

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Anselmo da Silva Augusto

Análise da Capacidade das Pistas dos Aeroportos da Rede
INFRAERO

Trabalho de Graduação
2007

Civil

Anselmo da Silva Augusto

**Análise da Capacidade das Pistas dos Aeroportos da Rede
INFRAERO**

Orientador
Prof. Dr Cláudio Jorge Pinto Alves

Divisão de Engenharia Civil

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
COMANDO-GERAL DE TECNOLOGIA AEROESPACIAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2007

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Augusto, Anselmo da Silva

Análise da Capacidade das Pistas dos Aeroportos da Rede INFRAERO / Anselmo da Silva Augusto

São José dos Campos, 2007.

90f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007.

Orientadores: Prof. Dr Cláudio Jorge Pinto Alves

1. Capacidade de Pistas Aeroportuárias 2. REDIM 3. Rede de Aeroportos INFRAERO II. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. III. Análise da Capacidade das Pistas dos Aeroportos da Rede INFRAERO

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AUGUSTO, Anselmo da Silva. **Análise da Capacidade das Pistas dos Aeroportos da Rede INFRAERO**. 2007. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Anselmo da Silva Augusto

TÍTULO DO TRABALHO: Análise da Capacidade das Pistas dos Aeroportos da Rede INFRAERO

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2007

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Anselmo da Silva Augusto

Rua Jovino Balbino da Silva, 92 – Vila Nunes

Lorena / SP

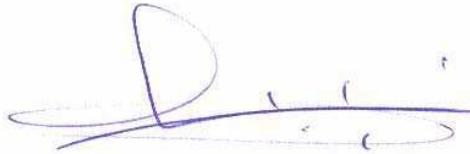
CEP 12.603-100

ANÁLISE DA CAPACIDADE DAS PISTAS DOS AEROPORTOS DA REDE INFRAERO

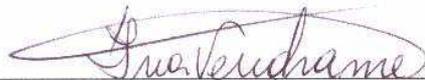
Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Anselmo da Silva Augusto
Autor



Prof. Dr Cláudio Jorge Pinto Alves (ITA)
Orientador



Prof.ª. Dr.ª Íria Fernandes Vendrame
Coordenadora do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 22 de novembro de 2007

Agradecimentos

A Deus, por me dar saúde, paciência e sabedoria para viver.

À minha família, pelo apoio que me deu durante toda a minha vida, cujo esforço e dedicação me trouxe até aqui.

À minha noiva Juliana, amorosamente sempre ao meu lado nestes difíceis e cansativos cinco anos do ITA.

A todos os meus amigos por toda ajuda, companheirismo e momentos de alegria.

Ao meu Orientador Prof. Dr Cláudio Jorge Pinto Alves e ao Relator deste trabalho Prof. Dr Anderson Ribeiro Correia, que além de participarem da minha formação como Engenheiro no ITA, me auxiliaram na conclusão deste trabalho.

Aos Tenentes da Aeronáutica especialistas em controle de tráfego aéreo, cuja ajuda foi vital para a finalização deste trabalho.

Resumo

Este trabalho teve como principal objetivo calcular, aproximadamente, a capacidade máxima na hora-pico da pista ou do conjunto de pistas de 39 aeroportos da Rede INFRAERO e, ainda, comparar com o movimento de aeronaves na hora-pico demandado atualmente em cada aeroporto. Para se chegar a este resultado foram calculados os tempos de ocupação das pistas e os tempos de separação entre as aeronaves, baseando-se em informações detalhadas de cada aeroporto.

Por se tratar de uma quantidade grande de aeroportos, utilizou-se uma metodologia probabilística, que apesar de não simular a realidade, tem resultados bem próximos dos reais.

Os resultados obtidos permitem a comparação, em amplitude nacional, do nível de utilização das pistas dos aeroportos brasileiros, e assim, auxiliar em futuros estudos e planejamentos relativos ao transporte aéreo nacional.

Abstract

This work had as principal objective to calculate, approximately, the maximum capacity, at the rush hour, of runway or runway group of 39 INFRAERO airports and, yet, compare it with the airplanes flow at rush hour required today in each airport. To achieve this result, the runway occupation time and the airplane separation time were calculated, basing them in detailed information of each airport.

Due to the fact of dealing with a great amount of airports, a probabilistic methodology was used. Although it doesn't simulate the reality, its results are very close to the real ones. The obtained allow comparison, in national range, of the Brazilian airports usage level, hence helping future research and national air-transportation related planning.

Sumário

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Sumário.....	iv
Índice de Figuras	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 METODOLOGIA APLICADA	3
2.1 Levantamento de Dados	3
2.1.1 Informações Gerais e Geométricas.....	3
2.1.2 MIX de aeronaves.....	5
2.1.3 Ventos e Chuvas	7
2.1.4 Movimento de Aeronaves (Asa Fixa) - Hora-Pico de Pista	11
2.2 Cálculos dos tempos e das capacidades.....	11
2.2.1 Software REDIM e o conceito de ROT.....	11
2.2.2 Cálculo do tempo de pouso (ROT).....	17
2.2.3 Cálculo do Tempo de Decolagem	20
2.2.4 Cálculo do Tempo de Separação entre Aeronaves	21
2.2.5 Cálculo das Capacidades Máximas Horárias	28
3 RESULTADOS OBTIDOS.....	30
4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	40
REFERÊNCIAS	41
Apêndice A - Informações Gerais acerca dos Aeroportos Analisados	43
Apêndice B - Dados Geométricos das Pistas.....	45
Apêndice C - Fotos de Satélites dos Aeroportos	49
Apêndice D - MIX de aeronaves para cada aeroporto	63
Apêndice E - Dados relativos a Ventos e Precipitações para cada aeroporto	65
Apêndice F - Movimento de Aeronaves (Asa Fixa) - Hora-Pico de Pista	67
Apêndice G - Resultados dos cálculos dos tempos e das capacidades	69
Apêndice H - Resultado Final – Relação Demanda/Capacidade.....	71
Apêndice I - Linhas de Código dos Macros Criados.....	72
Macro 1 - Definição dos Tamanhos das Aeronaves.....	72
Macro 2 - Cálculo do MIX de aeronaves	73

Macro 3 - Cálculo do ROT final	75
Macro 4 - Cálculo das Separações Mínimas	76
Macro 5 - Cálculo das Capacidades dos Aeroportos.....	78

Índice de Figuras

Figura 01 - Aeroportos analisados	2
Figura 02 - Aeroporto de Pampulha – SBBH, exemplo de pista simples	4
Figura 03 - Aeroporto de Santos Dumont – SBRJ, exemplo de pistas paralelas	4
Figura 04 - Aeroporto Val de Caes - SBBE, exemplo de pistas cruzadas	5
Figura 05 - Intensidade média dos ventos no Brasil	8
Figura 06 - Porcentagem do tempo com precipitação em qualquer ponto de cada grade no mês de Janeiro. Médias de 1997 a 1999. Grades quadradas com lados iguais a um grau.....	9
Figura 07 - Porcentagem do tempo com precipitação em qualquer ponto de cada grade no mês de Julho. Médias de 1997 a 1999. Grades quadradas com lados iguais a um grau.....	10
Figura 08 - Porcentagem da área de cada grade com precipitação no mês de Janeiro. Médias de 1997 a 1999. Grades quadradas com lados iguais a um grau	10
Figura 09 - Porcentagem da área de cada grade com precipitação no mês de Julho. Médias de 1997 a 1999. Grades quadradas com lados iguais a um grau	10
Figura 10 - Segmentação no Pouso de Aeronaves	12
Figura 11 - Tela de Entrada do REDIM	13
Figura 12 - Distribuição de velocidades em função da distância percorrida.....	14
Figura 13 - Inserção do MIX de aeronaves	14
Figura 14 - Fatores de Peso	15
Figura 15 - Dados Operacionais.....	15
Figura 16 - Dados de Meio Ambiente.....	15
Figura 17 - Comprimento da Pista e Gradientes Longitudinais	16
Figura 18 - Condições da Pista.....	16
Figura 19 - Locais das Saídas de Pista e seus Tipos	16
Figura 20 - Tabela de Resultados do REDIM	17
Figura 21 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2005, caso pistas muito próximas fossem impedidas de operar simultaneamente.	30
Figura 22 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2005.....	31
Figura 23 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2010 em uma situação de crescimento pessimista.	32
Figura 24 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2010 em uma situação de crescimento médio.	32
Figura 25 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2010 em uma situação de crescimento otimista.	33
Figura 26 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2015 em uma situação de crescimento pessimista.	34

Figura 27 -	Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2015 em uma situação de crescimento médio.	34
Figura 28 -	Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2015 em uma situação de crescimento otimista.	35
Figura 29 -	Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2020 em uma situação de crescimento pessimista.	35
Figura 30 -	Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2020 em uma situação de crescimento médio.	36
Figura 31 -	Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2020 em uma situação de crescimento otimista.	36
Figura 32 -	Número de Aeronaves relativo ao nível de utilização para um crescimento pessimista	38
Figura 33 -	Número de Aeronaves relativo ao nível de utilização para um crescimento médio	38
Figura 34 -	Número de Aeronaves relativo ao nível de utilização para um crescimento otimista	39

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho de graduação inspirou-se no trabalho de mestrado de CARVALHO [1], Uma Metodologia para Obtenção de um Diagnóstico dos Principais Aeroportos no Brasil através da Avaliação da Relação Demanda e Capacidade. Naquele trabalho, a autora, através de diversas metodologias, comparou a demanda e a capacidade para 20 aeroportos da rede INFRAERO em três diferentes sistemas: Pista de Pouso e Decolagem, Pátio de Estacionamento de Aeronaves e o Terminal de Passageiros (TPS).

Focando o trabalho de CARVALHO no Sistema Pista de Pouso e Decolagem, pôde-se observar que a metodologia aplicada para efetuar o cálculo da capacidade deste sistema foi a mesma que a utilizada pela INFRAERO e pela ANAC, descrita por circular da FAA. Trata-se de uma metodologia simplificada, que leva em consideração:

- o MIX de aeronaves expresso segundo os critérios estabelecidos pelo circular;
- a configuração do sistema de pistas, comparada com uma tabela de sistemas-tipos fornecida, e;
- os auxílios a Navegação Aérea.

Para efetuar os cálculos utilizam-se, nesta metodologia, fórmulas e ábacos fornecidos pela FAA, baseados em estatísticas históricas levantadas pela mesma.

O objetivo deste trabalho é aprofundar o trabalho de CARVALHO, focando o Sistema Pista de Pouso e Decolagem. A metodologia utilizada baseou-se nos tempos de ocupação de pista e de separação entre aeronaves. Todas as hipóteses estão descritas mais detalhadamente no decorrer deste documento. A intenção inicial era se fazer a análise de todos os atuais 67 aeroportos da rede INFRAERO, entretanto foi possível levantar os dados necessários de 39 deles, o que limitou o número de aeroportos estudados.

O tempo de pouso foi calculado pelo software livre REDIM, que leva em consideração informações geométricas e climáticas detalhadas de cada sistema de pista, além do MIX de aeronaves. Os tempos de decolagem foram levantados junto a especialistas em tráfego aéreo, levando em consideração apenas o MIX de aeronaves. Já o tempo de separação de aeronaves respeitou os valores definidos pelo ICA 100-12 elaborado pelo DECEA [2]. O MIX de aeronaves foi retirado da base HOTRAN fornecida pela ANAC [3].

Por fim, deve-se ressaltar que para se efetuarem os cálculos muitas hipóteses tiveram de ser aplicadas e, por simplificação, foram desconsiderados alguns fatores, como, por exemplo, a capacidade operacional máxima dos controladores de vôo.

Na Figura 1, retirada do Google Earth [4], são apontados os 39 aeroportos analisados neste trabalho.



Figura 01 - Aeroportos analisados
Fonte: Google Earth [4]

2 METODOLOGIA APLICADA

A seguir estão descritas as hipóteses assumidas e a metodologia aplicada para se executar esse trabalho.

2.1 Levantamento de Dados

O primeiro passo deste trabalho foi o levantamento de dados necessários para sua execução. Dividiu-se este levantamento nos próximos tópicos.

2.1.1 Informações Gerais e Geométricas

A fonte para o levantamento das informações gerais de cada aeroporto, como elevação, temperatura, declinação magnética, tipo de tráfego e números de pistas, foi a Parte 3 do AIP (Publicação de Informação Aeronáutica) [5]. Os dados levantados estão no Apêndice A.

