importante mencionar que, em uma situação real no ambiente de uma empresa de transporte aéreo, seria possível obter os dados para diferentes aeronaves operando em uma dada frota, diretamente dos manuais de operação citados anteriormente. Devido ao uso corrente, no meio da aviação em geral, de abreviações em língua inglesa optou-se por desenvolver o sistema com esta nomenclatura. A Figura 4.5 apresenta o painel principal do Módulo 1.

---

<sup>11</sup> Nomograma: Designação dada aos ábacos com os quais se resolve graficamente determinados problemas.

A Figura 4.5 apresenta o painel principal do Módulo 1.

ROUTE ANALYSIS SOFTWARE - Version 1.0

TAKEOFF INPUTS		LANDING INPUTS		ROUTE INPUTS	
From 1200 to 4000	<b>TORA (m)</b> 1800	LDA From 1200 to 4000	<b>LDA (m)</b> 2000	<b>Format</b> Max. Values	
1 or 2 neg, 0, 1 or 2 pos.	<b>Slope (%)</b> 0	Dry or Wet (D or W)	<b>Rwy Cond.</b> D	<b>Trip Distance (nm)</b> 1279	<b>3000</b>
0, 5 or 10 kt	<b>Wind (kt)</b> 0	(0, 10 or 20)	<b>Wind (kt)</b> 0	<b>Alt. Distance (nm)</b> 100	<b>500</b>
1, 5 or 15	<b>Flap</b> 15	Flap position (30 or 40)	<b>Flap</b> 40	<b>Reference Payload</b> 13000	<b>15307</b>
From 0 to 50 C	<b>OAT</b> 19	Landing Climb Limited Weight	<b>OAT</b> 26	<b>Perf. Degr. (%)</b> X	
Obstacle? (Y/N)	<b>OBSTACLE?</b> N	OAT (0 to 40)	<b>OAT</b> 26	<b>Wind Component</b> X	
Dist. BRW (1000 x ft)	<b>Dist.(1000 x ft)</b> 8	Pressure Alt. (000 x ft)	<b>Press. Alt.</b> 2	<b>Holding Alt. (ft)</b> 1500	<b>5000</b>
8, 12, 16, 20, 24 or 28		0,1,2,3 e 4		<b>OUTPUTS</b>	
<b>Height Lower point (ft)</b> 80				<b>MTOW</b> 50341 kg	<b>Limited By</b> TOW
From 0 to 1000 ft	<b>Press. Alt.</b> 3			<b>Allowed T. Load</b> 7698 kg	
0, 1,2,3,4 (000 x ft)				<b>Fuel Burned</b> 6989 kg	
				<b>Flight Time</b> 3:3	
				<b>Average Speed</b> 419 kt	

**Legenda**

**Entradas (INPUT)**      **Saídas (OUTPUT)**

Parâmetros / Formatação  
Limites  
Experimental  
X = Não modelado

Figura 4.5 – Painel Principal do Módulo 1 - Sistema de Cálculo da Capacidade.

#### **4.8. Hipóteses para a análise**

Para realizar as análises com o modelo de aplicação, diferentes cenários foram concebidos através da verificação das características da rede nacional de transporte aéreo, de forma a estabelecer as hipóteses para as “rodadas” com o modelo de aplicação.

Considerando as respostas obtidas entre especialistas do setor, tendo em vista a rede nacional de transporte aéreo, foram estabelecidos valores-base para as distâncias de diferentes etapas, a saber:

- Etapa de curta distância - 336 nm (aprox. 622 km)
- Etapa de média distância - 689 nm (aprox. 1276 km);
- Etapa de longa distância - 1279 nm (aprox. 2369 km).

O questionário utilizado na pesquisa entre os especialistas é apresentado no ANEXO 5.

Como o objetivo deste trabalho é oferecer uma ferramenta que possa analisar, comparativamente, as aeronaves, nada melhor do que vê-las competir entre si pelo “direito” de transportar passageiros, num ambiente controlado.

Para realizar as análises de forma o mais realista possível, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- Aeródromo a 3000 pés de elevação foi considerado aeródromo elevado para os padrões nacionais;
- Pista com TORA = 1800 m, foi considerada como uma pista reduzida para operação de aeronaves comerciais a jato com capacidade entre 50 e 150 assentos;
- Vento calmo na decolagem e em vôo e;
- ISA+10 em quatro diferentes cenários estabelecidos para representar o perfil de operação de uma frota aérea no território nacional.

## **CENÁRIO 1 – Operando ao nível do mar sem restrições de pista**

### Missão 1 (C1M1)

Decolar de um aeródromo ao nível do mar (Elev. = 0 ft), temperatura do ar (OAT = 25°C), sem restrições de pista (TORA > 3000 m), voar (Distância = 336 nm) e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm ao nível do mar.

### Missão 2 (C1M2)

Decolar de um aeródromo ao nível do mar (Elev. = 0 ft), temperatura do ar (OAT = 25°C), sem restrições de pista (TORA > 3000 m), voar (Distância = 689 nm) e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

### Missão 3 (C1M3)

Decolar de um aeródromo ao nível do mar (Elev. = 0 ft), temperatura do ar (OAT = 25°C), sem restrições de pista (TORA > 3000 m), voar (Distância = 1279 nm) e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

## **CENÁRIO 2 – Operando ao nível do mar em pista reduzida**

### Missão 1 (C2M1)

Decolar de um aeródromo ao nível do mar em pista reduzida (TORA = 1800 m), temperatura do ar (OAT = 25°C), voar (Distância = 336 nm) e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

### Missão 2 (C2M2)

Decolar de um aeródromo ao nível do mar em pista reduzida (TORA = 1800 m), temperatura do ar (OAT = 25°C), voar (Distância = 689 nm) e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

### Missão 3 (C2M3)

Decolar de um aeródromo ao nível do mar em pista reduzida (TORA = 1800 m), voar 1279 nm e pousar no destino sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

### **CENÁRIO 3 – Operando em aeroporto elevado sem restrições de pista**

#### Missão 1 (C3M1)

Decolar de um aeródromo elevado (3000 ft), temperatura do ar (OAT = 19°C), sem restrições de pista (TORA > 3000 m), voar 336 nm e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

#### Missão 2 (C3M2)

Decolar de um aeródromo elevado (3000 ft), temperatura do ar (OAT = 19°C), sem restrições de pista (TORA > 3000 m), voar 689 nm e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

#### Missão 3 (C3M3)

Decolar de um aeródromo elevado (3000 ft), temperatura do ar (OAT = 19°C), sem restrições de pista (TORA > 3000 m), voar 1279 nm e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

## **CENÁRIO 4 – Operando em aeroporto elevado com pista reduzida**

### Missão 1 (C4M1)

Decolar de um aeródromo elevado (3000 ft), temperatura do ar (OAT = 19°C), com pista reduzida (TORA = 1800 m), voar 336 nm e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

### Missão 2 (C4M2)

Decolar de um aeródromo elevado (3000 ft), temperatura do ar (OAT = 19°C), com pista reduzida (TORA = 1800 m), voar 689 nm e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

### Missão 3 (C4M3)

Decolar de um aeródromo elevado (3000 ft), temperatura do ar (OAT = 19°C), com pista reduzida (TORA = 1800 m), voar 1279 nm e pousar no destino, sem restrições de pista para pouso (LDA > 2000 m), considerando reservas de combustível para uma alternativa a 100 nm e ao nível do mar.

#### 4.9. Resultados da aplicação

As Figuras 4.6 e 4.7 apresentam os resultados dos cálculos realizados com o Módulo 1, obtidos, inicialmente, para a aeronave de referência (Tipo B) e depois convertidos através dos fatores de comparação, para gerar os dados dos demais tipos de aeronaves.

DESEMPENHO AERONAVE-MISSÃO													
			A		Fator	B		Fator	C		Fator	D	
CENÁRIO 1	C1M1 Elev. = 0 ft OAT = 25 C TORA = 3000 m Dist. = 336 nm	MTOW				52813	kg		16348			14113	
		Allowed Payload	16547		1,081	15307	kg	1,068	1916	0,922		2220	
		Fuel Burned	1967		0,848	2320	kg	0,826	1916	0,957		2220	
		Flight Time	0 : 54		0,938	0 : 58		0,913	0 : 53			0 : 58	
		Average Speed				348	kt					348	kt
		Limitação				ZFW	F	5					
				A		B		C		D			
	C1M2 Elev. = 0 ft OAT = 25 C TORA = 3000 m Dist.=689nm	MTOW				54692	kg		16348	0,922		14113	
Allowed Payload		16547		1,081	15307	kg	1,068	3327	0,957		3855		
Fuel Burned		3416		0,848	4028	kg	0,826	3327			3855		
	Flight Time	1 : 39		0,938	1 : 46		0,913	1 : 37			1 : 46		
	Average Speed				390	kt					390	kt	
	Limitação				ZFW	F	5						
			A		B		C		D				
C1M3 Elev. = 0 ft OAT = 25 C TORA = 3000 m Dist.=1279nm	MTOW				56964	kg		15296	0,922		13205		
	Allowed Payload	15482		1,081	14322	kg	1,068	5773	0,957		6689		
	Fuel Burned	5927		0,848	6989	kg	0,826	5773			6689		
	Flight Time	2 : 52		0,938	3 : 3		0,913	2 : 47			3 : 3		
	Average Speed				419	kt	1,087	456			419	kt	
	Limitação				TOW	F	5						
			A		B		C		D				
CENÁRIO 2	C2M1 Elev. = 0 ft OAT = 25 C Pista Red.(TORA=1800m) Dist.=336nm	MTOW				52813	kg		16348	0,922		14113	
		Allowed Payload	16547		1,081	15307	kg	1,068	1916	0,957		2220	
		Fuel Burned	1967		0,848	2320	kg	0,826	1916			2220	
		Flight Time	0 : 54		0,938	0 : 58		0,913	0 : 53			0 : 58	
		Average Speed				348	kt					348	kt
		Limitação				ZFW	F	15					
				A		B		C		D			
	C2M2 Elev. = 0 ft OAT = 25 C Pista Red.(TORA=1800m) Dist.=689nm	MTOW				52964	kg		14503	0,922		12520	
		Allowed Payload	14679		1,081	13579	kg	1,068	3327	0,957		3855	
Fuel Burned		3416		0,848	4028	kg	0,826	3327			3855		
	Flight Time	1 : 39		0,938	1 : 46		0,913	1 : 37			1 : 46		
	Average Speed				390	kt					390	kt	
	Limitação				TOW	F	15						
			A		B		C		D				
C2M3 Elev. = 0 ft OAT = 25 C Pista Red.(TORA=1800m) Dist.=1279nm	MTOW				52964	kg		11024	0,922		9517		
	Allowed Payload	11158		1,081	10322	kg	1,068	5773	0,957		6689		
	Fuel Burned	5927		0,848	6989	kg	0,826	5773			6689		
	Flight Time	2 : 52		0,938	3 : 3		0,913	2 : 47			3 : 3		
	Average Speed				419	kt					419	kt	
	Limitação				TOW	F	15						

Figura 4.6a – Resultados da Aplicação com o Módulo 1.

