



RAFAEL MESQUITA ANTUNES DE FIGUEIREDO

**Um estudo de localização de “HUBS”
no transporte aéreo de cargas brasileiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre (opção
profissional) pelo Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Rio de Janeiro, 13 de Outubro de 2005

Orientador: Prof. Nélio Domingues Pizzolato



RAFAEL MESQUITA ANTUNES DE FIGUEIREDO

**Um estudo de localização de “HUBS”
no transporte aéreo de cargas brasileiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre (opção
profissional) pelo Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Industrial da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo
assinada.

Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC – Rio

Prof. José Eugênio Leal

Departamento de Engenharia Industrial – PUC – Rio

Prof. Sílvio Hamacher

Departamento de Engenharia Industrial – PUC – Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico –
PUC – Rio

Rio de Janeiro, 13 de Outubro de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Rafael Mesquita Antunes de Figueiredo

Graduou-se em Engenharia Mecânica pela Universidade Católica de Petrópolis no ano de 2002. Atuou como estagiário em empresas da Indústria Naval e de Gases Industriais e como Engenheiro Mecânico em empresa do setor Petroquímico.

Ficha Catalográfica

Figueiredo, Rafael Mesquita Antunes de

Um estudo de localização de hubs no transporte aéreo de cargas brasileiro / Rafael Mesquita Antunes de Figueiredo ; orientador: Nélio Domingues Pizzolato. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2005.

89 f.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Transporte aéreo. 3. Hubs. 4. Localização. I. Pizzolato, Nélio Domingues. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Aos meus pais, pela oportunidade.

Agradecimentos

Ao Professor Nélio Pizzolato, pela oportunidade de aprendizado, companheirismo e confiança.

Ao Professor André Gandolpho, que se colocou sempre à disposição.

Ao meu Pai, pelo incentivo, apoio e sugestões.

À minha Mãe.

Aos meus irmãos.

Ao meu amigo Marcelo Prates Geraldi.

A todos os meus outros verdadeiros amigos.

A Deus.

Resumo

Figueiredo, Rafael Mesquita Antunes; Pizzolato, Nélio Domingues. **Um estudo de localização de “HUBS” no transporte aéreo de cargas brasileiro**. Rio de Janeiro, 2005. 89 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As mudanças na regulamentação mundial do transporte aéreo, observadas nas últimas duas décadas, trouxeram tanto um desafio como um estímulo aos sistemas de distribuição de mercadorias, com ampliação dos volumes transportados, associado à redução de distâncias. Com isso, a competição obrigou as companhias aéreas a serem mais eficientes. Nesse aspecto, a utilização de pontos consolidadores de carga em suas redes de transporte, os *hubs*, passaram a ser uma opção de redução de custos e otimização dos recursos operacionais. O presente trabalho tomou como base os dados do Departamento de Aviação Civil (DAC) para transporte de carga entre os 32 aeroportos de carga brasileiros, como também sua agregação nas cinco regiões geográficas do País. A formulação agregada serviu como teste para um futuro estudo que envolveria todos os aeroportos. A aplicação piloto evita usar um modelo de otimização, fazendo uma enumeração de todas as alternativas, com apoio de uma planilha de dados, de modo a identificar-se um único *hub*.

Palavras-chave

Transporte Aéreo; *Hubs*; Localização.

Abstract

Figueiredo, Rafael Mesquita Antunes; Pizzolato, Nélio Domingues. **A hub location study in the Brazilian cargo air transportation**. Rio de Janeiro, 2005. 89 p. Msc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The changes in air transportation regulation implemented in the last two decades, brought both a challenge and a stimulus to the merchandise distribution systems, with a sizable increase in the transported volumes and a reduction in travelled distances. As a consequence, competition imposes more efficiency to the air companies. The cargo consolidation points in the transport network, the *hubs*, are a definite requirement for cost reduction and optimization of their operational assets. The present research has collected data in Departamento de Aviação Civil (DAC) about the 32 Brazilian cargo airports as well as its aggregation among the five geographic regions of the country. The aggregated formulation was used as a test for a future study including all airports. The pilot application avoids the use of an optimization model but rather, using an Excel software, makes total enumeration of all alternatives to find a single *hub* proposal.

Keywords

Air Transport; *Hubs*; Location.