As informações geométricas partiram de duas fontes principais: o AIP novamente (agora se utilizando dos mapas das pistas encontrados neste catálogo), e fotos retiradas por satélites encontradas no Google Earth [4]. Foram levantados de cada sistema de pistas:

- Dimensão de cada pista;
- Numeração das cabeceiras;
- Número de saídas;
- Posição de cada saída das pistas em relação à cabeceira de menor número;
- Angulação de cada saída, medida no sentido trigonométrico em relação ao eixo com origem na cabeceira de menor número e final na cabeceira de maior número;
- Configuração do sistema de pistas (pista simples, pistas paralelas, pistas cruzadas);
- Distância entre pistas paralelas.

As figuras 2, 3 e 4 mostram exemplos reais de pista simples, pistas paralelas e pistas cruzadas, respectivamente.



Figura 02 - Aeroporto de Pampulha – SBBH, exemplo de pista simples
Fonte: Google Earth [4]



Figura 03 - Aeroporto de Santos Dumont – SBRJ, exemplo de pistas paralelas
Fonte: Google Earth [4]



Figura 04 - Aeroporto Val de Caes - SBBE, exemplo de pistas cruzadas
 Fonte: Google Earth [4]

Os dados levantados estão no Apêndice B e as fotos de satélite de cada aeroporto estão no Apêndice C.

2.1.2 MIX de aeronaves

Para efetuar o cálculo do MIX de aeronaves de cada aeroporto utilizou-se a base HOTRAN fornecida pela ANAC [3]. A base HOTRAN é um arquivo de planilha em EXCEL® que contém catalogada a relação de todos os vôos regulares que passam por aeroportos brasileiros em uma dada semana. A semana escolhida para este trabalho foi a semana do dia 14 de agosto de 2007. Para cada vôo estão descritos uma série de informações, tais como:

- os aeroportos que cada vôo passa (incluindo embarques, desembarques, conexões e paradas);
- a frequência semanal;
- o tipo de aeronave;
- a empresa aérea;
- as horas previstas de chegada e partida.

Utilizar esta base resulta em uma pequena imprecisão. Primeiro, nem todos os vôos são regulares. Segundo, não necessariamente o MIX médio em uma dada semana é igual ao MIX da hora pico.

A fim de se definir o MIX, as aeronaves foram divididas em cinco tamanhos: Muito Grande (MG), Grande (G), Médio (M), Pequena (P) e Muito Pequena (MP). Para cada tamanho foi escolhida uma aeronave-tipo, que será a utilizada futuramente nos cálculos, representando todas as outras que estão no mesmo grupo. A seguir estão descritas as divisões das aeronaves pelo tamanho. A listagem de tipos de aeronaves foi retirada também da base HOTRAN.

MG = Muito Grandes / Aeronave Tipo: B747 – 400 / Aeronaves com capacidade para mais de 200 passageiros.

Aeronaves Incluídas neste tamanho: A310, A332, A333, A343, A346, B742, B743, B744, B763, B764, B772, DC10, L101 e MD11.

G = Grandes / Aeronave Tipo: B737 – 300 / Aeronaves com capacidade de 100 a 200 passageiros.

Aeronaves Incluídas neste tamanho: DC86, A313, A319, A320, A322, B722, B732, B733, B734, B735, B737, B738, B752, B762, E190, IL62 e MD82.

M = Médias / Aeronave Tipo: F100 / Aeronaves com capacidade de 40 a 100 passageiros.

Aeronaves Incluídas neste tamanho: F100, AT43, AT72, E145, E175 e F50.

P = Pequenas / Aeronave Tipo: E120 / Aeronaves com capacidade em torno de 30 passageiros.

Aeronaves Incluídas neste tamanho: E110, E120.

MP = Muito Pequenas / Aeronave Tipo: Baron 58 / Aeronaves com capacidade em torno de 9 passageiros. O motivo pelo qual a aeronave Baron 58 foi a escolhida como aeronave tipo, mesmo não operando regularmente no Brasil, está no fato de ser a única aeronave do porte do C208 que está na lista de aeronaves do software REDIM.

Aeronaves Incluídas neste tamanho: C208.

Devido ao grande número de vôos catalogados (cerca de 5400 linhas na base HOTRAN), criaram-se dois macros para poder se fazer o cálculo do MIX de aeronaves.

Macro nada mais é do que uma rotina computacional utilizada juntamente a documentos do Office® para auxiliar os usuários deste pacote a resolverem seus problemas. No caso deste trabalho os macros foram criados dentro do Excel®.

O primeiro macro criado (Macro 1) define para cada linha o tamanho da aeronave utilizada. As linhas de código dos macros criados neste trabalho estão listadas no Apêndice I.

O segundo macro criado (Macro 2) faz a soma do número de pousos mais decolagens em cada aeroporto brasileiro e a mesma soma para cada tamanho de aeronave em cada aeroporto. O MIX, em um dado aeroporto, para cada tamanho de aeronave é:

$$MIX_{tamx} = \text{Número de vôos}_{tamx} / \text{Número de vôo}_{total}$$

Os MIX's de aeronaves calculadas para cada aeroporto e as linhas de comando do macro que fez os cálculos estão, respectivamente, no Apêndice D e no Apêndice I.

2.1.3 Ventos e Chuvas

Para se fazerem os cálculos dos tempos de pouso no software REDIM foram necessários se levantar informações acerca dos ventos e das chuvas.

Quanto aos ventos são necessárias as velocidades médias e as direções predominantes destes. Não foi possível obter essas informações. Assim assumiu-se como a direção do vento a mesma da pista com maior comprimento.

A intensidade dos ventos foi levantada através do mapa de intensidade dos ventos do Brasil, desenvolvido pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica [6]. Como os valores são apresentados em trechos no mapa, teve-se que escolher um valor dentro trecho para ser utilizado no trabalho. A Tabela 1 exhibe os valores escolhidos para cada trecho.

Tabela 01 - Valores de intensidade do vento para cada trecho de intensidades

Trecho (m/s)	Valor Utilizado (m/s)
Maior do que 8,5	9,0
7,0 a 8,5	8,5
6,0 a 7,0	7,0
5,0 a 6,0	6,0
Menor do que 5,0	4,0

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Nos aeroportos localizados nas linhas de divisão de dois trechos, utilizou-se um valor intermediário do que está na tabela.

A Figura 5 exhibe o mapa de intensidade dos ventos.

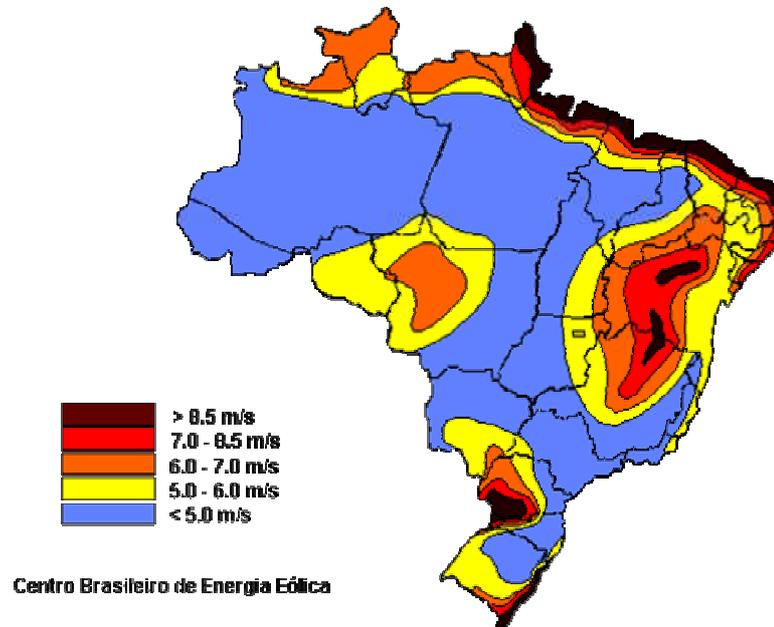


Figura 05 - Intensidade média dos ventos no Brasil
 Fonte: Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE [6]

Quanto às chuvas, a informação necessária para se colocar como dado de entrada no software REDIM é a porcentagem do tempo que a pista estaria molhada. Ou seja, a porcentagem do tempo que na região do aeroporto ocorre chuva. A princípio, estes dados foram procurados junto aos principais institutos nacionais relacionados com meteorologia:

- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;
- CEPETEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos;
- SBMET - Sociedade Brasileira de Meteorologia.

Informações como quantidade de chuva média ao longo do ano, quantidade de chuva média em cada mês e outras informações relacionadas com pluviometria estavam disponíveis, entretanto a porcentagem de chance de chuva para qualquer local do Brasil não está levantada.

Por isso, estes dados foram levantados através de mapas mundiais desenvolvidos pelo instituto americano *Climate Prediction Center* que está subordinado ao *National Weather*

Service [7]. Estes mapas são divididos em pequenas grades georeferenciadas (através de cores) que, dependendo do tipo de mapa, podem indicar:

- a porcentagem do tempo que ocorreu precipitação em qualquer ponto da grade em determinado mês, ou;

- a porcentagem da área da grade onde ocorreu precipitação no mesmo mês.

Considerando o aeroporto como um ponto, já que suas dimensões são consideradas insignificantes perto das dimensões de cada grade, a probabilidade de ocorrer chuva em determinado mês é o produto entre a porcentagem do tempo que ocorreu precipitação em qualquer ponto da grade e a porcentagem da área da grade onde ocorreu precipitação.

Esses mapas são os resultados de dados recolhidos por satélites climáticos entre os anos de 1997 e 1999 para o Projeto Climatológico Global de Precipitações. Mais informações podem ser obtidas no site do *Climate Prediction Center* [7].

Entretanto, mapas de apenas dois meses estavam disponíveis: o do mês de janeiro e o do mês de julho. A porcentagem do tempo chuvoso considerado foi a média aritmética dos valores destes dois meses. Esta é mais uma aproximação adotada neste trabalho.

Os mapas estão nas figuras 6, 7, 8 e 9.

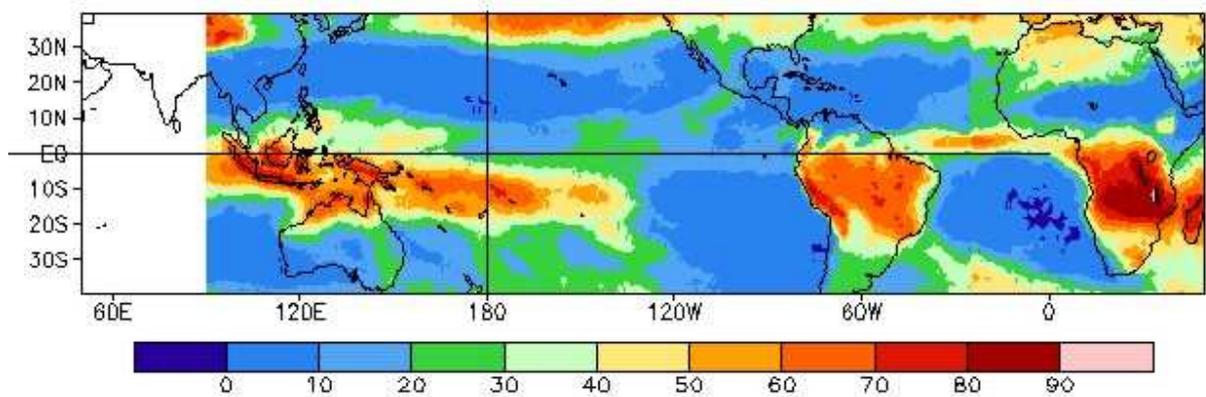


Figura 06 - Porcentagem do tempo com precipitação em qualquer ponto de cada grade no mês de Janeiro. Médias de 1997 a 1999. Grades quadradas com lados iguais a um grau

Fonte: NATIONAL WEATHER SERVICE [7]