Resultados da aplicação do Módulo 1 (cont.):

DESEMPENHO AERONAVE-MISSÃO												
		A		Fator	B		Fator	C		Fator	D	
CENÁRIO 3	C3M1 Elev = 3000 ft OAT = 19 C TORA = 3000 m Dist.=336nm	MTOW			52813 kg			16348			14113	
	Allowed Payload	16547	1,081	15307 kg	1,068	1916	0,922	2220	0,957	14113		
	Fuel Burned	1967	0,848	2320 kg	0,826	1916	0,957	2220	0,957	14113		
	Flight Time	0 : 54	0,938	0 : 58	0,913	0 : 53		0 : 58		0 : 58		
	Average Speed			348 kt				348 kt		348 kt		
	Limitação			ZFW F 5								
		A			B			C			D	
	C3M2 Elev = 3000 ft OAT = 19 C TORA = 3000 m Dist.=689nm	MTOW			54692 kg			16348			14113	
	Allowed Payload	16547	1,081	15307 kg	1,068	3327	0,922	14113	0,957	14113		
	Fuel Burned	3416	0,848	4028 kg	0,826	3327	0,957	3855	0,957	3855		
	Flight Time	1 : 39	0,938	1 : 46	0,913	1 : 37		1 : 46		1 : 46		
	Average Speed			390 kt				390 kt		390 kt		
	Limitação			ZFW F 5								
		A			B			C			D	
	C3M3 Elev = 3000 ft OAT = 19 C TORA = 3000 m Dist.=1279nm	MTOW			55240 kg			13455			11615	
	Allowed Payload	13618	1,081	12598 kg	1,068	5773	0,922	6689	0,957	11615		
	Fuel Burned	5927	0,848	6989 kg	0,826	5773	0,957	6689	0,957	6689		
	Flight Time	2 : 52	0,938	3 : 3	0,913	2 : 47		3 : 3		3 : 3		
	Average Speed			419 kt				419 kt		419 kt		
	Limitação			TOW F 5								
CENÁRIO 4												
		A			B			C			D	
	C4M1 Elev = 3000 ft OAT = 19 C Pista Red.(TORA=1800m) Dist.=336nm	MTOW			50341 kg			13707			11833	
	Allowed Payload	13874	1,081	12835 kg	1,068	1916	0,922	2220	0,957	11833		
	Fuel Burned	1967	0,848	2320 kg	0,826	1916	0,957	2220	0,957	2220		
	Flight Time	0 : 54	0,938	0 : 58	0,913	0 : 53		0 : 58		0 : 58		
	Average Speed			348 kt				348 kt		348 kt		
	Limitação			TOW F 15								
		A			B			C			D	
	C4M2 Elev = 3000 ft OAT = 19 C Pista Red.(TORA=1800m) Dist.=689nm	MTOW			50341 kg			11701			10101	
	Allowed Payload	11843	1,081	10956 kg	1,068	3327	0,922	10101	0,957	10101		
	Fuel Burned	3416	0,848	4028 kg	0,826	3327	0,957	3855	0,957	3855		
	Flight Time	1 : 39	0,938	1 : 46	0,913	1 : 37		1 : 46		1 : 46		
	Average Speed			390 kt				390 kt		390 kt		
	Limitação			TOW F 15								
		A			B			C			D	
	C4M3 Elev = 3000 ft OAT = 19 C Pista Red.(TORA=1800m) Dist.=1279nm	MTOW			50341 kg			8222			7098	
	Allowed Payload	8322	1,081	7698 kg	1,068	5773	0,922	6689	0,957	7098		
	Fuel Burned	5927	0,848	6989 kg	0,826	5773	0,957	6689	0,957	6689		
	Flight Time	2 : 52	0,938	3 : 3	0,913	2 : 47		3 : 3		3 : 3		
	Average Speed			419 kt				419 kt		419 kt		
	Limitação			TOW F 15								

Figura 4.6b – Resultados da Aplicação com o Módulo 1 (cont.).

Da amostra obtida com a aplicação do Módulo 1, foram selecionadas as saídas para o Cenário 4, o mais restritivo. Com estas saídas o módulo 2 realizou a Classificação das Aeronaves e forneceu os resultados finais que são apresentados na Figura 4.7.

A Figura 4.7 apresenta os resultados da aplicação das saídas do Módulo 1 operadas pelo Módulo 2 para o cenário mais restritivo (Cenário 4).

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE AERONAVES																
ACFT TYPE	CAP.	OTD.	HIDIA	HORAS	UTILIZAÇÃO		Período	CENÁRIO								
A	130	1	9	63	31,3%	%	7 dias	4								
B	130	1	9	63	9,4%	%										
C	130	1	9	63	16,4%	%										
D	117	1	9	63	42,9%	%										
Restrições																
Oferta mín. 12	R1	130	ACAM1	ACAM3	BCAM1	BCAM2	BCAM3	CCAM1	CCAM2	CCAM3	DCAM1	DCAM2	DCAM3	TOTALS	Restrições	Margin
Oferta max. 12	R2	130	130	130	130	130	130	117	117	117	117	117	117	10075	>=	10000
Oferta mín. 23	R3		130	130	121	121	130	130	130	130	112	112	112	8000	>=	12000
Oferta max. 23	R4		130	130	121	121	130	130	130	130	112	112	112	8000	<=	8000
Oferta mín. 31	R5			92	85	85	85			91			78	6004	>=	9600
Oferta max. 31	R6			92	85	85	85			91			78	6004	<=	6000
TIVA	R7	0,8833	1,6500	2,8666	0,9666	1,7666	3,0500	0,8833	1,6166	2,7833	0,9666	1,7666	3,0500	0	<=	63
TIVB	R8													63	<=	0
	R9													60	<=	123
	R10													63	<=	3
	R11													18	<=	45
	R12													0	<=	PARADO
	R13													63	<=	37
	R14													18	<=	45
	R15													0	<=	PARADO
	R16													63	<=	60
	R17													61	<=	64
	R18													63	<=	2
TIVD	R16													63	<=	0
	R17													63	<=	19
	R18													61	<=	168
Mín. Custos	Z	2457	4589	7972	2229	4074	7035	2264	4143	7134	2058	3762	6494	949286	Util. Da Frota	
Vóos	218	0	38	21	19	0	6	0	2	22	65	25	20	CUSTO	Utiliz Actual	392
	Vóos													SEMANAL	Utiliz Max	756
															Ociosidade	364

Legenda  
Entradas  
Saídas  
Parâmetros e Variáveis  
Limites

Figura 4.7 – Painel Principal do Módulo 2 com a solução da Aplicação.

Como saídas do Módulo 2, vem:

Min. Custos	z	2457	4589	7972	2229	4074	7035	2264	4143	7134	2058	3762	6494	949286
Vôos	218	0	38	21	19	0	6	0	2	22	65	25	20	CUSTO SEMANAL
Vôos		AC4M1	AC4M2	AC4M3	BC4M1	BC4M2	BC4M3	CC4M1	CC4M2	CC4M3	DC4M1	DC4M2	DC4M3	

Figura 4.8 – Destaque da Solução do Módulo 2.

Considerando o período de uma semana, para atingir os níveis de oferta estabelecidos e as restrições de capacidade e tempo de utilização, o sistema estabeleceu um total de 218 vôos semanais e alocou os diferentes tipos de aeronaves entre as missões de curto, médio e longo alcance oferecendo uma solução ótima em que os custos operacionais diretos são minimizados. Interpretando esta solução, fica estabelecido o ordenamento (ranking) entre os tipos de aeronaves analisados para cada missão. A Tabela 4.10 apresenta a solução interpretada com o resultado final da aplicação do modelo de seleção de aeronaves:

Tabela 4.10 – Resultado da Aplicação com o Modelo de Seleção de Aeronaves.

Tipo de Missão	Classificação das Aeronaves (Ranking)		
	Ótima	Aceitável	Imprópria
Curta distância – 336 nm C4M1	D (65 vôos)	B (19 vôos)	A e C (0 vôos)
Média distância – 689 nm C4M2	A (38 vôos)	D (25 vôos)	C e B (2 e 0 vôos)
Longa distância – 1279 nm C4M3	C (22 vôos)	A e D (21 e 20 vôos)	B (6 vôos)

A Figura 4.9 apresenta um gráfico com a solução obtida.

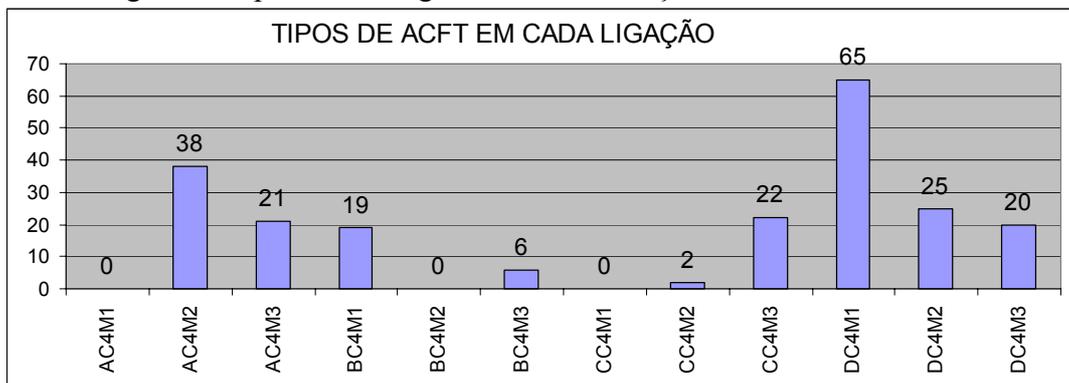


Figura 4.9 – Gráfico com o resultado da Aplicação do Modelo.