Sumário

1. Introdução	12
1.1 Apresentação do Problema	12
1.2 Objetivo	15
1.3 Metodologia	15
1.4 Estrutura do Trabalho	16
2. Revisão Bibliográfica	17
2.1 Definição dos Problemas de Localização	17
2.2 Conceituação dos <i>Hubs</i>	24
2.3 Modelagem de <i>Hubs</i>	34
2.3.1 Modelos de Programação Quadrática	34
2.3.2 Modelos de Programação Linear	35
2.3.3 Modelos de Programação Inteira	39
2.3.3.1 Problema da <i>P-Hub</i> Mediana	40
2.3.3.2 Problema de Localização de <i>Hubs</i> Não Capacitado	41
2.3.3.3 Problema de Centro <i>P-Hub</i>	42
2.3.3.4 Problemas de Cobertura Envolvendo <i>Hubs</i>	43
2.3.3.5 Problema de Sasaki	44
3. O Transporte Aéreo	46
3.1 A História do Transporte Aéreo no Brasil	46
3.2 A Evolução e a sua Situação no Contexto Atual	48
3.2.1 Transporte de Passageiros	50
3.2.2 Transporte de Cargas	54
4. Estudo de Caso	62
4.1 Descrição e Aplicação	62
5. Conclusão	75
5.1 Considerações Finais	75
5.2 Sugestões para Estudos Futuros	77
6. Referências Bibliográficas	80
Apêndices	83
Apêndice I	83
Apêndice II	87

Lista de Figuras

Figura 1 - Modelo de Alocação Única	25
Figura 2 - Modelo de Alocação Múltipla	25
Figura 3 - Localização dos Terminais de Carga no Brasil	62
Figura 4 - Configuração Proposta para a Rede Aérea de Transportes de Carga no Brasil	70

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Movimentação Geral de Passageiros – 1994 a 2000	49
Gráfico 2 – Km Voados x Carga Movimentada – Tráfego Doméstico 2001 a 2004	58
Gráfico 3 – Percentual de Movimentação – Origem NO	66
Gráfico 4 – Percentual de Movimentação – Origem NE	66
Gráfico 5 – Percentual de Movimentação – Origem CO	66
Gráfico 6 – Percentual de Movimentação – Origem SE	67
Gráfico 7 – Percentual de Movimentação – Origem SU	67
Gráfico 8 – Demonstrativo de Custo Total – Origem x Destino	74

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Evolução no Transporte Aéreo Europeu (1987 – 1997)	49
Tabela 2 - Movimentação de Passageiros nos Aeroportos Brasileiros – Embarque e Desembarque (2004)	50
Tabela 3 - Relação de Aproveitamento entre Origem e Destino (2004)	51
Tabela 4 - Variação de Passageiros (2003 – 2004)	52
Tabela 5 - Movimentação de Cargas Domésticas (2000)	57
Tabela 6 - Movimentação de Cargas Internacionais (2000)	57
Tabela 7 - Carga Total Manipulada em Vôos Domésticos e Internacionais (2004)	59
Tabela 8 - Tráfego Internacional – Origem Brasil (2004)	59
Tabela 9 - Tráfego Internacional – Destino Brasil (2004)	59
Tabela 10 - Tráfego Internacional – Origem Brasil – Continente Destino (2004)	60
Tabela 11 - Tráfego Internacional – Destino Brasil – Continente de Origem (2004)	60
Tabela 12 - Movimentação nos Terminais de Carga Brasileiros – 2004	63
Tabela 13 - Relação de Regiões Correspondentes às Cidades Tomadas como Base para Cálculo	68
Tabela 14 - Distância Aérea (Km) entre Regiões Candidatas	68
Tabela 15 - Custo (Mil R\$) entre Regiões Candidatas	69
Tabela 16 - Volume (Mil Ton) Transportado entre Regiões Candidatas	69
Tabela 17 - Fluxos em Arcos (Mil Ton)	71
Tabela 18 - Relação entre o Fluxo Movimentado e o Fator de Desconto	72
Tabela 19 - Relação de α e Regiões Candidatas	72
Tabela 20 - Custo Corrigido (Mil R\$)	73
Tabela 21 - Custo Total (Mil R\$ x Mil Ton)	74

Em memória de Leonardo Scrivano Duarte
1975 † 2005.