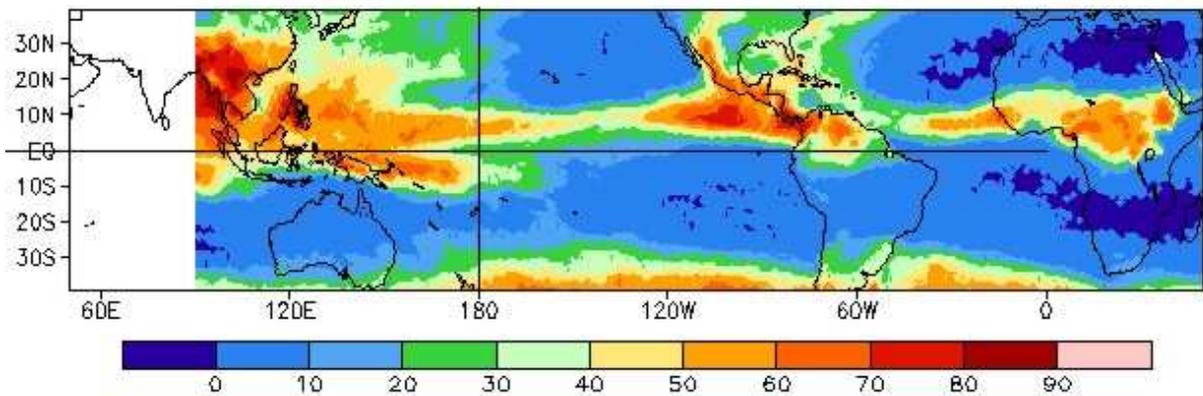


Figura 07 - Porcentagem do tempo com precipitação em qualquer ponto de cada grade no mês de Julho. Médias de 1997 a 1999. Grades quadradas com lados iguais a um grau
Fonte: NATIONAL WEATHER SERVICE [7]

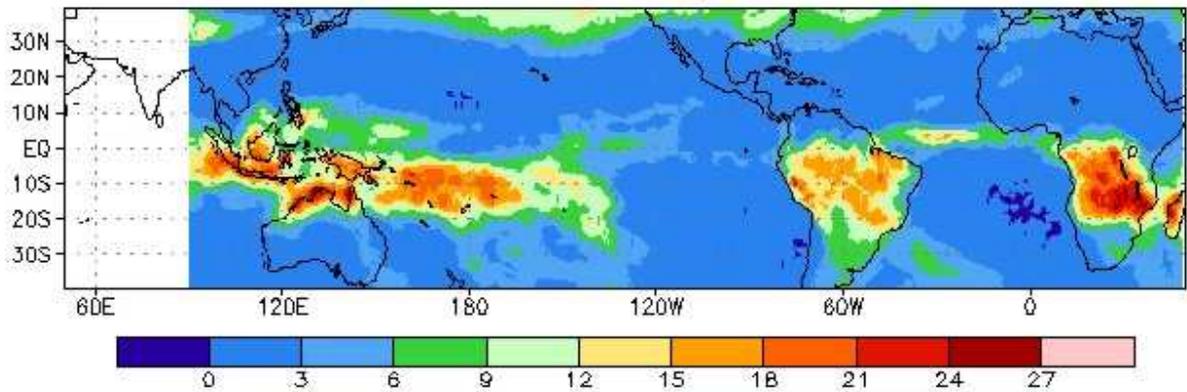


Figura 08 - Porcentagem da área de cada grade com precipitação no mês de Janeiro. Médias de 1997 a 1999. Grades quadradas com lados iguais a um grau
Fonte: NATIONAL WEATHER SERVICE [7]

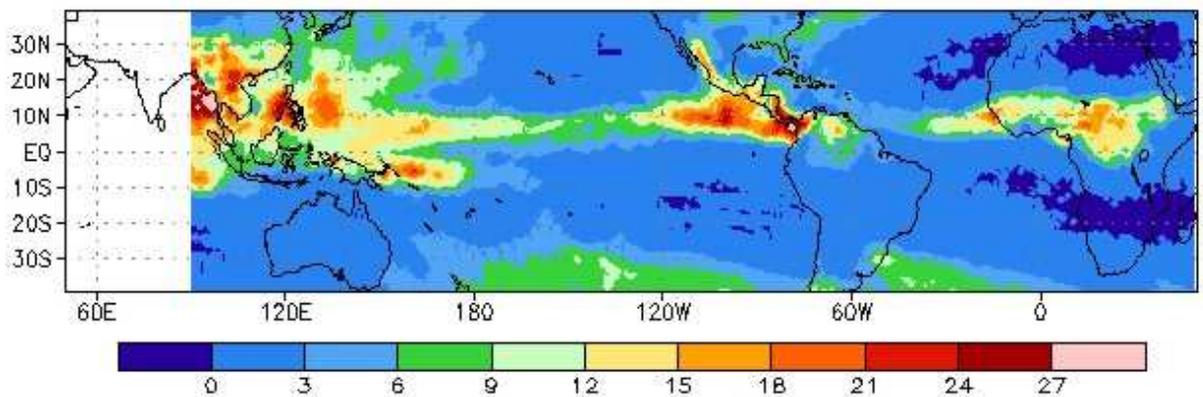


Figura 09 - Porcentagem da área de cada grade com precipitação no mês de Julho. Médias de 1997 a 1999. Grades quadradas com lados iguais a um grau
Fonte: NATIONAL WEATHER SERVICE [7]

Os resultados obtidos relativos a ventos e chuvas para cada aeroporto estão no Apêndice E.

2.1.4 Movimento de Aeronaves (Asa Fixa) - Hora-Pico de Pista

Os valores de Movimentos de Aeronaves (pouso mais decolagem) de Asa Fixa na hora-pico de pista irão representar a demanda de cada sistema de pista. Estes valores serão comparados, ao final deste trabalho, com a capacidade teórica calculada, e, assim, será obtido o nível de utilização do sistema pista de cada aeroporto. Todos os dados aqui levantados foram retirados do documento produzido pela ANAC nomeado *Demanda na Hora-Pico, Aeroportos da Rede INFRAERO* [8]. Deste documento foram levantados os valores atuais de movimento na hora pico (ano 2005), e as previsões, segundo a ANAC, para os anos de 2010, 2015 e 2020 em perspectivas de crescimento otimista, médio e pessimista.

Todos estes valores levantados se encontram no Apêndice F.

2.2 Cálculos dos tempos e das capacidades

Após os procedimentos de levantamentos de dados, partiu-se para o cálculo dos tempos de pouso, decolagem e de separação de aeronaves. Com estes tempos, pôde-se efetuar o cálculo da capacidade de cada pista e posteriormente do sistema de pistas. Nos próximos tópicos estão detalhadas as hipóteses e a metodologia aplicada para se realizar esta etapa do trabalho.

2.2.1 Software REDIM e o conceito de ROT¹

ROT é a sigla para Tempo de Ocupação de Pista de Pouso (*Runway Occupancy Time*), e compreende o tempo gasto por uma aeronave desde o momento que esta cruza a cabeceira da pista até que a mesma livre o plano imaginário da pista.

Este tempo pode ser dividido em cinco partes:

- fase de *flare*;
- primeiro tempo livre de rolagem, entre o toque e o início do processo de frenagem;

¹ As informações encontradas neste capítulo foram baseadas no Manual do REDIM [9] e na apresentação de TRANI [10]

- fase de frenagem;
- segundo tempo livre de rolagem, entre o final da fase de frenagem e o início da manobra de saída de pista (*turnoff*), e;
- fase de manobra de saída de pista.

Estas fases podem ser observadas na Figura 10.

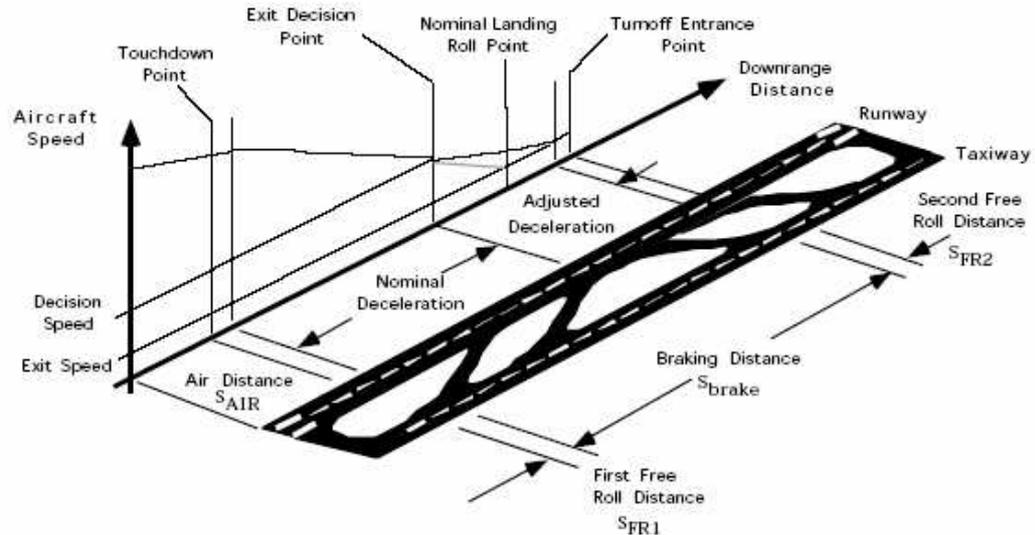


Figura 10 - Segmentação no Pouso de Aeronaves
Fonte: Manual do REDIM [9]

O valor de ROT apresenta grande variabilidade e é sensível a várias condicionantes, como piloto, vento, condições da pista (úmida/seca), peso de pouso, geometria da pista (incluindo número, posições e tipos de saídas de pista), tipo de aeronave, entre outras. Devido a estes fatores, metodologias e softwares foram criados em busca de se estimar um valor médio de ROT para determinada pista.

Entre muitos softwares está o Modelo para Projetos de Pistas de Pouso com Interação das Saídas (Runway Exit Interactive Design Model) ou REDIM. Desenvolvido pelo Centro de Pesquisas em Transportes da Universidade de Tecnologia da Virginia (*Center for Transportation Research at Virginia Tech University*) com patrocínio da FAA e da NASA, é de uso livre e permite uma série de análises para uma pista simples considerando-se várias variáveis. A Figura 11 mostra a tela de entrada do REDIM.



Figura 11 - Tela de Entrada do REDIM

Podem-se observar os Logos dos patrocinadores (FAA e NASA) e do desenvolvedor (*Virginia Tech University*). Fonte: Software REDIM

A abordagem utilizada no desenvolvimento do REDIM é uma combinação da modelagem de simulação de Monte Carlo que representa o comportamento aleatório das aeronaves durante o seu pouso, conjugada a um programa dinâmico com uma rotina de otimização para escolha da melhor saída a partir de um vasto conjunto de opções. O software ainda contém um banco de dados com informações levantadas em aeroportos americanos, relativo ao comportamento no pouso de uma série de aeronaves (a listagem das aeronaves pode ser observada na Figura 13). O usuário pode incluir novas aeronaves neste banco de dados, mas deve inserir, para cada nova aeronave, uma série de dados como, por exemplo, a distribuição de velocidades durante o pouso da mesma. A Figura 12 mostra um exemplo de distribuição de velocidades de uma determinada aeronave em função da distância percorrida desde a cabeceira da pista (pista seca).

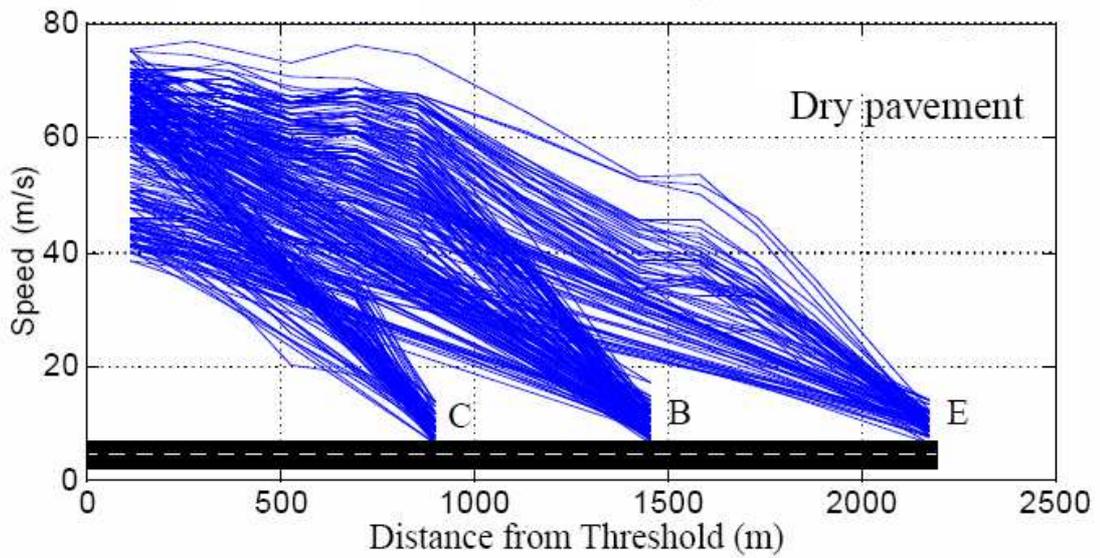


Figura 12 - Distribuição de velocidades em função da distância percorrida
 Fonte: Runway Occupancy Time Estimation and SIMMOD [10]