Dos resultados obtidos pode-se observar que a aeronave melhor classificada para a missão de curta distância e maior nível de oferta, foi a aeronave tipo D de menor capacidade nominal (115 assentos), o que mostra o caráter específico e combinado da solução de um problema de seleção de aeronaves.

Para a missão de média distância, a solução mostra, claramente, o favoritismo da aeronave tipo A mais moderna e adequada ao mercado em questão.

Outro aspecto que deve ser levado em conta é que, no caso da missão de longa distância, houve praticamente um empate técnico entre as aeronaves tipo A, C e D.

No anexo é apresentado o Relatório de Resposta emitido pelo Microsoft Excel.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo proposto pode ainda ser ajustado para estabelecer a alocação ótima de uma frota, basta que sejam alterados os controles no quadro denominado *Aircraft Type* no campo QTD (quantidade na frota), localizado no canto superior esquerdo do painel (Figura 17). Desta forma o modelo de seleção de aeronaves pode auxiliar o operador de transportes não só na composição de sua frota, mas também no planejamento desta.

Outro aspecto que deve ser observado é que o modelo pode, perfeitamente, ser adaptado para atender as empresas de carga aérea em geral, bastando para isso converter os cálculos de disponibilidade de transporte não mais em assento.kilômetro mas em tonelada.kilômetro.

A análise aqui proposta pode servir também ao órgão gestor, para avaliar se um dado operador tem real capacidade de operar em bandas tarifárias especificadas ou mesmo pleitear novas linhas.

É importante salientar que o planejamento de frota, do qual a seleção de aeronaves é apenas uma parte do problema, apresenta considerável complexidade uma vez que depende de fatores tais como: comportamento da demanda por transportes ao longo do tempo; o problema do desempenho de aeronaves nas missões e efeitos das variações ambientais; estruturas de custos fortemente influenciadas por variações cambiais; regulação e acordos bilaterais fortemente influenciados por questões diplomáticas e políticas; variações da infra-estrutura aeronáutica e, finalmente, mecanismos de preço e custeio da produção.

### 5.1. Linhas de continuidade para este trabalho

Quanto às possíveis linhas de continuidade para este trabalho, pode-se considerar o seguinte:

- A possibilidade da realização de um estudo de caso num ambiente real seria muito importante para o aprimoramento do modelo proposto.
- Uma implementação computacional possibilitaria sua utilização em escala comercial.
- Este tipo de análise, se conduzido no sentido inverso, pode proporcionar ao fabricante de aeronaves uma visão de qual tipo de aeronave deve ser oferecida a determinado operador, tendo em vista as características da rede operada e do mercado a ser atendido. Nesta direção, pode-se chegar à conclusão que uma nova aeronave precisa ser projetada com características especiais para preencher um determinado nicho de mercado.
- É oportuno mencionar que o modelo aqui proposto, é de natureza determinística, porém, tendo em vista que há diversos mecanismos de filas ao longo do ciclo de atividades descrito por uma aeronave ou frota em operação, um modelo de simulação a eventos discretos poderia agregar o caráter aleatório observado no mundo real, através da utilização de geradores de variáveis pseudo-aleatórias tais como: ventos na decolagem, ventos em rota, tempos de espera para taxiar, decolar, entrar em aproximação, pousar etc.
- Outra possibilidade é a comparação com outros métodos de seleção de aeronaves;

- O aprimoramento do modelo de programação matemática, através do incremento de restrições e variáveis de decisão, ou mesmo realizando análises multi-objetivo pode também trazer benefícios e soluções ainda mais específicas.
- E, finalmente, seguindo o conselho do Professor Mora-Camino e seus colaboradores, seria recomendável empregar este tipo de modelagem à luz da Teoria de Grafos, o que pode ser uma boa linha de pesquisa no sentido de estabelecer a programação de vôos ideal.

## 5.2. CONCLUSÕES

A modelagem matemática feita com o auxílio de planilhas eletrônicas e bancos de dados na geração de cenários a serem analisados através de técnicas de Pesquisa Operacional podem proporcionar uma importante ferramenta de apoio ao processo de seleção de aeronaves e alocação de frotas. Sendo assim, verifica-se que os métodos quantitativos podem auxiliar muito na tomada de decisões na organização de transportes, tornando a decisão muito mais fácil e precisa.

O modelo proposto apresentou resultados claros para o processo de decisão, considerando aspectos técnicos e econômicos oferecendo uma classificação das diferentes aeronaves que identifica, comparativamente, as qualidades e deficiências de cada uma conforme o cenário de operação e o nível de oferta estabelecido. Neste sentido, considera-se que o objetivo principal deste trabalho foi atingido.

A proposta contida neste estudo deve, no entanto, ser considerada como complementar ao processo de seleção de aeronaves, já que é impossível contemplar todas as variáveis envolvidas nestes processos.

Outro fator importante é a necessidade de uma familiarização com os aspectos técnicos e detalhes da operação de vôo em si, para a obtenção do melhor desempenho de um sistema de transporte aéreo em seu cenário de operação.

Ficou claro também, que nem sempre é possível operar em níveis ótimos, porém, uma ferramenta de apoio à decisão será sempre como uma “bússola” no painel a indicar a direção mais favorável a seguir.

Na busca da melhor programação de vôos, a análise de diferentes cenários pode auxiliar muito o processo e, neste sentido, não se deve abrir mão da intuição no estabelecimento destes cenários nem a experiência daqueles que atuam no setor há longo tempo.

## BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

- CBA – Código Brasileiro de Aeronáutica, Brasil, 1999.
- DAC – Anuários do Transporte Aéreo - Dados Econômicos, Brasil, 2002.
- DOGANIS, R. *Flying Off Course – The Economics of International Airlines*. 2 ed. Routledge, USA, 2001.
- EAPAC – Escola de Aperfeiçoamento e Preparação da Aeronáutica Civil, Manual de Operações Boeing 737-300 – Apostila do curso de DOV - Ed. EAPAC (Cortesia, Operações Transbrasil) – Rio de Janeiro, Brasil, 1990.
- EMBRAER – Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A., *Operation Engineering Course – Study Book*. São Paulo, Brasil, 2002.
- GIL, A. C., Como Elaborar Projetos de Pesquisa. Ed. Atlas São Paulo – Brasil, 1996.
- HOFFER, *The Airline Pride Guide* – USA, 1998.
- HOLLOWAY, S., *Straight and Level: practical airline economics*. Ashgate Publishing Limited. England, 1997.
- KROO, I., *The Effect of Aircraft Size on Performance. Article - Department of Aeronautics and Astronautics* – Califórnia, 1994.
- LACHTERMACHER, G. , Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões. Editora Campus - Rio de Janeiro, Brasil, 2002.
- LEE, J. J. *Historical and Future Trends in Aircraft Performance, Cost, and Emissions*. MIT – M.Sc. Tesis., USA, 2000.
- MACHADO, M.M., ZANETTINI, G., SILVA, V.L. e ESPIRITO SANTO JR, R., Uma Abordagem Fuzzy para o Processo de Seleção de Aeronaves no Brasil. Artigo apresentado no SIMPEP – Bauru, Brasil, 2004.
- MEDEIROS e ROCHA, Peso – Balanceamento e *Performance*. EAPAC, Rio de Janeiro, Brasil, 1980.
- MORA-CAMINO, F.M., NEVES, C. e FRANCO, F.M., *Market Study Through The Network's Analysis* - ITA Brazil Agency, Study of Institute of Air Transport. Chapter III of Regional Air Transport in Brazil, 1983.
- NOVAES, A.G., Métodos de Otimização: Aplicações aos transportes. São Paulo, Ed. Edgard Blucher Ltda, Brasil, 1978.
- PADILHA, C.E., *Optimizing Jet Transport Efficiency*. McGraw-Hill Companies, Inc, 1996.
- PEREIRA, A. L., Apostila de Teoria Geral de Sistemas – COPPE/UFRJ, 2003.

DAC - RBHA – Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica. Brasil, 2000.  
WILLIAM J. E. D., Operation of Airliners. Londres Ed. Hutchinson, 1964.  
WANTTAJA, R., *Kitplane Construction* - 2 ed. McGraw-Hill Companies, Inc., USA,  
1996.

## **PERIÓDICOS**

BARAT, J, Editorial sobre de O Estado de São Paulo de 06/10/2004 - Transporte Aéreo:  
“Sobre Sonetos e Emendas”, São Paulo, Brasil, 2004.  
Diretório Aeroespacial Brasileiro, Revista Aviação, Brasil, 2005.  
MANAGEMENT n.46, Ano 8, Vol. 4 – setembro de 2004.

## **DA REDE INTERNACIONAL DE COMPUTADORES – INTERNET.**

[www.embraer.com](http://www.embraer.com) (Embraer-Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.);  
[www.airbus.com](http://www.airbus.com) (*Airbus Industry*);  
[www.boeing.com](http://www.boeing.com) (*Boeing Industry*);  
[www.bombardier.com](http://www.bombardier.com) (*Bombardier Industry*);  
[www.caa.co.uk](http://www.caa.co.uk) (ICAO-EEEDB);  
[www.alm-lease.co.uk](http://www.alm-lease.co.uk)  
[www.cranfield.ac.uk](http://www.cranfield.ac.uk) (*Cranfield University*);  
[www.britishairwaisjobs.com](http://www.britishairwaisjobs.com) (*Brithish Airways*);  
[www.aviation-industry.com](http://www.aviation-industry.com)  
<http://home.earthlink.net/~ralphcooper/biostout.html>  
[www.backaviation.com](http://www.backaviation.com)

## GLOSSÁRIO

### ÁBACO

Calculador manual para efetuar operações elementares. 2. Diagrama nomográfico, nomograma.

### ALGORITMO

Conjunto de regras e operações bem definidas e ordenadas, destinadas à solução de um problema ou classe de problemas em número finito de etapas.

### ANÁLISE

Exame de cada parte de um todo para conhecer-lhe a natureza, as funções etc.