O REDIM considera algumas variáveis como dados de entrada, como o MIX de aeronaves que operam na pista de estudo (Figura 13), fatores de pesos no pouso (Figura 14), dados operacionais (Figura 15), dados de meio ambiente (Figura 16), comprimento da pista, gradientes longitudinais (Figura 17), condição da pista (Figura 18) e as posições e tipos das saídas de pista (Figura 19).

```

    OPI&SU <<<< RUNWAY EXIT DESIGN INTERACTIVE MODEL >>>> UCTR
    INPUT the percentages of aircraft: Press <Tab> key after editing.
    Peak Period Operation Mix

    TERPS-A      TERPS-B      TERPS-C      TERPS-D      TERPS-E
    PA-38-112 :0  BE-58 :0  A-300-600 :0  B-747-200B :0  74F-4 :0
    PA-28-161 :0  BE-300 :0  A-310-300 :0  B-747-400 :0
    PA-28-236 :0  CE-402C :0  A-320-300 :0  DC-10-30 :0
    PA-32-301 :0  SNA-340 :0  B-767-300 :0  MD-11 :0
    CE-172 :0  EMB-120 :0  FDRRER-100 :25.30  L-1011 :0
    BE-F35A :0  BAe-146 :0  B-727-200 :0  DC-8-73 :0
    CE-208 :0  BE-2000 :0  B-737-300 :73.89
    PA-46-310P :0  CE-421 :0  B-737-400 :0
    CE-192 :0  CE-F406 :0  MD-83 :0
    CE-210P :0  DHC-7 :0  MD-87 :0
    PA-42-1000 :0  PA-42-1000 :0  B-757-200 :0
    F180 :0  F180 :0  LEARJET-55 :0
    CE-550 :0  CE-550 :0  G1159C :0
    CE-650 :0  LEARJET-31 :0  BAe-125-80 :0
    LEARJET-31 :0  BE-400 :0  IA-1124A :0
    IA-1125 :0  DHC-B :0  CL-601-3A :0
    DHC-B :0  DA-200 :0
    SHORTS 330 :0

    NO. of Aircraft == 3
    TOTAL Percentage == 100
    
```

Figura 13 - Inserção do MIX de aeronaves
 Fonte: Software REDIM

```

Landing Weight Factors
                (mean)  (std. dev.)
TERP-A          0.8      0.1
TERP-B          0.8      0.1
TERP-C          0.5      0.1
TERP-D          0.5      0.1
TERP-E          0.5      0.1

==Press <Tab> key after editing.==

Landing Weight Factor is defined as
the fraction of the maximum aircraft
load at the moment of landing. The
value ranges from 0 to 1. Zero means
the aircraft lands at the operating
empty weight while one implies the
the aircraft lands at the maximum
landing weight.

```

Figura 14 - Fatores de Peso
Fonte: Software REDIM

```

Operational Data

Free Roll Time 1   (sec): 3
Free Roll Time 2   (sec): 2
* Safety Factor for Skid(%): 50
Min. Exit Separation (m): 229
==Press <Tab> key after editing.==

* The safety factor is for the
impending skidding condition.
It is recommended to be between
50 to 100 (%).

```

Figura 15 - Dados Operacionais
Fonte: Software REDIM

```

Environmental Data

Wind Speed         (m/s): 6
Wind Direction     (0-36): 5
Airport Elevation  (m): 3
Airport Temperature (C): 31.2
Runway Orientation (0-36): 5
Runway Width       (m): 45
==Press <Tab> key after editing.==

```

Figura 16 - Dados de Meio Ambiente
Fonte: Software REDIM

```

Runway Length (m): 1750
Gradients
      0 - 175: 0
     175 - 350: 0
     350 - 525: 0
     525 - 700: 0
     700 - 875: 0
     875 - 1050: 0
    1050 - 1225: 0
    1225 - 1400: 0
    1400 - 1575: 0
    1575 - 1750: 0
==Press <Tab> key after editing.==

```

Figura 17 - Comprimento da Pista e Gradientes Longitudinais
Fonte: Software REDIM

```

Surface Conditions (%)
              (dry)      (wet)
              97.6      2.4
==Press <Tab> key after editing.==

```

Figura 18 - Condições da Pista
Fonte: Software REDIM

```

No. of Existing Exits: 2
R/W-T/W Dist. (m): 200
# Loc Spd C/O Type
(m) (m/s)
1 910 10 1 3
2 2590 5 1 3
Exit code (C/O): 0=Closed 1=Open
(Exit Type):
1=30-dgr 2=45-dgr 3=90-dgr
4=30-dgr(new) 5=W-Throat *6=User Defined
==Press <Tab> key after editing.==

* User Defined Exit:
R1 (m):: radius of entrance curve
L1 (m):: length of entrance curve
R2 (m):: radius of central curve

```

Figura 19 - Locais das Saídas de Pista e seus Tipos
Fonte: Software REDIM

A partir da metodologia citada e dos dados de entrada o programa efetua quatro tipos de análises: avaliação de uma pista existente; melhoria de uma pista existente; projeto de uma nova pista, e; análise individual de pouso de uma aeronave. Para este trabalho a única análise utilizada foi a primeira, onde o modelo prevê a média ponderada do tempo de ocupação de pista. Nesta análise o software gera uma tabela de ROT's, que exhibe, para cada aeronave e para cada saída, em pista seca e pista úmida, a probabilidade de ocorrer determinado evento e o tempo de ocupação de pista (ROT) que aquele evento gera. Fazendo-se a média ponderada dos ROT's, cujos pesos são as probabilidades, chega-se a um ROT médio. A Figura 20 exhibe

um exemplo de resultados gerados pelo REDIM, exibindo a Tabela de ROT's e o ROT médio ponderado.

Da tabela da Figura 20, pode-se concluir que, neste exemplo, a chance de um B757-200 sair na saída aberta #5, que está a 1507,0 m da cabeceira da pista, em condições de pista úmida é de 14,0 % e o tempo de ocupação de pista neste caso seria de 52,02s (ressaltado em amarelo na Figura 20). Na primeira coluna observa-se, ainda, a chance que determinada aeronave possui em pousar sob certa condição de pista. A probabilidade, por exemplo, de um B737-800 pousar naquela pista sob condições secas é de 4,1 % (ressaltado em vermelho na Figura 20).

Exit # Location (m)	1 600.0	2 940.0	3 1008.0	4 1368.0	5 1507.0	6 2078.0
Open/Close Exit Type	Close ll-Def	Open 90-Deg	Open ll-Def	Open ll-Def	Open ll-Def	Open 90-Deg
B737-800						
DRY (4.1%) ROT				47.78 96.0%	51.15 4.0%	
WET (0.0%) ROT				47.99 62.0%	51.92 35.0%	67.93 3.0%
B757-200						
DRY (9.7%) ROT				48.23 100.0%	52.02 14.0%	
WET (0.0%) ROT				48.31 86.0%		
CL-601-3A						
DRY (20.8%) ROT		36.42 100.0%				
WET (0.0%) ROT		36.92 85.0%	36.22 15.0%			

ROT - Runway Occupancy Time in Secs Weighted Average ROT = 45.72

Figura 20 - Tabela de Resultados do REDIM
Fonte: Runway Occupancy Time Estimation and SIMMOD [10]

2.2.2 Cálculo do tempo de pouso (ROT)

Mesmo após o processo de levantamento de dados, nem todas as informações necessárias para que o software REDIM calculasse o ROT de cada pista foram conseguidas. A maior parte por falta de fontes ou por serem valores constantes para todos os casos. Um teste de sensibilidade constatou que a variação dos dados não obtidos acarretou mudanças nos resultados de, no máximo, unidades de segundo.

A seguir estão listadas as informações não levantadas pista a pista e os valores assumidos em todas as pistas, com a respectiva justificativa:

- Gradiente Longitudinal da Pista: A pista foi considerada plana. A variação no gradiente da pista não altera significativamente o resultado do ROT. Testes foram efetuados confirmando a pouca sensibilidade do modelo relativo a essa variável.

- Fatores de Pesos no Pouso: Os valores de fatores de pesos no pouso utilizados foram os definidos como padrão pelo software REDIM, e estão listados na Tabela 2. Indicam a porcentagem do peso total máximo de decolagem da aeronave com que a mesma realiza o pouso. Mais especificadamente, são distribuições de probabilidade normais. Segundo o manual [9], os valores padrões utilizados são baseados em estudos empíricos da variação dos fatores de pesos no pouso, desenvolvidos pelas literaturas consultadas pelos desenvolvedores do software.

Tabela 02 - Fatores de Pesos no Pouso

	Tamanho da Aeronave				
	Muito Pequena	Pequena	Média	Grande	Muito Grande
Média	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5
Desvio Padrão	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Fonte: Software REDIM

- Dados Operacionais: Valores relacionados com a segurança de pouso e definidos por normas de segurança internacionais. Sendo assim, utilizaram-se os valores recomendados pelo software e pelo seu manual [9] (Tabela 3).

Tabela 03 - Dados Operacionais

Tempo livre de rolagem 1	3 s
Tempo livre de rolagem 2	2 s
Fator de segurança de derrapagem	50 %
Mínimo de separação entre saídas de pista	230 m

Fonte: Software REDIM

- Velocidade Máxima para Saída de Pista para cada tipo de saída: Os valores assumidos estão listados na Tabela 4. Estes valores interferem de forma significativa nos resultados dos ROT's, já que quanto maior for o valor da velocidade máxima possível para se realizar uma saída de pista, cada aeronave pode efetuar a sua saída para a pista de táxi com uma velocidade maior, ou seja, com menor tempo de ocupação de pista. Por exemplo, se uma aeronave está em determinado ponto da pista há uma velocidade de 11 m/s e se aproximando de uma saída que pode ser percorrida com segurança a 10 m/s (devido a sua angulação de saída), terá que continuar ocupando a pista e reduzindo a velocidade até encontrar uma próxima saída. Caso a saída fosse mais aberta, e, por exemplo, permitisse uma curva a 15 m/s, a aeronave já executaria a saída naquele ponto e liberaria a pista. Os valores assumidos são próximos aos utilizados nos exemplos do Manual do REDIM [9]. Há também o valor de velocidade de *Turn Around*, que seria a velocidade máxima com que a aeronave poderia executar um procedimento de giro de 180° (próxima a umas das cabeceiras da pista), caso fosse necessário executá-lo.

Tabela 04 - Velocidade Máxima para Saída de Pista

Tipo de Saída	Velocidade Máxima para Saída de Pista (m/s)
30 °	25
45 °	20
90 °	10
<i>Turn Around</i>	5

Fonte: Manual do REDIM [9]

Com os dados necessários para a utilização do software levantados, iniciou-se o processo de cálculo do ROT através do REDIM. Algumas considerações adicionais foram:

- Caso a aeronave não encontrasse nenhuma saída possível de ser executada no sentido do pouso, esta percorria toda a pista até a cabeceira da mesma e executava o processo de *Turn Around*. Após isso, percorria no sentido contrário (e agora com a velocidade bem menor) até encontrar uma saída possível de ser executada. Isto geralmente ocorre em pistas com poucas saídas, ou com saídas projetadas para uma mesma direção de pouso.

- Calculou-se o ROT em cada sentido de pouso para uma mesma pista. Desta maneira, para cada pista, obtiveram-se dois valores de ROT, nomeados de ROT1 e ROT2, um para cada sentido de pouso.

- O ROT final foi calculado segundo três regras básicas:

1^a - Se em uma dada direção não fosse possível executar um pouso (indicado pela sigla NP nas tabelas de tempo de pouso), o tempo de pouso final seria o valor do tempo de pouso do outro sentido;

2^a - Se a diferença entre o ROT1 e ROT2 fosse maior que 15 s, considerar-se-ia que a direção de pouso com maior ROT seria inviável e provavelmente impraticável, levando assim ao valor final de ROT igual ao menor valor entre ROT1 e ROT2;

3^a - Em todos os outros casos o valor de ROT ficou igual à média aritmética entre ROT1 e ROT2.

Não necessariamente o valor de ROT na hora pico segue as 3 regras estabelecidas anteriormente. Por exemplo, observando-se a 3^a regra, pode-se lembrar que, provavelmente, um dos sentidos de pouso seja mais utilizado do que o outro, o que levaria a uma média ponderada, não a uma média aritmética.

Para se aplicar as regras estabelecidas nas planilhas do Excel®, utilizaram-se novamente macros. O Macro 3, criado para auxiliar o cálculo do ROT, encontra-se no Apêndice I.

Os resultados gerados durante esta etapa podem ser encontrados no Apêndice G.

2.2.3 Cálculo do Tempo de Decolagem

Devida à falta de um software livre capaz de fazer o cálculo do tempo de decolagem em função de todos os dados levantados, e a pouca sensibilidade do tempo de decolagem em função de tais dados (exceto o MIX de aeronaves), optou-se por uma metodologia probabilística, simplificada, em função apenas do MIX de aeronaves, para se efetuar o cálculo do tempo de decolagem.

O tempo de decolagem é influenciado, principalmente, pelo modelo da aeronave que está decolando, não tão intensamente pela configuração da pista. Entretanto, variáveis como temperatura e altitude interferem no desempenho da aeronave, e, neste método, essas variáveis foram considerados constantes para todas as pistas.

Uma porcentagem do tempo de ocupação de pista durante a decolagem está no tempo de alinhamento da aeronave, onde a mesma se prepara para o procedimento de rolagem. Este tempo médio depende, quase que exclusivamente, do desempenho da aeronave. A segunda

parte do tempo está na rolagem propriamente dita, que é o tempo que a aeronave percorre a pista e ganha velocidade até liberar o eixo da pista.

Os tempos de decolagem, para cada aeronave tipo, foram levantados por especialistas em Controle de Tráfego Aéreo vinculados ao ITA. Considerou-se que a aeronave libera a pista após 2 NM do ponto de sua decolagem. Outras hipóteses assumidas foram que as operações ocorrem ao nível médio do mar, com temperatura ISA + 15, e 75% do peso máximo de decolagem.

A Tabela 05 contém os tempos de decolagem para cada aeronave-tipo.

Tabela 05 - Tempo de Decolagem para cada Aeronave-Tipo

Tamanho	Aeronave – Tipo	Tempo de Decolagem (s)		
		Alinhamento	Rolagem	Total
MG	B-747	50	25	75
G	B-737	40	35	75
M	F-100	40	35	75
P	E-120	30	40	70
MP	C-208	20	50	70

Fonte: Especialistas em Controle do Tráfego Aéreo

Para efetuar o cálculo do tempo total de decolagem para cada aeroporto, fez-se o produto dos MIX de aeronaves pelos respectivos tempos de decolagem:

$$\text{TempDep}_{\text{total}} (s) = \text{TempDep}_{\text{MG}} (s) * \text{MIX}_{\text{MG}} (\%) + \text{TempDep}_{\text{G}} (s) * \text{MIX}_{\text{G}} (\%) + \text{TempDep}_{\text{M}} (s) * \text{MIX}_{\text{M}} (\%) + \text{TempDep}_{\text{P}} (s) * \text{MIX}_{\text{P}} (\%) + \text{TempDep}_{\text{MP}} (s) * \text{MIX}_{\text{MP}} (\%)$$

Todos os resultados gerados durante esta etapa também podem ser encontrados no Apêndice G.

2.2.4 Cálculo do Tempo de Separação entre Aeronaves

Devido à esteira de turbulência, o DECEA estabelece no ICA 100-12 [2] distâncias mínimas entre aeronaves, tanto para vôos VFR como para vôos IFR (e, segundo especialistas em controle de tráfego aéreo, com, teoricamente, mesmos valores para ambos).

Ainda segundo o DECEA, existem dois tipos de separações mínimas de esteira de turbulência a serem respeitadas: a separação radar e a separação não-radar. Ambas devem ser seguidas e, portanto, a separação mínima é a maior entre as duas. Deve-se ressaltar que todos os aeroportos analisados neste trabalho estão cobertos por sistemas de radar, caso contrário, não haveria sentido falar em separação radar.

Segundo os especialistas, na prática, os controladores de tráfego aéreo conseguem diminuir essas separações nos vôos VFR (no vôo IFR há ainda a interferência entre os instrumentos utilizados), o que resulta em um aumento na capacidade do sistema pista em vôos visuais. Entretanto, não seria possível mensurar essa diminuição, preferindo-se desconsiderá-la, já que a maior parte dos aeroportos analisados, na hora pico, recebe a maior parte dos vôos com instrumentação.

A seguir estão os mínimos de separação radar e não-radar impostos pelo DECEA [2].

- Radar:

Tabela 06 - Separações mínimas radar

Categoria da aeronave que segue à frente	Categoria da aeronave que segue atrás	Mínimos	
		NM	m
PESADA	PESADA	4	7408
	MÉDIA	5	9260
	LEVE	6	11112
MÉDIA	PESADA	3	5556
	MÉDIA	3	5556
	LEVE	5	9260
LEVE	PESADA	3	5556
	MÉDIA	3	5556
	LEVE	3	5556

Fonte: ICA 100-12 [2]

"Os mínimos estabelecidos (...) deverão ser aplicados, quando:

- a) uma aeronave seguir a trajetória de outra, na mesma altitude ou a menos de 1000 pés abaixo;
- b) ambas as aeronaves utilizarem a mesma pista ou pistas paralelas separadas pelo menos de 760m; ou
- c) uma aeronave cruzar a trajetória de outra na mesma altitude ou a menos de 1000 pés abaixo (...)", ICA 100-12, pág. 98.

- Não-Radar:

Tabela 07 - Separações mínimas não-radar

Operação	Categoria da aeronave que segue à frente	Categoria da aeronave que segue atrás	Mínimos
			s
Pouso após outro Pouso	PESADA	PESADA	0
		MÉDIA	180
		LEVE	180
Decolagem após outra Decolagem	PESADA	PESADA	0
		MÉDIA	120
		LEVE	120
Decolagem após Pouso ou vice-versa	PESADA	PESADA	0
		MÉDIA	120
		LEVE	120

Fonte: ICA 100-12 [2]

“Deverá ser aplicado um mínimo de 2 minutos entre uma aeronave LEVE ou MÉDIA que decolar após uma aeronave PESADA, quando as aeronaves utilizarem:

- a) a mesma pista;
- b) pistas paralelas, separadas por menos de 760m;
- c) pistas transversais, se as trajetórias de vôo projetadas se cruzarem; ou
- d) pistas paralelas separadas por 760m ou mais, se as trajetórias de vôo projetadas se cruzarem.”, ICA 100-12, pág. 99.

Os conceitos de aeronaves PESADAS, MÉDIAS e PEQUENAS são definidos pelo ICA 100-12 [2] como sendo:

“As três categorias (...) são:

- a) PESADA (H) - todos os tipos de aeronaves de peso máximo de decolagem de 136.000 kg (300.000 libras) ou mais;
- b) MÉDIA (M) - tipos de aeronaves de peso máximo de decolagem inferior a 136.000 kg (300.000 libras) e superior a 7000 kg (15.500 libras); e
- c) LEVE (L) - tipos de aeronaves de peso máximo de decolagem de 7000 kg (15.500 libras) ou menos.”, ICA 100-12, pág. 97.

A Tabela 8, com dados fornecidos por especialistas em tráfego aéreo, relaciona os tamanhos das aeronaves usados neste trabalho e os definidos pelo ICA 100-12, e, ainda, contém as velocidades de pouso e decolagem das aeronaves tipos, que serão utilizadas mais adiante.

Tabela 08 - Classificação das Aeronaves quanto ao ICA 100-12 e velocidades de pouso e decolagem

Tamanho	Aeronave	Decolagem (seg)		Pouso (seg)		PMD (kg)	Classificação
		Vm (kt)	Vm (m/s)	Vm (kt)	Vm (m/s)		
MG	B-747	140	72,02	160	82,31	396890	PESADA
G	B-737	110	56,59	140	72,02	61400	MÉDIA
M	F-100	110	56,59	140	72,02	44450	MÉDIA
P	E-120	90	46,30	130	66,88	11500	MÉDIA
MP	C-208	70	36,01	100	51,44	3630	LEVE

Fonte: Tabela criada pelo autor com dados fornecidos pelos especialistas

Com tais separações e a Tabela 8, construíram-se as matrizes de separações entre as aeronaves, levando em consideração os seus tamanhos e suas situações (decolando ou pousando). Primeiramente apresenta-se a construção da matriz das separações radar (Tabela 9).

Tabela 09 - Matriz de separações radar de aeronaves, ainda não considerando as 2NM da decolagem para liberar a pista. Valores em NM.

Atrás À frente	MG Dec	G Dec	M Dec	P Dec	MP Dec	MG Pouso	G Pouso	M Pouso	P Pouso	MP Pouso
MG Dec	4	5	5	5	6	4	5	5	5	6
G Dec	3	3	3	3	5	3	3	3	3	5
M Dec	3	3	3	3	5	3	3	3	3	5
P Dec	3	3	3	3	5	3	3	3	3	5
MP Dec	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MG Pouso	0	0	0	0	0	4	5	5	5	6
G Pouso	0	0	0	0	0	3	3	3	3	5
M Pouso	0	0	0	0	0	3	3	3	3	5
P Pouso	0	0	0	0	0	3	3	3	3	5
MP Pouso	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3

Fonte: Construída pelo autor

Lembrando que a pista é liberada após uma decolagem somente quando a aeronave que acabou de decolar já se encontra a 2NM de distância, subtraiu-se 2NM das separações mínimas nas situações onde uma aeronave que acabou de decolar está à frente (cinco primeiras linhas da Tabela 9). Assim montou-se a Tabela 10.

Tabela 10 - Matriz de separações radar de aeronaves, considerando as 2NM da decolagem para liberar a pista. Valores em NM.

Atrás À frente	MG Dec	G Dec	M Dec	P Dec	MP Dec	MG Pouso	G Pouso	M Pouso	P Pouso	MP Pouso
MG Dec	2	3	3	3	4	2	3	3	3	4
G Dec	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3
M Dec	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3
P Dec	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3
MP Dec	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MG Pouso	0	0	0	0	0	4	5	5	5	6
G Pouso	0	0	0	0	0	3	3	3	3	5
M Pouso	0	0	0	0	0	3	3	3	3	5
P Pouso	0	0	0	0	0	3	3	3	3	5
MP Pouso	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3

Fonte: Construída pelo autor

Com a Tabela 10, as velocidades das aeronaves que seguem atrás e as leis da cinemática, calculou-se cada separação em segundos (Tabela 11), em vez de NM.

Tabela 11 - Matriz de separações radar de aeronaves, considerando as 2NM da decolagem para liberar a pista. Valores em s.

Velocidade (m/s)	72,02	56,59	56,59	46,30	36,01	82,31	72,02	72,02	66,88	51,44
Atrás À frente	MG Dec	G Dec	M Dec	P Dec	MP Dec	MG Pouso	G Pouso	M Pouso	P Pouso	MP Pouso
MG Dec	51,43	98,18	98,18	120,00	205,71	45,00	77,14	77,14	83,08	144,00
G Dec	25,71	32,73	32,73	40,00	154,29	22,50	25,71	25,71	27,69	108,00
M Dec	25,71	32,73	32,73	40,00	154,29	22,50	25,71	25,71	27,69	108,00
P Dec	25,71	32,73	32,73	40,00	154,29	22,50	25,71	25,71	27,69	108,00
MP Dec	25,71	32,73	32,73	40,00	51,43	22,50	25,71	25,71	27,69	36,00
MG Pouso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	90,00	128,57	128,57	138,46	216,00
G Pouso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,50	77,14	77,14	83,08	180,00
M Pouso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,50	77,14	77,14	83,08	180,00
P Pouso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,50	77,14	77,14	83,08	180,00
MP Pouso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,50	77,14	77,14	83,08	108,00

Fonte: Construída pelo autor

A Tabela 12 considera as separações não-radar (que já são expressas em tempo).

Tabela 12 - Matriz de separações não-radar de aeronaves. Valores em s.

À frente \ Atrás	MG Dec	G Dec	M Dec	P Dec	MP Dec	MG Pouso	G Pouso	M Pouso	P Pouso	MP Pouso
MG Dec	0	120	120	120	120	0	120	120	120	120
G Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MP Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MG Pouso	0	120	120	120	120	0	180	180	180	180
G Pouso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M Pouso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P Pouso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MP Pouso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Construída pelo autor

Com as duas matrizes (Tabela 11 e 12), adotando o maior valor para cada elemento da matriz, construiu-se a matriz de separação mínima total (Tabela 13).

Tabela 13 - Matriz de separações mínimas total de aeronaves. Valores em s.