### CENÁRIO

Conjunto de variáveis e distribuições aleatórias ou não, que são definidas para um experimento de simulação.

### CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL - CCO

É a base operacional onde estão instaladas as facilidades da empresa.

### CRITÉRIO

Aquilo que serve para distinguir a verdade do erro. 2. Princípio que se toma como referência para emitir uma apreciação. Conduzir uma análise.

### DESEMPENHO

Ato ou efeito de desempenhar, atuação, comportamento, interpretação.

### ETA

(*estimated time arrival*) – é a hora estimada de chegada.

### ETD

(*estimated time departure*) – é a hora estimada de partida.

### HOLDING

É a espera em órbita preestabelecida, com a finalidade de ordenamento do tráfego aéreo, em zona de aproximação de um aeródromo.

### LONG RANGE CRUISE

É a condição de voo que se obtém a maior distância percorrida para um determinado combustível, ou o menor consumo por distância percorrida.

### MAXIMUM ENDURANCE

É a condição de voo em que se obtém o maior tempo de voo para um determinado combustível, ou menor consumo por tempo. Utilizado para espera (*holding*).

## MODELO

Aquilo que serve de referência ou que é dado para ser reproduzido. Representação em pequena escala de algo que se pretende reproduzir em grande.

## MODELO DETERMINÍSTICO

Quando o resultado que fornecem (numérico ou não) é determinado apenas pelas condições sob as quais o experimento ou o procedimento é executado.

## MODELO NÃO-DETERMINÍSTICO

Quando o comportamento de pelo menos uma das variáveis do modelo não é totalmente determinado pelo estado do Sistema no instante anterior, devido a alguma influência aleatória (indeterminada) sobre a mesma. São também conhecidos como modelos probabilísticos ou estocásticos;

## MTOW

(*maximum takeoff weight*) – é o peso máximo de decolagem, que pode ser limitado por: Comprimento de pista, Estrutura do avião, procedimento de subida, e peso máximo de pouso no destino.

## MLW

(*maximum landing weight*) – é o peso máximo de pouso. Pode ser limitado por: Comprimento de pista, estrutura do avião, pavimento da pista etc.

## MZFW

(*maximum zero fuel weight*) – é o peso máximo sem contar o combustível.

## NOMOGRAMIA

É um processo de cálculo usado pela engenharia para a resolução de problemas matemáticos utilizando gráficos chamados de nomogramas, estes são traçados a partir de um conjunto de eixos convenientemente dispostos, em forma ordenada permitindo resolver grupos de problemas semelhantes. A técnica é utilizada em diversos ramos da ciência tais como; estatística; física; química; economia; astronomia; ciências sociais; geografia, entre outras que utilizam gráficos e ábacos que são representações esquemáticas em que os valores são dados por pontos de interseção, segmentos de reta, ângulos e outras grandezas geométricas.

## NOMOGRAMA

Designação dada aos ábacos com que se resolvem graficamente determinados problemas.

## NOTAM

(*Notice to Airmen*) – Noticiário que informa as condições operacionais dos aeródromos e de radioajudas à navegação aérea.

## NÚMERO MACH

Relação entre a TAS e a Velocidade do Som no nível de vôo (e.g. Mach 1 = 100% da Velocidade do som);

## OPERACIONAL

Relativo à operação. Pronto para funcionar. Que está em condições de realizar operações.

## OTIMIZAÇÃO

Determinação do valor ótimo de uma grandeza. Conjunto de técnicas algorítmicas e de programação usado para buscar o ponto ótimo de funções matemáticas.

## OWE

(*operating weight empty*) – é o peso básico operacional da aeronave. Considera o peso do avião, mais o peso do fluido hidráulico, e óleo de motor.

## PAYLOAD

Carga Paga: É toda a carga a ser transportada por uma aeronave. Consiste do peso dos passageiros, bagagem, carga, correio e equipamentos da empresa.

## PARÂMETRO

Numa expressão ou equação, letra distinta da variável, cujo valor numérico pode ser fixado arbitrariamente.

## PERFORMANCE

Realização, feito, façanha. Capacidade de mecanismo, automóvel etc., de dar o resultado desejado. Eficiência.

## PLANO DE VÔO

Informações específicas, relacionadas com um vôo planejado ou com parte de um vôo de uma aeronave, fornecidas aos órgãos que prestam serviços de tráfego aéreo.

## SELEÇÃO

Escolha criteriosa e fundamentada.

## SIMULAÇÃO

É o processo de elaborar um modelo de um Sistema real e conduzir experimentos com esse modelo, com o propósito de compreender o comportamento ou de avaliar as diversas alternativas para a sua operação.

## SÍNTESE

Operação mental que procede do simples para o complexo. Resumo.

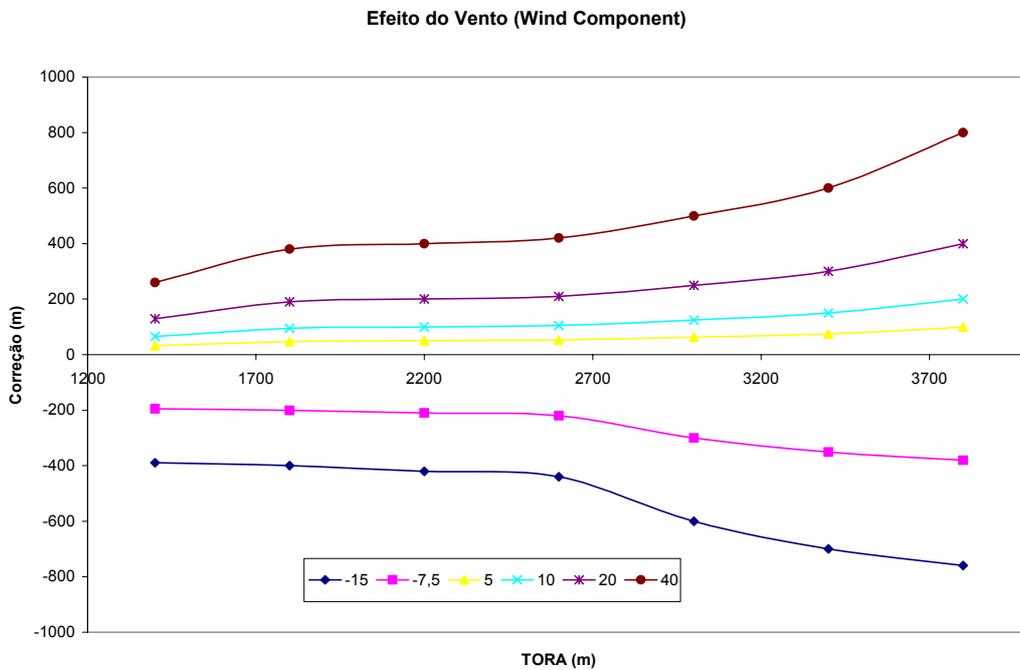
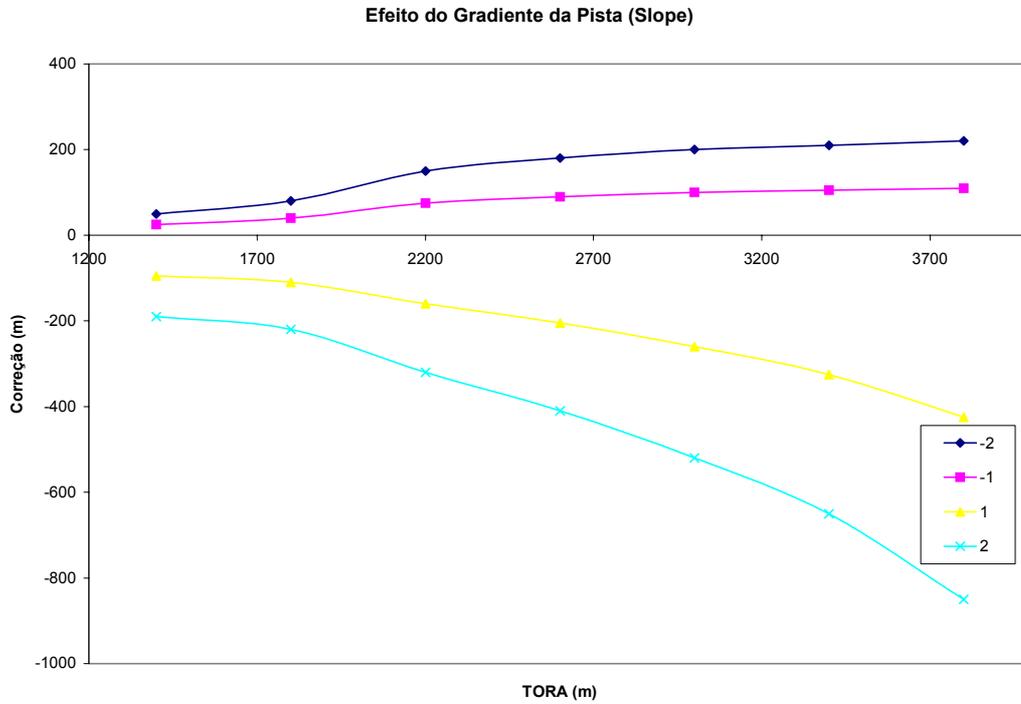
## SISTEMA

“Um conjunto de elementos, dotados de uma organização e sujeitos por esta razão, a interações mútuas”. “Um conjunto de partes interdependentes, agenciadas em função de um objetivo”.