À frente \ Atrás	MG Dec	G Dec	M Dec	P Dec	MP Dec	MG Pouso	G Pouso	M Pouso	P Pouso	MP Pouso
MG Dec	51,43	120	120	120	205,71	45	120	120	120	144
G Dec	25,71	32,7	32,73	40	154,29	22,5	25,714	25,714	27,69	108
M Dec	25,71	32,7	32,73	40	154,29	22,5	25,714	25,714	27,69	108
P Dec	25,71	32,7	32,73	40	154,29	22,5	25,714	25,714	27,69	108
MP Dec	25,71	32,7	32,73	40	51,429	22,5	25,714	25,714	27,69	36
MG Pouso	0	120	120	120	120	90	180	180	180	216
G Pouso	0	0	0	0	0	67,5	77,143	77,143	83,08	180
M Pouso	0	0	0	0	0	67,5	77,143	77,143	83,08	180
P Pouso	0	0	0	0	0	67,5	77,143	77,143	83,08	180
MP Pouso	0	0	0	0	0	67,5	77,143	77,143	83,08	108

Fonte: Construída pelo autor

Para se chegar a uma separação “média” para cada aeroporto, utilizou-se metodologia probabilística mostrada no livro do Horonjeff [11]. Nesta metodologia, a princípio, constrói-se uma matriz com as probabilidades de ocorrer um dado evento em cada pista. Por exemplo, o Aeroporto Internacional de Guarulhos – SBGR possui como MIX de aeronaves (como se pode observar no Apêndice D): MG = 28,51 %, G = 64,11 %, M = 5,58 %, P = 1,80 % e MP = 0,00 %. Considerando que 50 % das operações sejam decolagens e 50% pouso e que todas as pistas possuam o mesmo MIX, pode se supor, probabilisticamente, que a chance de ocorrer um pouso de uma aeronave MG em uma pista de Guarulhos é de 50 % x 28,51 %, ou seja, 14,26%. O mesmo raciocínio pode ser aplicado para se calcular, por exemplo, a probabilidade de ocorrer uma decolagem de uma aeronave pequena: 50 % x 1,80 % = 0,90 %. E ampliando

o mesmo raciocínio, a chance de ocorrer uma decolagem de uma aeronave pequena em uma pista de Guarulhos logo após um pouso de uma aeronave muito grande seria de $14,26\% \times 0,90\% = 0,128\%$. Fazendo-se isso para todas as combinações possíveis de tamanhos e pousos/decolagens constrói-se uma matriz de probabilidades. No caso do exemplo (Guarulhos) a matriz de probabilidades está na Tabela 14.

Tabela 14 - Exemplo de Matriz de Probabilidades – Guarulhos

PROBS	PROBS	14,2569%	32,0550%	2,7890%	0,8991%	0,0000%	14,2569%	32,0550%	2,7890%	0,8991%	0,0000%
	Atrás À frente	MG Dec	G Dec	M Dec	P Dec	MP Dec	MG Pouso	G Pouso	M Pouso	P Pouso	MP Pouso
14,2569%	MG Dec	2,0326%	4,5700%	0,3976%	0,1282%	0,0000%	2,0326%	4,5700%	0,3976%	0,1282%	0,0000%
32,0550%	G Dec	4,5700%	10,2753%	0,8940%	0,2882%	0,0000%	4,5700%	10,2753%	0,8940%	0,2882%	0,0000%
2,7890%	M Dec	0,3976%	0,8940%	0,0778%	0,0251%	0,0000%	0,3976%	0,8940%	0,0778%	0,0251%	0,0000%
0,8991%	P Dec	0,1282%	0,2882%	0,0251%	0,0081%	0,0000%	0,1282%	0,2882%	0,0251%	0,0081%	0,0000%
0,0000%	MP Dec	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%
14,2569%	MG Pouso	2,0326%	4,5700%	0,3976%	0,1282%	0,0000%	2,0326%	4,5700%	0,3976%	0,1282%	0,0000%
32,0550%	G Pouso	4,5700%	10,2753%	0,8940%	0,2882%	0,0000%	4,5700%	10,2753%	0,8940%	0,2882%	0,0000%
2,7890%	M Pouso	0,3976%	0,8940%	0,0778%	0,0251%	0,0000%	0,3976%	0,8940%	0,0778%	0,0251%	0,0000%
0,8991%	P Pouso	0,1282%	0,2882%	0,0251%	0,0081%	0,0000%	0,1282%	0,2882%	0,0251%	0,0081%	0,0000%
0,0000%	MP Pouso	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%

Fonte: Construída pelo autor

A somatória dos elementos da matriz de probabilidades é um (100%).

Para se obter o tempo de separação médio probabilístico segundo Horonjeff [11], faz-se a soma dos produtos entre cada elemento da matriz de probabilidades e cada respectivo elemento da matriz de separações mínimas das aeronaves.

Estes cálculos foram feitos através do Macro 4 e as hipóteses consideradas foram:

- Todas as pistas de um mesmo aeroporto possuem o mesmo MIX de aeronaves, e;
- Na hora-pico, 50% dos movimentos são pousos e os outros 50% são decolagens.

O Macro 4, que se encontra no Apêndice I, ainda calcula as separações médias mínimas caso a pista opere apenas pousos, ou opere apenas decolagens. Estes valores serão utilizados para os cálculos de capacidades dos aeroportos com pistas paralelas ou pistas cruzadas.

Os resultados obtidos nesta metodologia encontram-se no Apêndice G.

2.2.5 Cálculo das Capacidades Máximas Horárias

Para se efetuar o cálculo da capacidade máxima horária de cada pista, considerou-se, mais uma vez, que na hora-pico, o número de decolagens seja igual ao número de pousos. Com esta consideração, e com os tempos de decolagem, pouso e separação, pode-se calcular o número máximo de movimentos de determinada pista através da fórmula:

$$N^{\circ}\text{mov}_{\text{máx}} (\text{movimentos} / \text{h}) = 3600 / ((T_{\text{decolagem}} (\text{s}) + (T_{\text{pouso}} (\text{s})) / 2 + T_{\text{separação}} (\text{s}))$$

Segundo a ICA 100-12, pistas paralelas com distância menor do que 760 m e pistas cruzadas devem ser consideradas como uma só pista. Baseado neste conceito, calcularam-se as capacidades dos aeroportos considerando-se esta distância mínima estabelecida, segundo as seguintes hipóteses:

- Pista Simples: Capacidade do aeroporto igual à capacidade da única pista;
- Pistas Cruzadas: Capacidade do aeroporto igual à capacidade da pista mais eficiente;
- Pistas Paralelas com distância menor do que 760m: Capacidade do aeroporto igual à capacidade da pista mais eficiente;
- Pistas Paralelas com distância maior do que 760m: Capacidade total igual à soma das capacidades de cada pista.

Entretanto, para três dos aeroportos (Guarulhos, Galeão e Congonhas) com pistas paralelas com distância menor do que 760 m ou pistas cruzadas, as capacidades horárias deram menor do que o atual movimento na hora pico (isso pode ser observado no capítulo Resultados).

Segundo os especialistas em tráfego aéreo, na realidade os controladores de vôo utilizam as pistas simultaneamente, mas não de forma independente uma da outra (como em pistas paralelas com mais de 760m de distância). Geralmente, nos casos acima citados, uma das pistas é utilizada para decolagens e outra para pousos. Assim que se passa algum tempo após o toque de uma aeronave pousando em uma das pistas (para pistas paralelas próximas, este tempo é de cerca de 15 s, e nas pistas cruzadas, este tempo tem valor entre 15 s e o tempo de ocupação da pista), o controlador libera uma aeronave para efetuar a decolagem na outra pista. Isto significa um ganho na capacidade no conjunto de pistas, como pode se observar nos resultados obtidos.

Considerando o que ocorre na realidade, as novas hipóteses, para duas das quatro configurações de sistemas de pistas, foram:

- Pistas Cruzadas: Uma das pistas fica apenas com pousos (a com menor valor de ROT) enquanto a outra com decolagens. Após $(15 + ROT) / 2$ segundos de cada toque de aeronave na pista de pouso, há a liberação para uma decolagem na outra pista. Cada pista respeita individualmente as separações mínimas entre aeronaves (daí o motivo do cálculo, no item anterior, das separações médias mínimas caso a pista opere apenas pousos, ou opere apenas decolagens);

- Pistas Paralelas com distância menor do que 760m: Uma das pistas fica apenas com pousos (a com menor valor de ROT) enquanto a outra com decolagens. Após 15 segundos de cada toque de aeronave na pista de pouso, há a liberação para uma decolagem na outra pista. Cada pista respeita individualmente as separações mínimas entre aeronaves (daí o motivo do cálculo, no item anterior, das separações médias mínimas caso a pista opere apenas pousos, ou opere apenas decolagens).

Para se efetuarem os cálculos das capacidades dos aeroportos criou-se o Macro 5, cujas linhas de comando encontram-se no Apêndice I.

Os resultados obtidos neste item se encontram no apêndice G.

3 RESULTADOS OBTIDOS

O nível de operação foi obtido dividindo-se os valores dos Movimentos de Aeronaves de Asa Fixa na Hora-Pico de Pista pelos valores de capacidades de cada aeroporto. Também foram efetuados estes cálculos para as projeções de aumento de demanda na hora-pico feitos pela ANAC [8], considerando que a capacidade da pista não venha a ser alterado (ou seja, todas as variáveis se mantiveram constantes).

Estes resultados tabelados se encontram no Apêndice H. Os gráficos dos resultados são apresentados a seguir (Figuras 21 a 31). Todos os gráficos estão em ordem decrescente de nível de serviço. Excetuando-se o 1º gráfico (Figura 21), todos os demais gráficos se referem à capacidade prática do aeroporto, ou seja, considerando que pistas paralelas com distância menor do que 760m e pistas cruzadas possam operar simultaneamente (dentro das hipóteses apresentadas no item anterior).

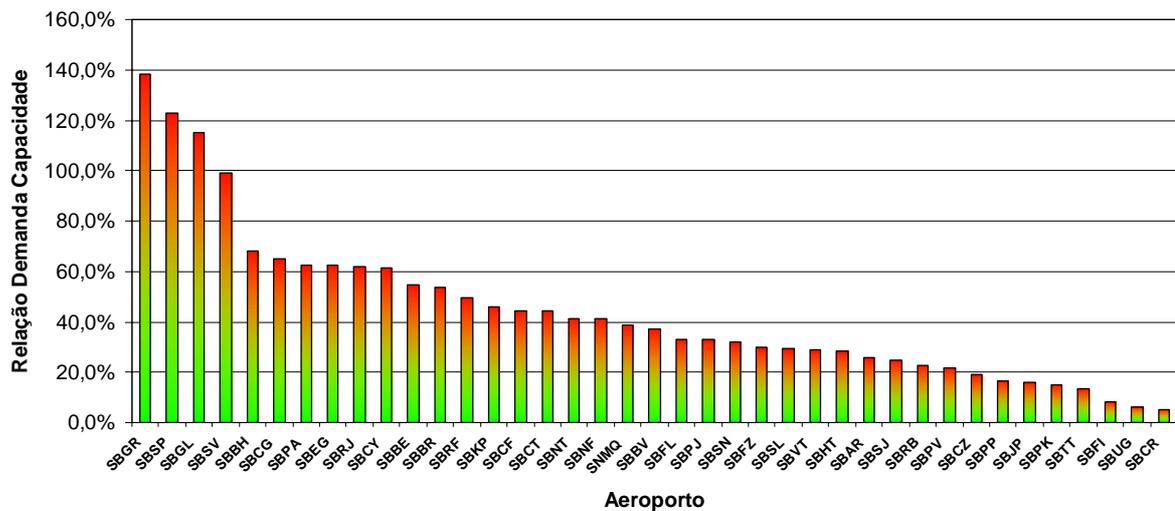


Figura 21 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2005, caso pistas muito próximas fossem impedidas de operar simultaneamente.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

O gráfico da Figura 21 exibe como seriam as relações demanda/capacidade, caso pistas paralelas com distância menor do que 760m e pistas cruzadas tivessem de ser consideradas como uma única pista. Pode-se observar que 3 aeroportos (Guarulhos, Congonhas e Galeão) teriam sua utilização maior do que 100% da capacidade máxima no ano de 2005, além do aeroporto de Salvador (SBSV), que teria 98,95 % da utilização.