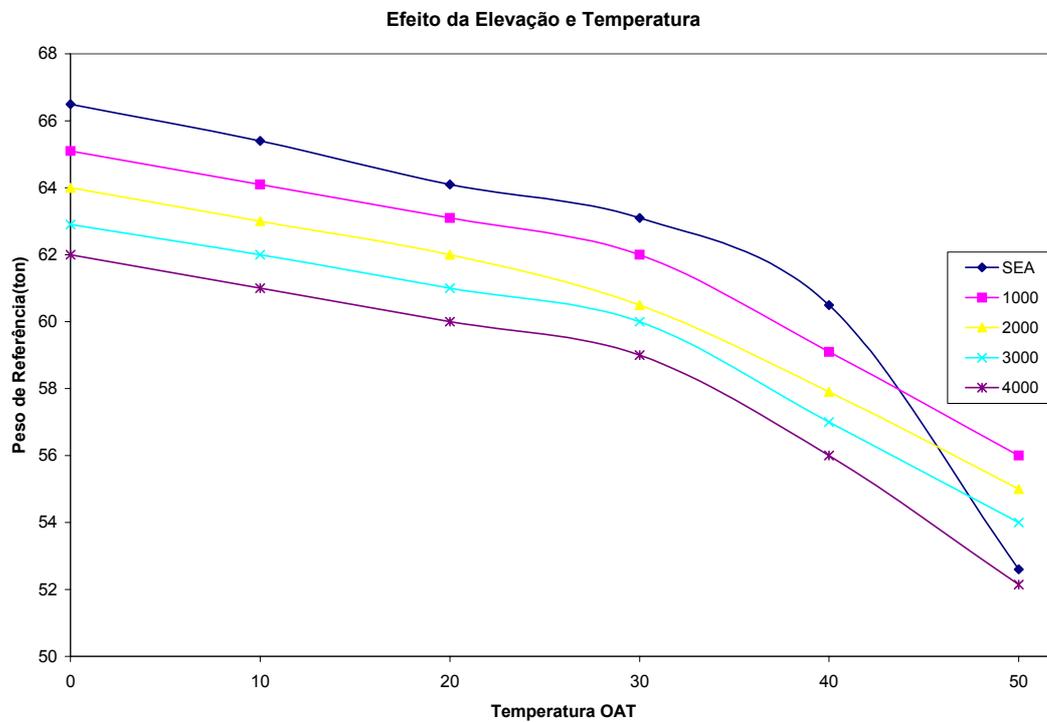
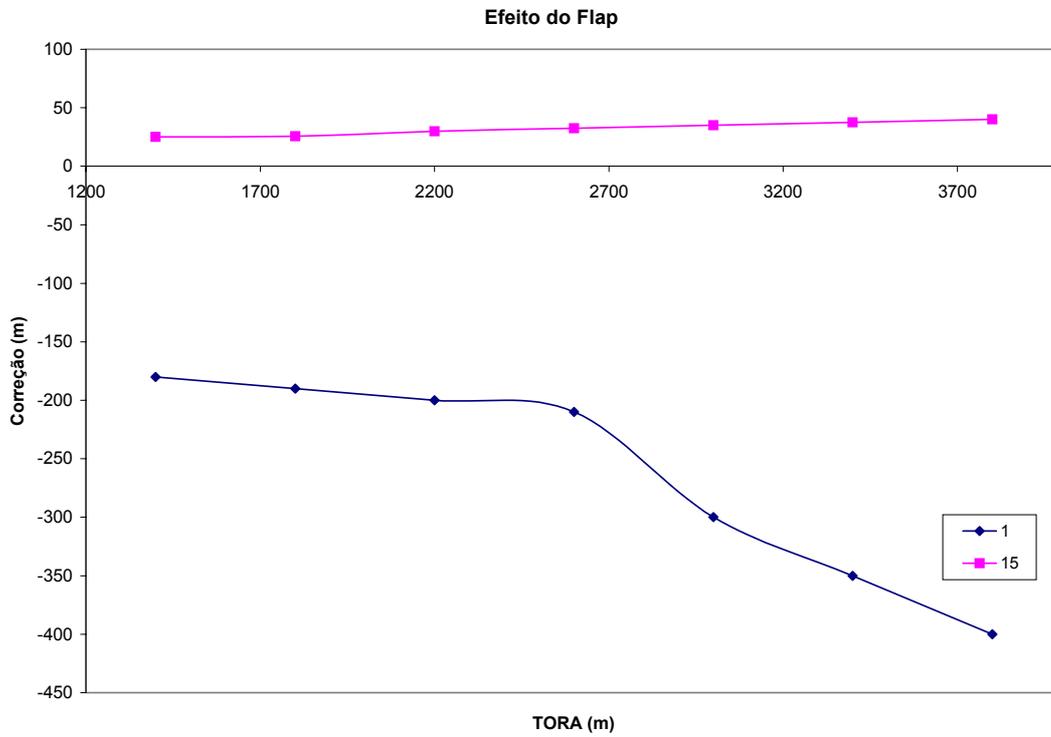
## ANEXO 1 – Características do Modelo

Os gráficos apresentados a seguir, demonstram as características do modelo de aplicação baseado nos nomogramas do B737-300-20k.

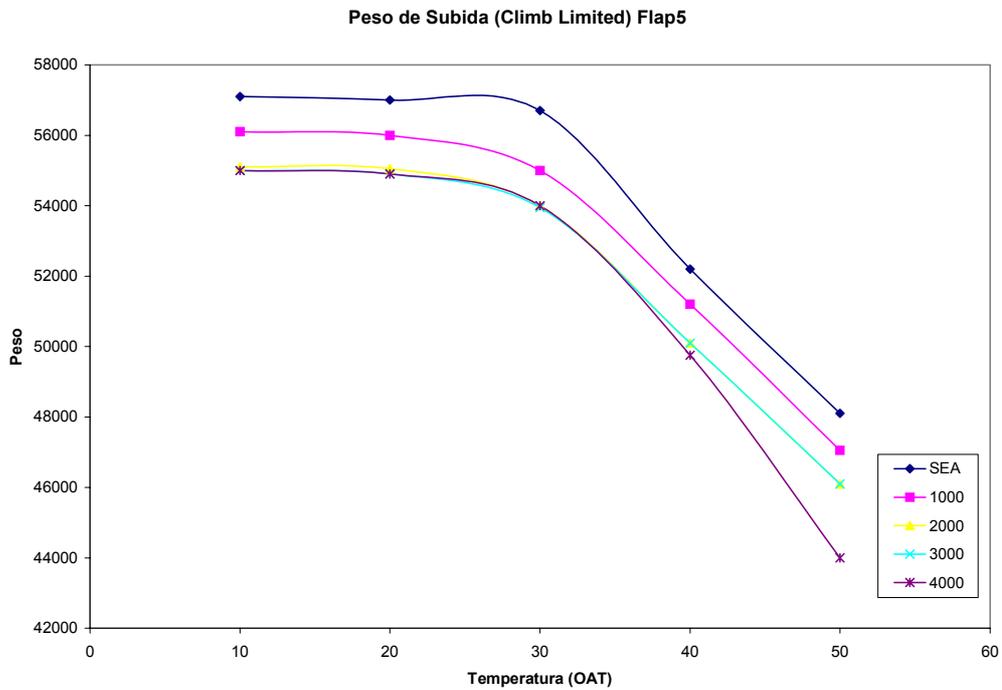
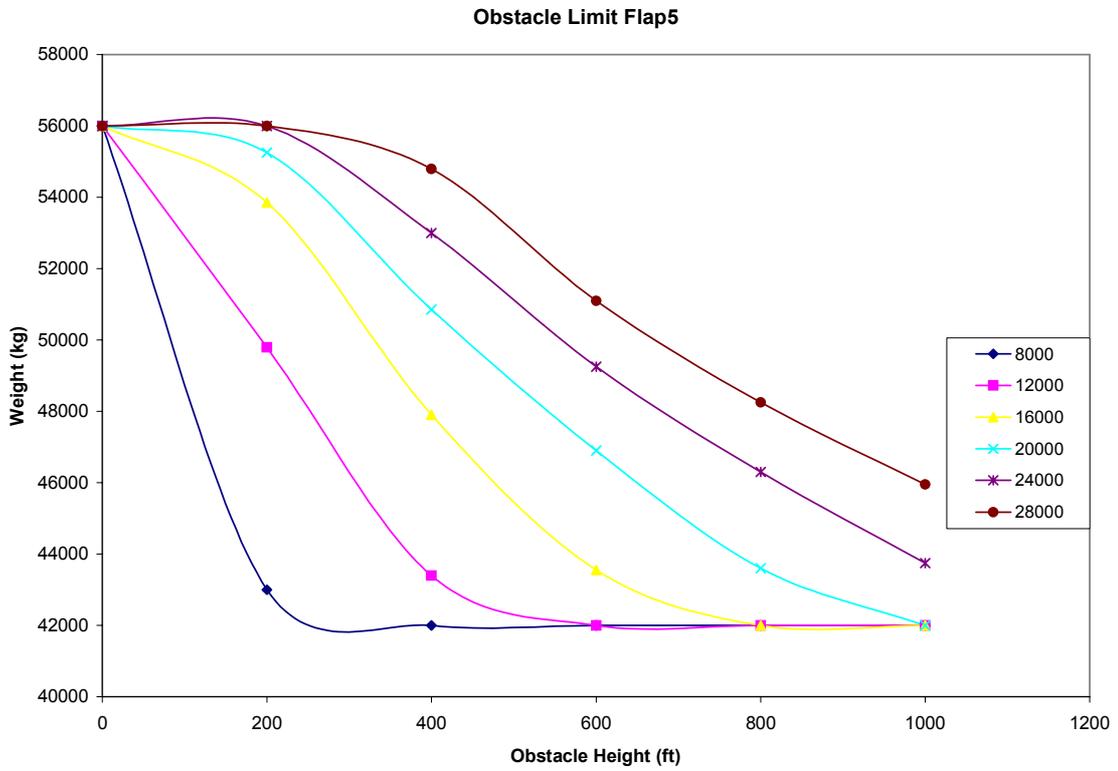
Sistema de Pouso e Decolagem.