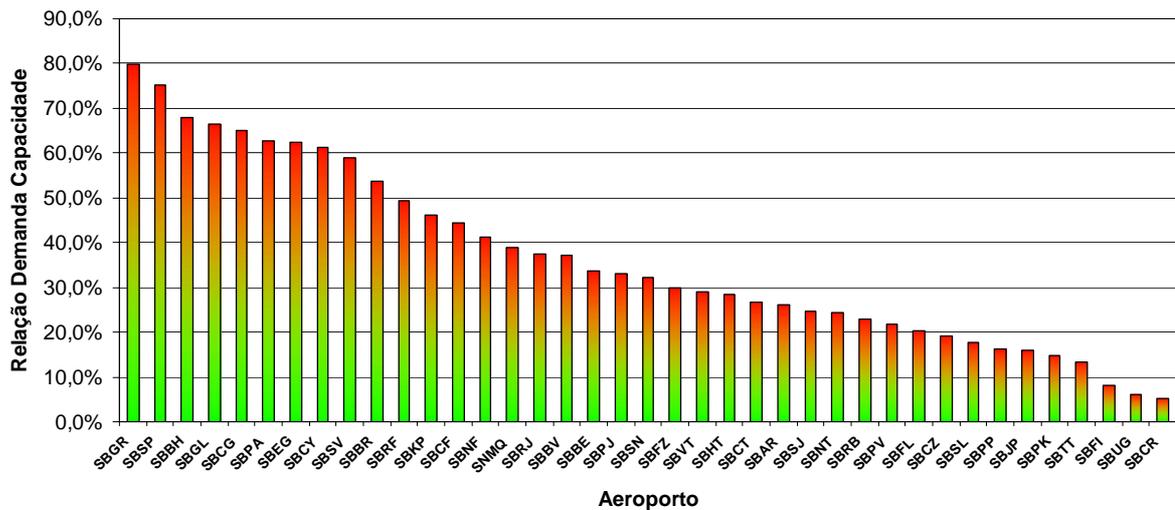


Figura 22 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2005.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

O gráfico da Figura 22 exibe a atual situação das pistas nos aeroportos brasileiros. Aeroportos como Guarulhos (com 79,92%) e Congonhas (com 75,28%) estão com alta utilização na hora pico. Na prática, estes valores altos significam atrasos, lembrando que qualquer problema que surja irá gerar filas e queda no nível de serviço devido à situação próxima da saturação. Outro ponto que deve ser ressaltado é que os níveis de utilização estão comparados à capacidade máxima da pista e considera que os controladores conseguem “encaixar” uma aeronave atrás da outra, respeitando, apenas, as separações mínimas. Na realidade, nem sempre isso é possível, já que:

- a chegada e a saída das aeronaves não são homogêneas;
- as separações de cruzeiro e aproximação de aeronaves nem sempre permitem que as aeronaves estejam suficientemente próximas para executarem pousos e decolagens na separação mínima da torre, e;
- os controladores de voo nem sempre conseguem, devido às limitações naturais e ao elevado número de variáveis a serem consideradas, efetuar este encaixe perfeito das aeronaves.

A seguir serão apresentados os gráficos (Figura 23 a 31) para um crescimento médio, otimista e pessimista de demanda, nos anos de 2010, 2015 e 2020. Manteve-se a capacidade constante. Deve-se ressaltar que estas previsões foram desenvolvidas pela ANAC.

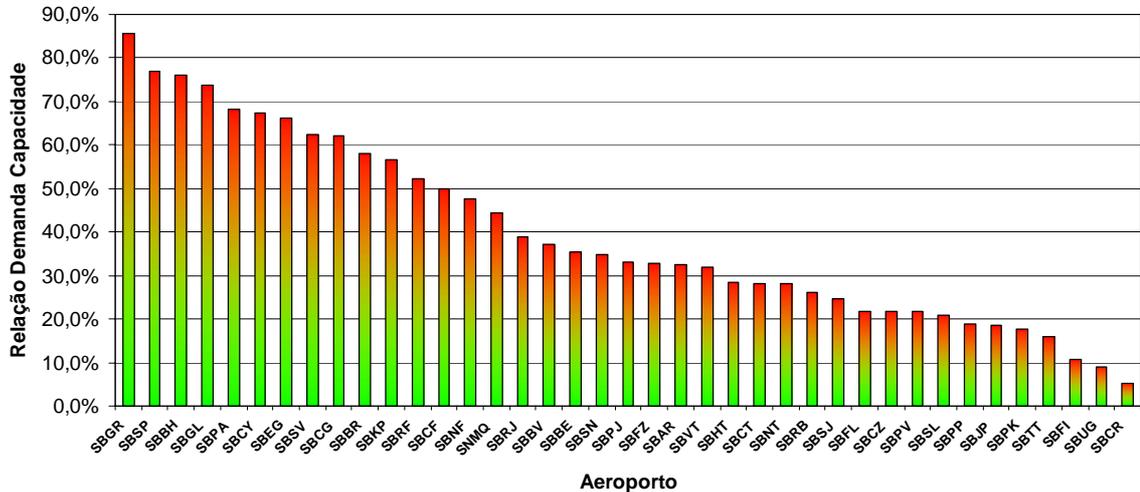


Figura 23 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2010 em uma situação de crescimento pessimista.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

No gráfico da Figura 23, observam-se os níveis de serviço para um futuro bem próximo (2010) e com um crescimento da demanda pessimista. Guarulhos (85,63%), Congonhas (76,85%), Pampulha (76,08%) e Galeão (73,81%) estão com níveis de serviço altos, o que poderá acarretar, nestes aeroportos, problemas de atraso como citado anteriormente.

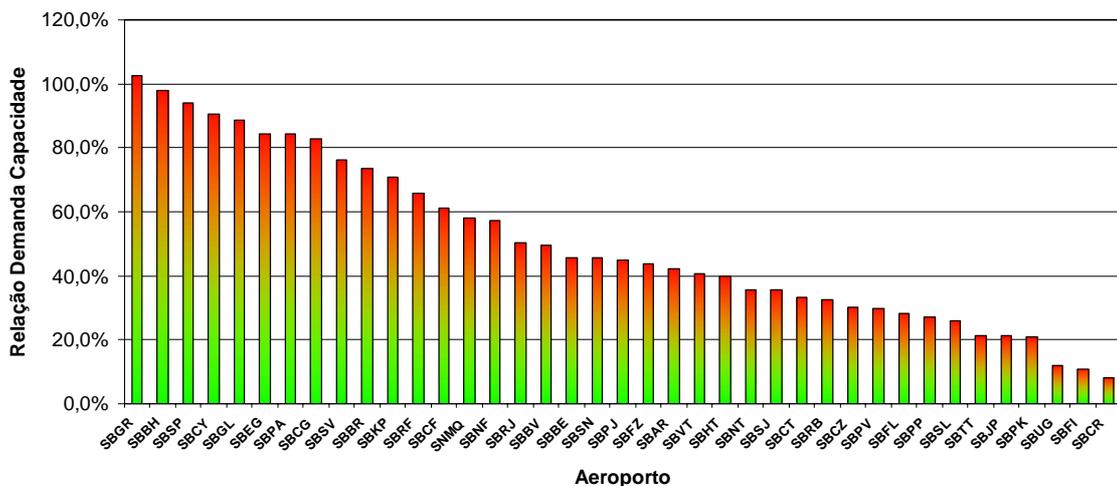


Figura 24 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2010 em uma situação de crescimento médio.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

No gráfico da Figura 24, já no ano de 2010, para um crescimento médio, ocorrerá o primeiro processo de saturação de um sistema de pistas de um aeroporto (Guarulhos). Com 102,75% da utilização, o sistema pista irá se tornar um gargalo na capacidade do aeroporto, gerando, mesmo com máximo aproveitamento das pistas, filas e atrasos. Em ordem decrescente de nível de serviço, os aeroportos Pampulha, Congonhas, Marechal Rondon (Cuiabá), Galeão, Eduardo Gomes (Manaus), Salgado Filho (Porta Alegre), Campo Grande e Salvador apresentarão utilização alta (maior do que 75 % do máximo).

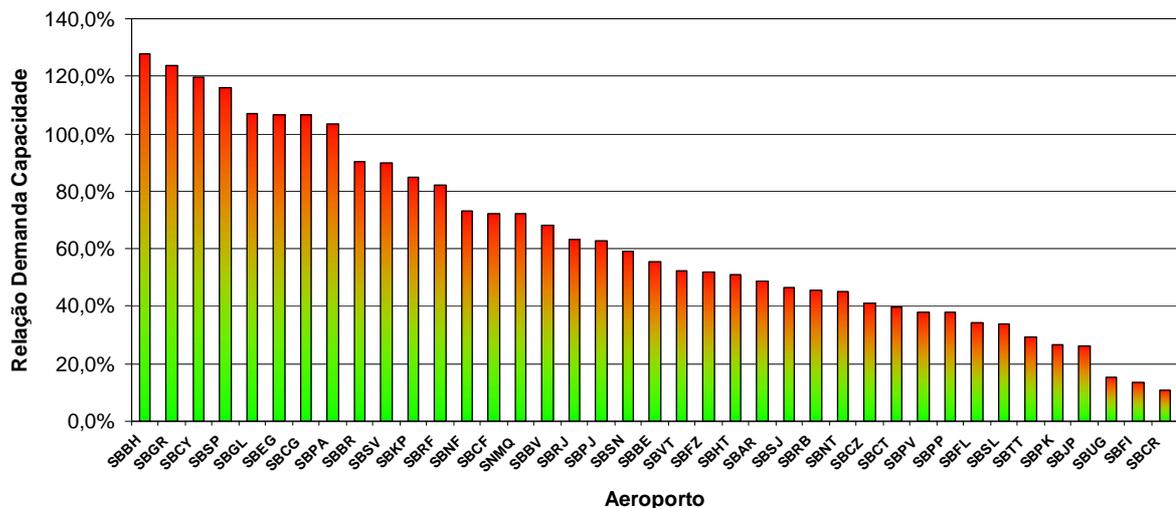


Figura 25 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2010 em uma situação de crescimento otimista.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

O gráfico da Figura 25 exibe, para o ano de 2010 novamente, em uma situação de crescimento otimista, que 8 aeroportos da rede INFRAERO irão ter o sistema de pistas saturado (Pampulha, Guarulhos, Marechal Rondon, Congonhas, Galeão, Eduardo Gomes, Campo Grande e Salgado Filho). Os aeroportos com alta utilização serão: Brasília, Salvador e Campinas.

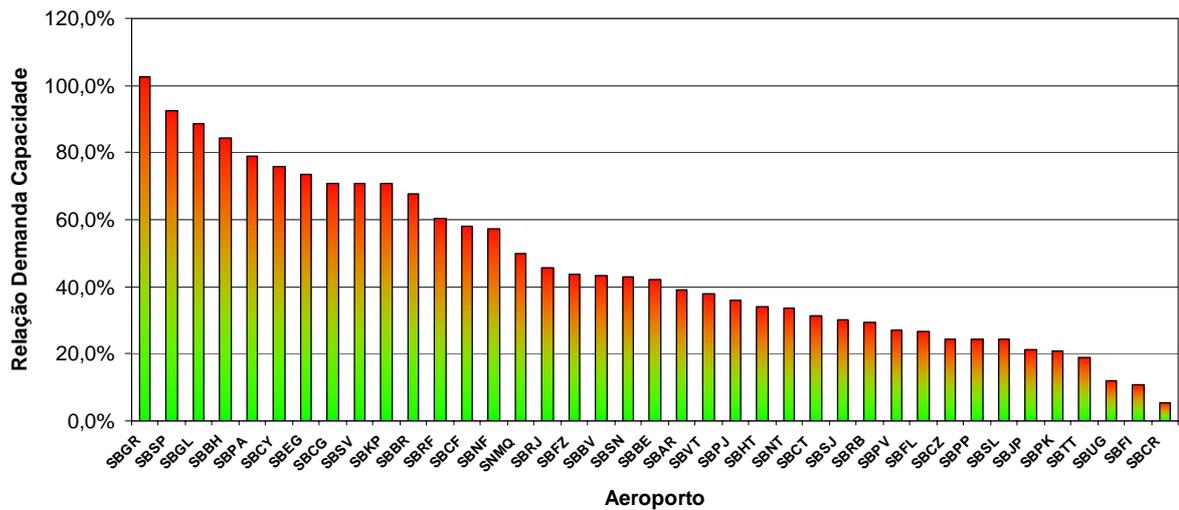


Figura 26 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2015 em uma situação de crescimento pessimista.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

O gráfico da Figura 26 mostra que, para um crescimento pessimista, no ano de 2015 ocorrerá a primeira saturação do sistema de pistas (novamente Guarulhos). Aeroportos como Congonhas, Galeão, Pampulha, Porto Alegre e Marechal Rondon estarão com alta utilização.