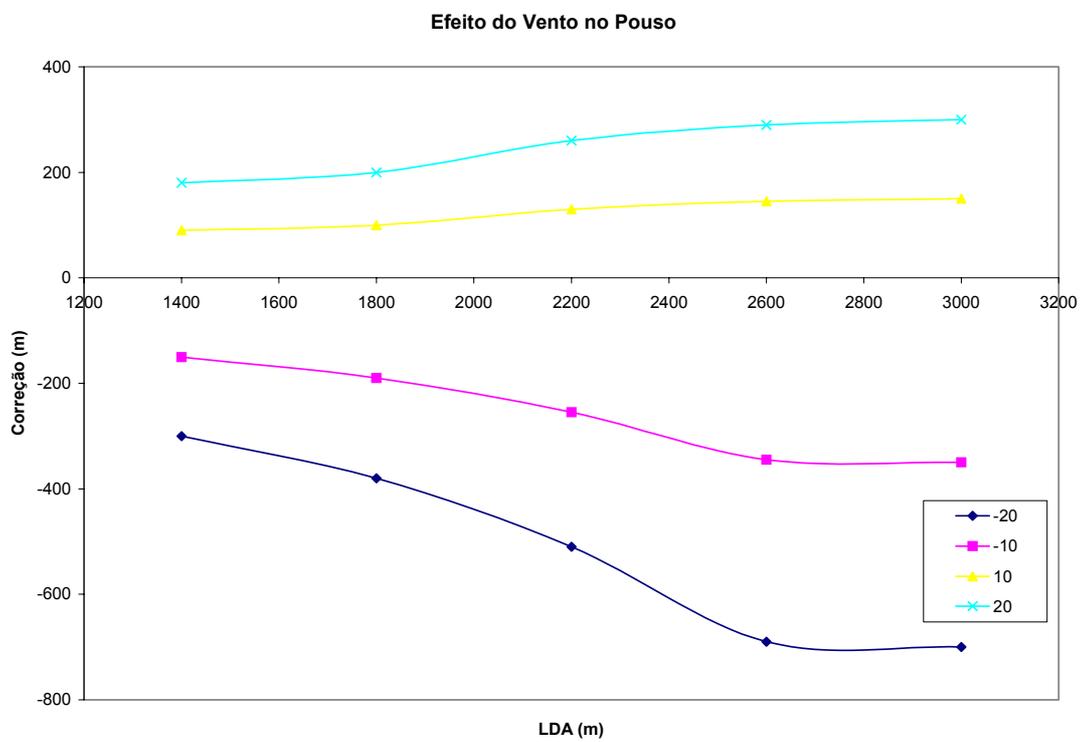
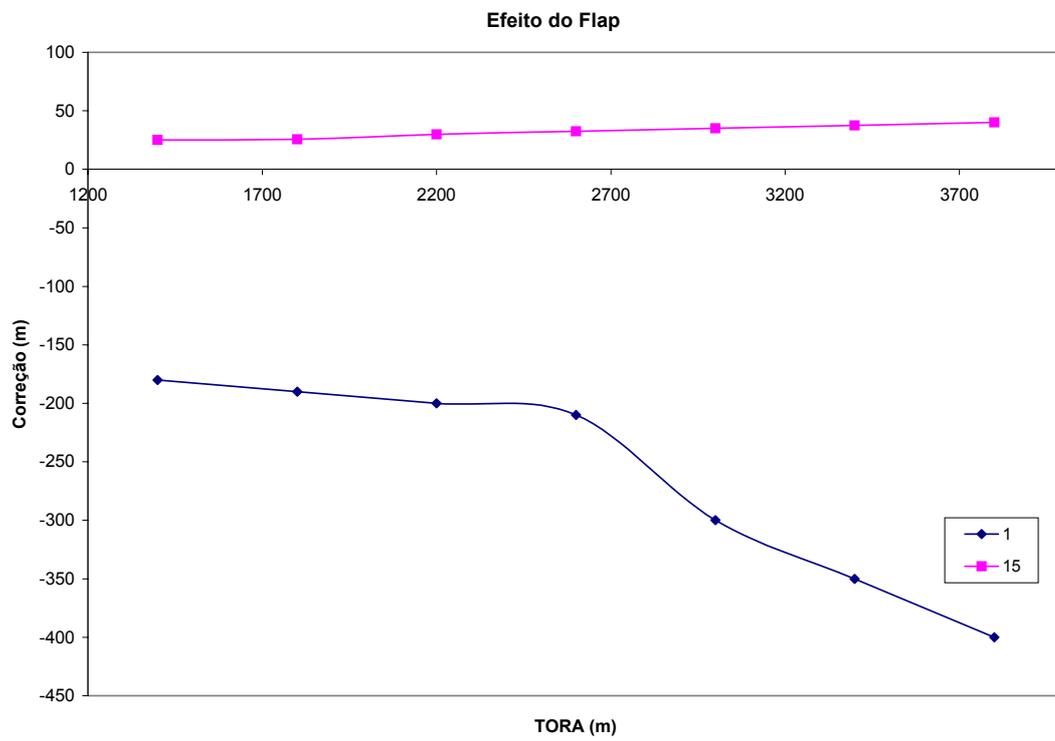
## Características do modelo de aplicação (cont.)



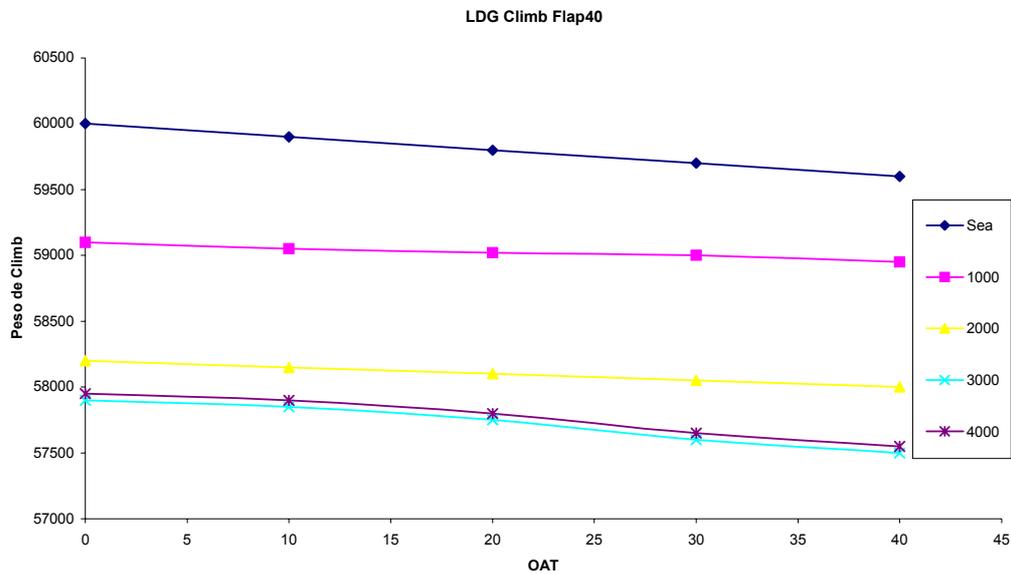
Características do modelo de aplicação (cont.)



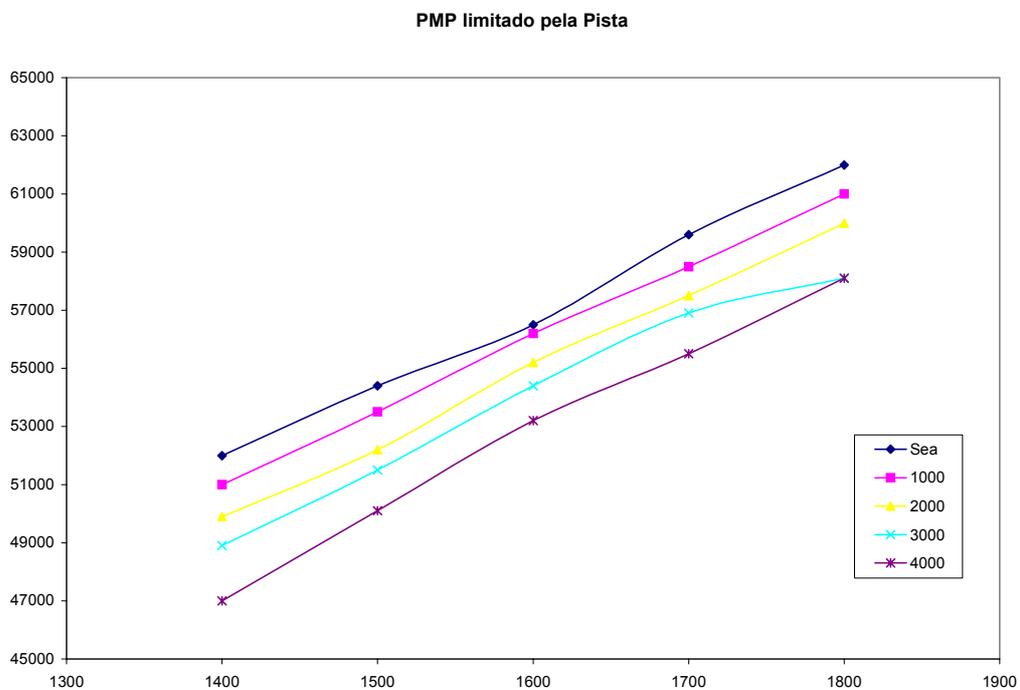
## Características do Modelo de Aplicação (cont.)



## Características do modelo de aplicação (cont.)



Comportamento do Peso máximo de decolagem limitado pela capacidade de subida com a variação da temperatura do ar.  
(Climb Limited Weight x OAT).



Comportamento do Peso Máximo de Pouso limitado pelo comprimento da pista.

Sistema de Plano de Voo – Características.

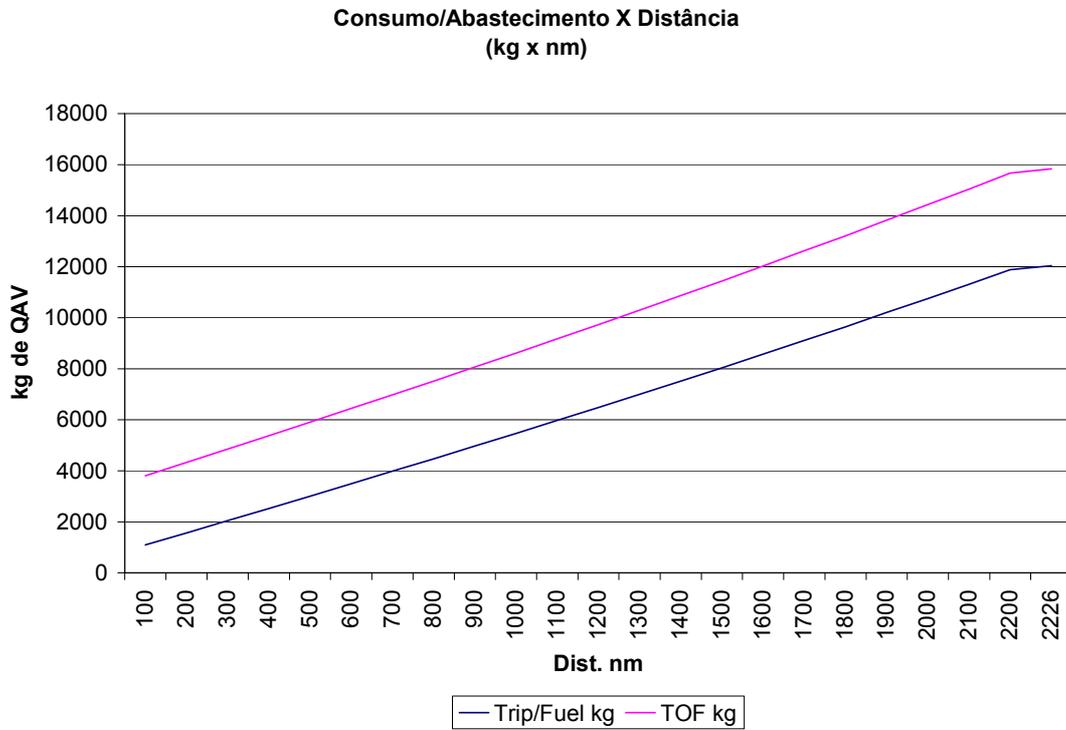


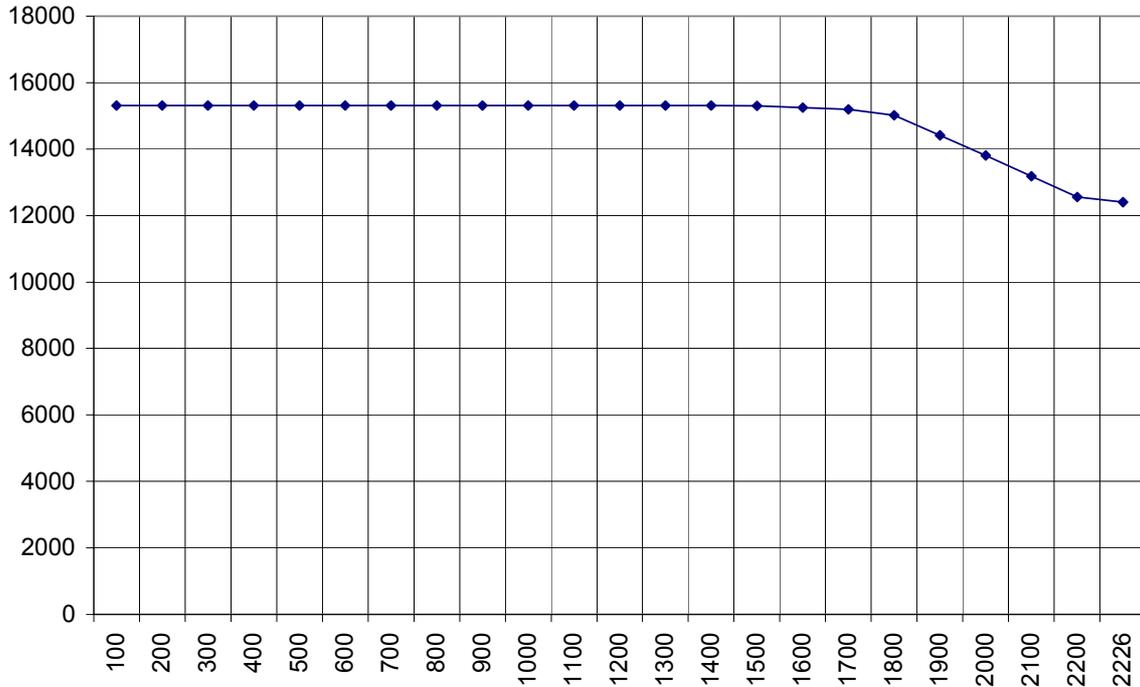
Gráfico Consumo e Abastecimento x Distância [kg x nm]

Gráficos que descrevem o comportamento do subsistema 2 – Plano de vôo.

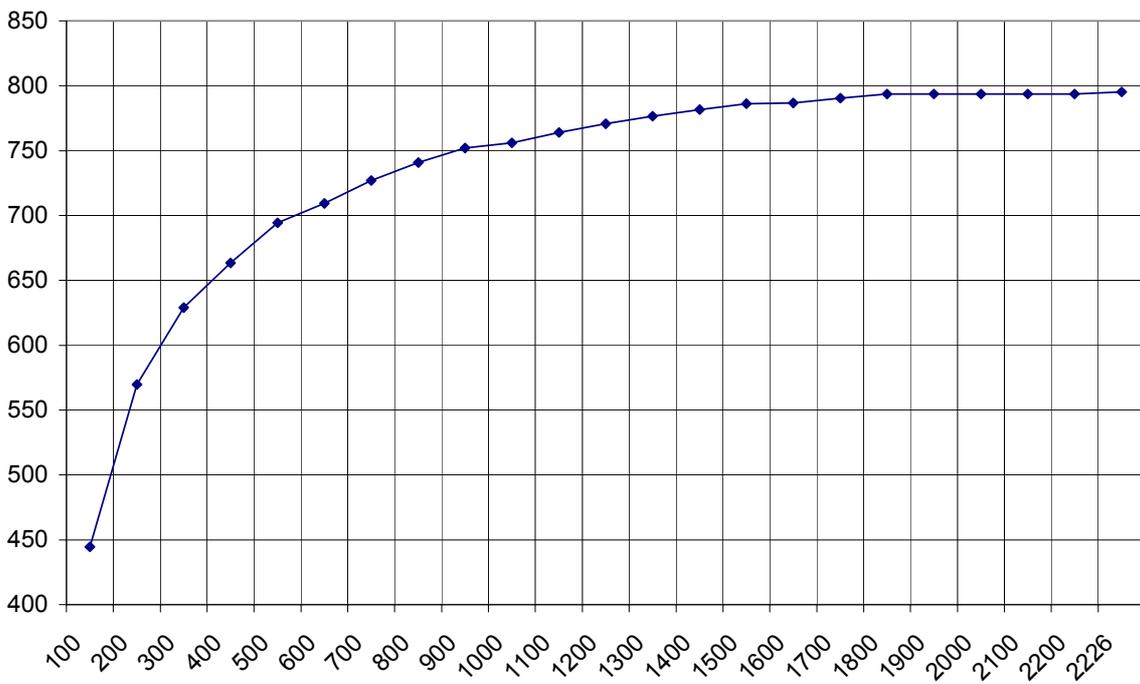
Gráfico Payload x Range [kg/nm]

Gráfico Velocidade Média x Distância da Etapa [km/h x nm]

PAYLOAD (kg)

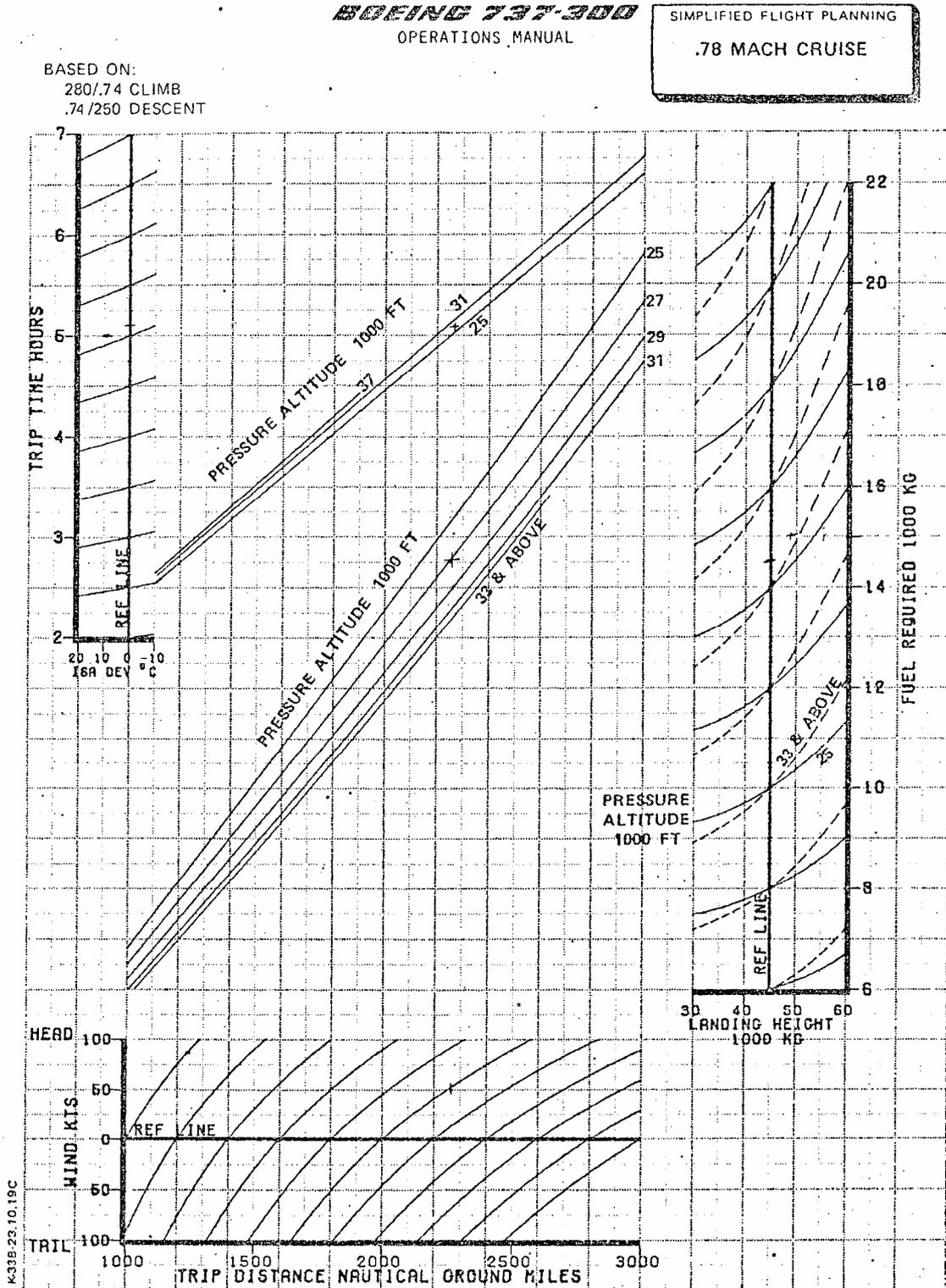


Velocidade Média (km/h)



# ANEXO 2 – Nomogramas de Performance

Modelo de um nomograma de performance para o B737-300.



737-300/CFM56-3-B1

3-K57A  
Nov 15/84

23.10.39

Fonte: Apostila do Curso de DOV da EAPAC.

## ANEXO 3 – Relatório do Microsoft Excel para a análise com o Módulo 2.

Microsoft Excel 11.0 Relatório de resposta  
 Planilha: [MASTER PLAN 4.xls]ACFT Classification  
 Relatório criado: 2/6/2005 21:36:19

Célula de destino (Mín)  
 NENHUMA

Células ajustáveis

Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$E\$29	Vôos AC4M1	0	0
\$F\$29	Vôos AC4M2	38	38
\$G\$29	Vôos AC4M3	21	21
\$H\$29	Vôos BC4M1	19	19
\$I\$29	Vôos BC4M2	0	0
\$J\$29	Vôos BC4M3	6	6
\$K\$29	Vôos CC4M1	0	0
\$L\$29	Vôos CC4M2	2	2
\$M\$29	Vôos CC4M3	22	22
\$N\$29	Vôos DC4M1	65	65
\$O\$29	Vôos DC4M2	25	25
\$P\$29	Vôos DC4M3	20	20

Restrições

Célula	Nome	Valor da célula	Fórmula	Status	Transigência
\$Q\$10	R1 TOTAIS	10075	\$Q\$10>=\$S\$10	Sem agrupar	75
\$Q\$11	R2 TOTAIS	10075	\$Q\$11<=\$S\$11	Sem agrupar	1925
\$Q\$12	R3 TOTAIS	8000	\$Q\$12>=\$S\$12	Agrupar	0
\$Q\$13	R4 TOTAIS	8000	\$Q\$13<=\$S\$13	Sem agrupar	1600
\$Q\$14	R5 TOTAIS	6004	\$Q\$14>=\$S\$14	Sem agrupar	4
\$Q\$15	R6 TOTAIS	6004	\$Q\$15<=\$S\$15	Sem agrupar	1196
\$Q\$16	R7 TOTAIS	0	\$Q\$16<=\$S\$16	Sem agrupar	63
\$Q\$17	R8 TOTAIS	63	\$Q\$17<=\$S\$17	Sem agrupar	0,3
\$Q\$18	R9 TOTAIS	60	\$Q\$18<=\$S\$18	Sem agrupar	2,8014
\$Q\$19	R10 TOTAIS	18	\$Q\$19<=\$S\$19	Sem agrupar	44,6346
\$Q\$20	R11 TOTAIS	0	\$Q\$20<=\$S\$20	Sem agrupar	63
\$Q\$21	R12 TOTAIS	18	\$Q\$21<=\$S\$21	Sem agrupar	44,7
\$Q\$22	R13 TOTAIS	0	\$Q\$22<=\$S\$22	Sem agrupar	63
\$Q\$23	R14 TOTAIS	3	\$Q\$23<=\$S\$23	Sem agrupar	59,7668
\$Q\$24	R15 TOTAIS	61	\$Q\$24<=\$S\$24	Sem agrupar	1,7674
\$Q\$25	R16 TOTAIS	63	\$Q\$25<=\$S\$25	Sem agrupar	0,171
\$Q\$26	R17 TOTAIS	44	\$Q\$26<=\$S\$26	Sem agrupar	18,835
\$Q\$27	R18 TOTAIS	61	\$Q\$27<=\$S\$27	Sem agrupar	2
\$E\$29	Vôos AC4M1	0	\$E\$29=número	Agrupar	0
\$F\$29	Vôos AC4M2	38	\$F\$29=número	Agrupar	0
\$G\$29	Vôos AC4M3	21	\$G\$29=número	Agrupar	0
\$H\$29	Vôos BC4M1	19	\$H\$29=número	Agrupar	0
\$I\$29	Vôos BC4M2	0	\$I\$29=número	Agrupar	0
\$J\$29	Vôos BC4M3	6	\$J\$29=número	Agrupar	0
\$K\$29	Vôos CC4M1	0	\$K\$29=número	Agrupar	0
\$L\$29	Vôos CC4M2	2	\$L\$29=número	Agrupar	0
\$M\$29	Vôos CC4M3	22	\$M\$29=número	Agrupar	0
\$N\$29	Vôos DC4M1	65	\$N\$29=número	Agrupar	0
\$O\$29	Vôos DC4M2	25	\$O\$29=número	Agrupar	0
\$P\$29	Vôos DC4M3	20	\$P\$29=número	Agrupar	0



## ANEXO -5 – Questionários utilizados

### QUESTIONÁRIO 1 (PARTE - 1)

Para o caso em estudo, serão consideradas somente aeronaves Bi-reatoras de fuselagem estreita (Two-engine narrow body jet), normalmente empregadas no transporte regional de passageiros no Brasil.

Operação da Ponte Aérea Rio – São Paulo.

Favor preencher os campos com:

- N - Nenhuma Importância
- P - Pouca Importância
- R - Razoável Importância
- I - Importante
- MI - Muito Importante

Avaliando as Características Técnicas das Aeronaves para a etapa Rio-São Paulo SDU-CGH-SDU (Distância : 250 nm + Alternativa : 250 nm com restrições p/ decolagem e pouso)			
Capacidade de cabine de Passageiros		Capacidade	
Capacidade dos porões de Carga			
Alcance com Máximo Payload		Alcance	
Alcance com Máximo Abastecimento			
Velocidade de Cruzeiro		Velocidade	
Velocidade de Aproximação			
Consumo horário de combustível		Características relacionadas à Combustível	
Capacidade Máxima de abastecimento			
MTOW		Pesos de Projeto	
MLW			
MZFW			
BOW			
Performance de Decolagem		Performance de Pista	
Performance de Pouso			
Nível tecnológico do Motor			
Nível tecnológico dos Aviônicos Instalados			

QUESTIONÁRIO 1  
(PARTE - 2)

Operação São Paulo - Brasília.

Favor preencher os campos com:

- N - Nenhuma Importância
- P - Pouca Importância
- R - Razoável Importância
- I - Importante
- MI - Muito Importante

Avaliando as Características Técnicas das Aeronaves para a etapa São Paulo- Brasília GRU-BSB (Distância : 500 nm + Alternativa : 200 nm sem restrições p/ decolagem e pouso)			
Capacidade de cabine de Passageiros		Capacidade	
Capacidade dos porões de Carga			
Alcance com Máximo Payload		Alcance	
Alcance com Máximo Abastecimento			
Velocidade de Cruzeiro		Velocidade	
Velocidade de Aproximação			
Consumo horário de combustível		Características relacionadas à Combustível	
Capacidade Máxima de abastecimento			
MTOW		Pesos de Projeto	
MLW			
MZFW			
BOW			
Performance de Decolagem		Performance de Pista	
Performance de Pouso			
Nível tecnológico do Motor			
Nível tecnológico dos Aviônicos Instalados			

(Parte - 3)

Favor preencher os campos com:

- N - Nenhuma Importância
- P - Pouca Importância
- R - Razoável Importância
- I - Importante
- MI - Muito Importante

Itens de Conforto e Nível de Serviço da Aeronave			
Comprimento total da cabine		Conforto	
Altura livre no corredor			
Largura do corredor			
Largura do assento			
Distância entre fileiras (pitch)			
Nível de ruído na cabine			
Características de emissão de gases		Qualidade ambiental	
Características de emissão de ruídos			

PARTE FINAL

Dentre as características abaixo (Técnicas, Econômicas e de Conforto e Nível de Serviço), assinale a importância de cada item.		
Capacidade, Alcance, Caract. Relacionadas à Combustível, Nível tecnológico dos Aviônicos etc.	Técnicas	
Leasing, Manutenção, Combustível e Lubrificante, Depreciação, Seguro etc. (Custos por hora de operação)	Econômicas	
Comprimento total da cabine Largura do assento Distância entre fileiras (pitch) etc.	De Conforto e Nível de Serviço	

Dados Profissionais (Opcional):

Nome:
E-mail:
Empresa:
Profissão/Cargo:
Tel. Contato:

## Questionário 2

### UM MODELO DE SELEÇÃO DE AERONAVES PARA O TRANSPORTE DE PASSAGEIROS NO BRASIL

Prezado Senhor,

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer sua contribuição na pesquisa “UMA ABORDAGEM FUZZY PARA O PROCESSO DE SELEÇÃO DE AERONAVES NO BRASIL”, cujo artigo em anexo, foi apresentado no XI SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção na Universidade Estadual Paulista em 08/11/2004.

Venho por esta, informar que, estou em fase de desenvolvendo de dissertação de Mestrado sob orientação do Professor Amaranto Lopes Pereira, Dr. Ing. E este trabalho visa estabelecer um novo modelo de seleção de aeronaves, agora por programação matemática, estabelecendo um modelo de seleção e análise de aeronaves como apoio à decisão no cenário nacional.

Oportunamente, pedimos a gentileza de responder a mais uma pergunta:

Em sua opinião, considerando as características da rede doméstica de transporte aéreo de passageiros no Brasil e aeronaves a jato de fuselagem estreita com capacidades entre 40 e 150 assentos, o que é uma etapa de curto, médio e longo alcance?

Resposta:

Etapas	Distâncias	
	Em quilômetros (km)	Em Nautical Miles (nm)
Curta distância		
Média distância		
Longa distância		

Favor Informar as distâncias na coluna conforme a unidade preferida.

Nota: 1 nm = 1,852 km

Mais uma vez, agradecemos sinceramente sua colaboração e desejamos um feliz 2005 a todos.

Atenciosamente,

Mário Marcondes Machado

Mestrando em Engenharia de Transportes  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
COPPE - UFRJ

Contatos:

[mariomarcondes@pet.coppe.ufrj.br](mailto:mariomarcondes@pet.coppe.ufrj.br)

[mariomarcondes2000@yahoo.com.br](mailto:mariomarcondes2000@yahoo.com.br)

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)