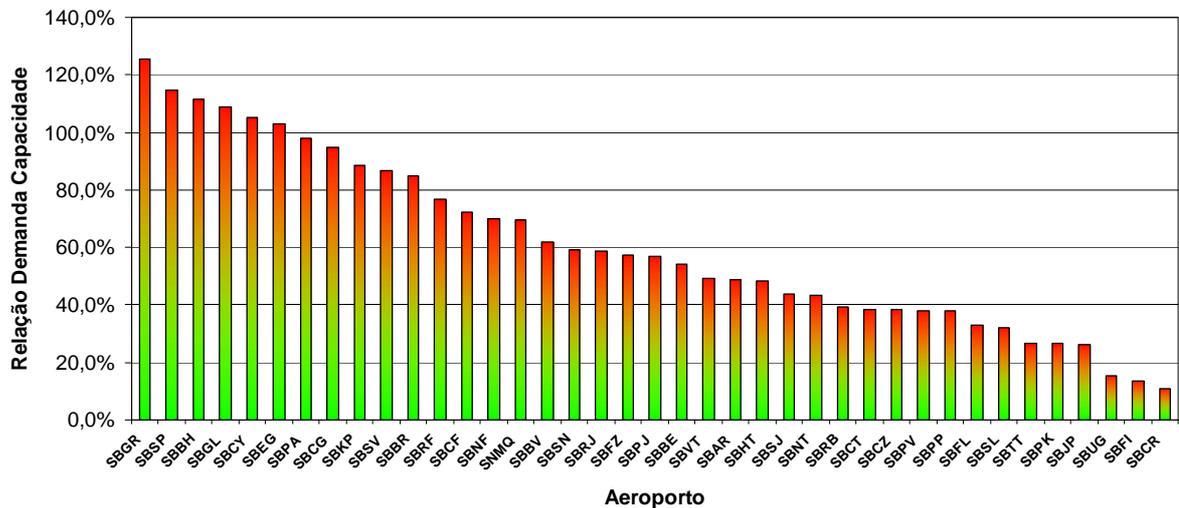


Figura 27 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2015 em uma situação de crescimento médio.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

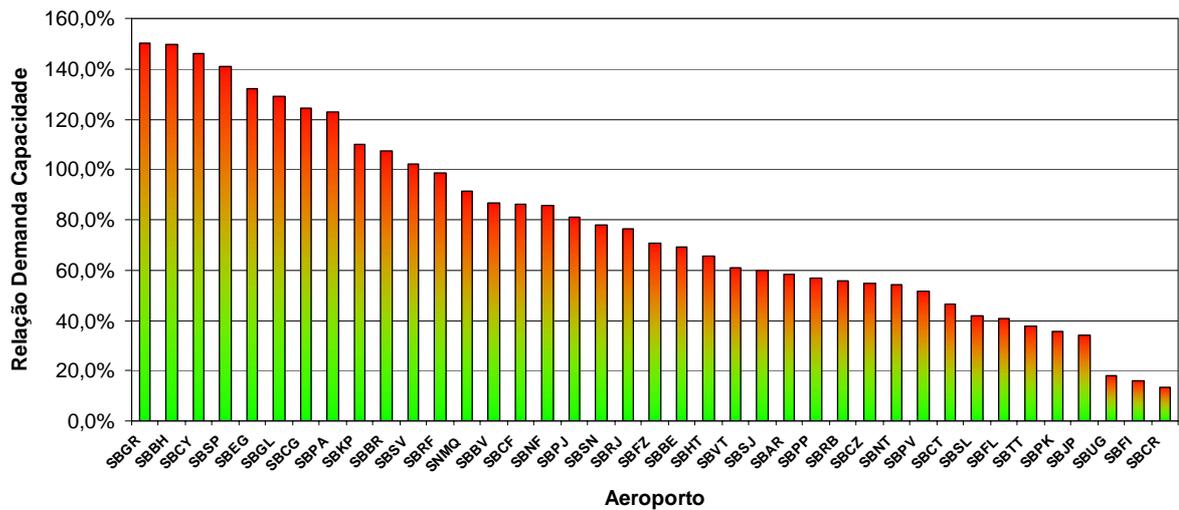


Figura 28 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2015 em uma situação de crescimento otimista.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Os gráficos das Figuras 27 e 28 são perspectivas para o ano de 2015, com crescimento médio e otimista, respectivamente, dos níveis de serviços dos aeroportos de análise. Os grandes aeroportos, em torno de 15, apresentarão problemas de saturação e/ou alta utilização. Os resultados podem ser melhor visualizados na tabela do Apêndice H.

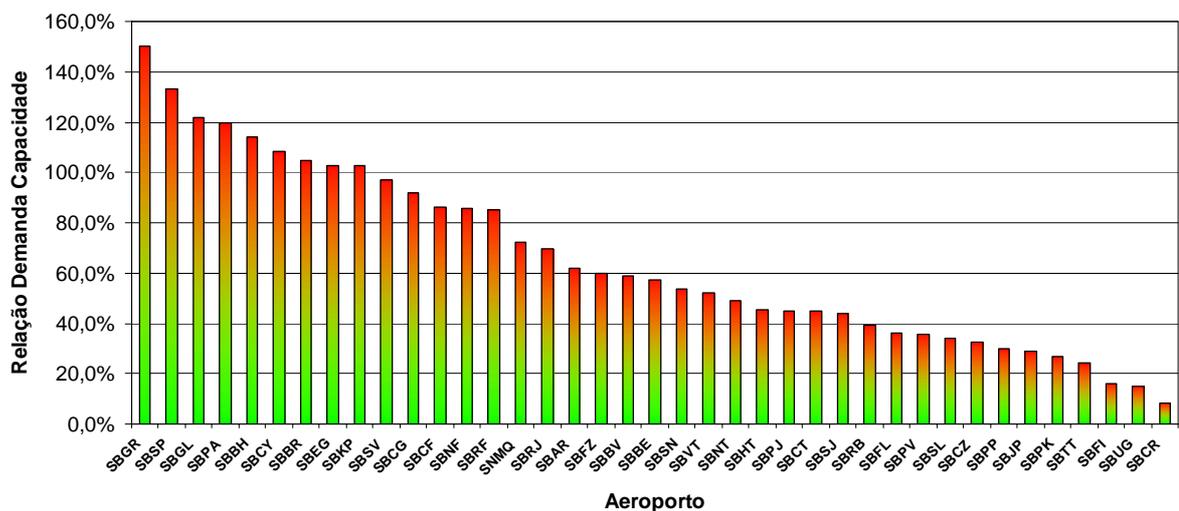


Figura 29 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2020 em uma situação de crescimento pessimista.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

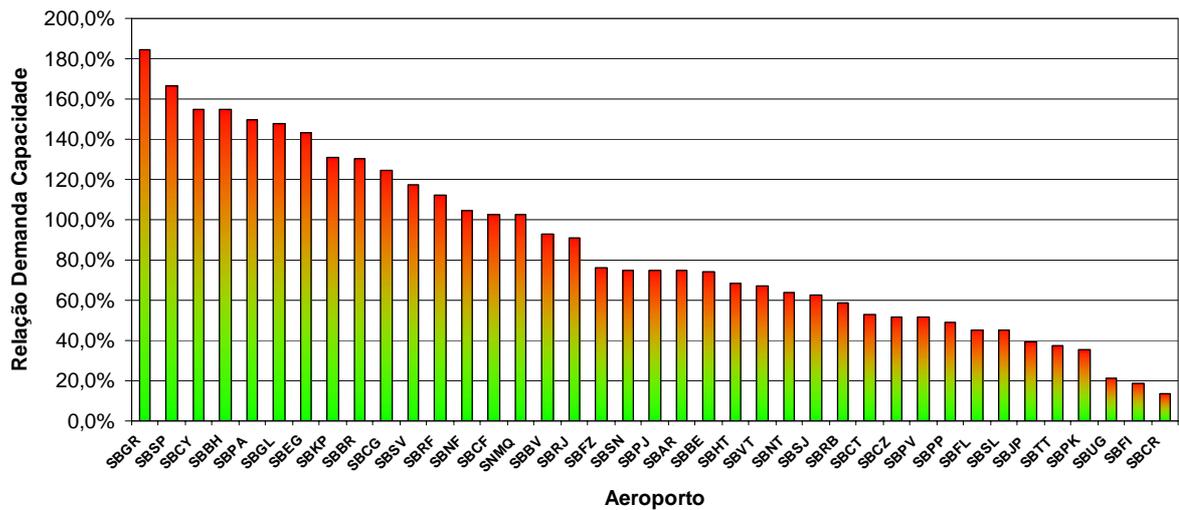


Figura 30 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2020 em uma situação de crescimento médio.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

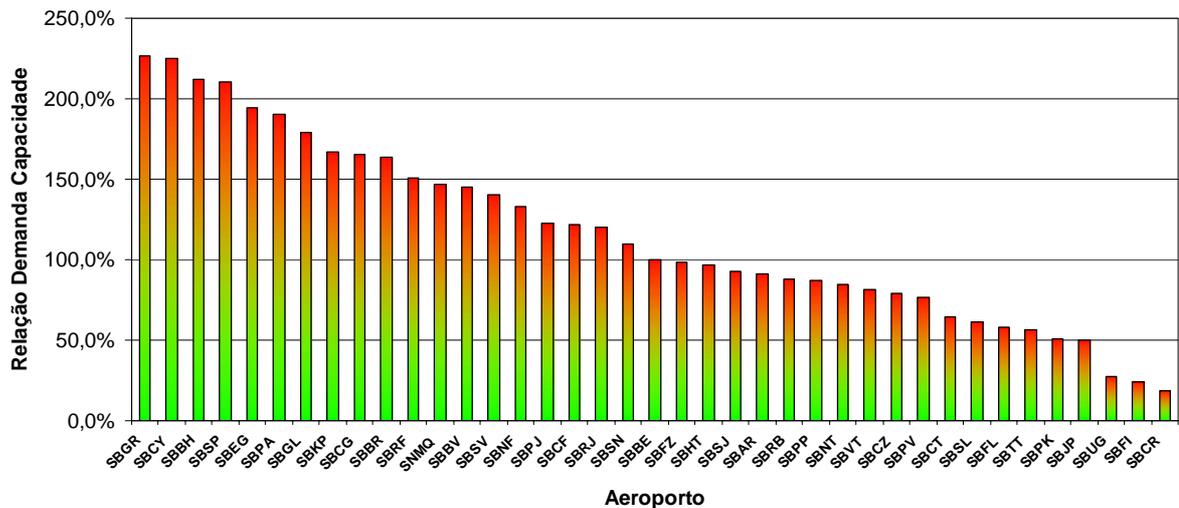


Figura 31 - Relações demanda/capacidade, para a demanda do ano de 2020 em uma situação de crescimento otimista.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Os gráficos das Figuras 29, 30 e 31 demonstram uma situação próxima da caótica para boa parte dos aeroportos da rede INFRAERO no ano de 2020 (segundo estatísticas de demanda da própria ANAC). Alguns pontos podem ser ressaltados para este ano:

- Guarulhos, mesmo em uma situação pessimista de crescimento, estará com 150% da utilização máxima.

- Em uma situação média, Guarulhos estará com cerca de 184 % de utilização. Dos aeroportos estudados 15 estarão saturados e cerca de 7 com alta utilização.

- Já em um crescimento otimista, 4 aeroportos (Guarulhos, Marechal Rondon, Pampulha e Congonhas) estarão com mais de 200% de utilização. Dos estudados, 19 estarão saturados e 11 com alta utilização.

Deve-se lembrar que os valores futuros, apesar de alarmantes, representam uma previsão e são baseados em tendências de crescimentos estimados. Como toda previsão (mesmo uma elaborada pela ANAC) pode apresentar erros, já que curvas de demandas apresentam alta variabilidade e são influenciadas por muitas variáveis. Ainda se considerou que nenhuma medida para aumentar a capacidade das pistas foi tomada (como construção de novas pistas) e que não houve remanejamento da demanda.

Mesmo dentro das incertezas da curva de crescimento da demanda, estes resultados levam a uma conclusão: caso não sejam aumentadas as capacidades do sistema de pistas dos aeroportos mais críticos, em um curto período de tempo (lembrando que obras de infraestrutura aeronáutica demoram até anos para serem executadas), ocorrerão sérios problemas de falta de capacidade de pista em alguns aeroportos da rede INFRAERO.

Para finalizar, os gráficos das Figuras 32, 33, e 34 exibem um resumo dos resultados anteriormente comentados, mostrando o número de aeroportos divididos quanto ao nível de utilização, para todos os anos de estudo e para as três situações de crescimento. Os aeroportos foram divididos em Saturados (com mais de 100% de utilização da capacidade máxima da pista), Altos (com utilização entre 75 % e 100%), Médios (com utilização entre 50% e 75%) e Baixos (com utilização menor do que 50%).

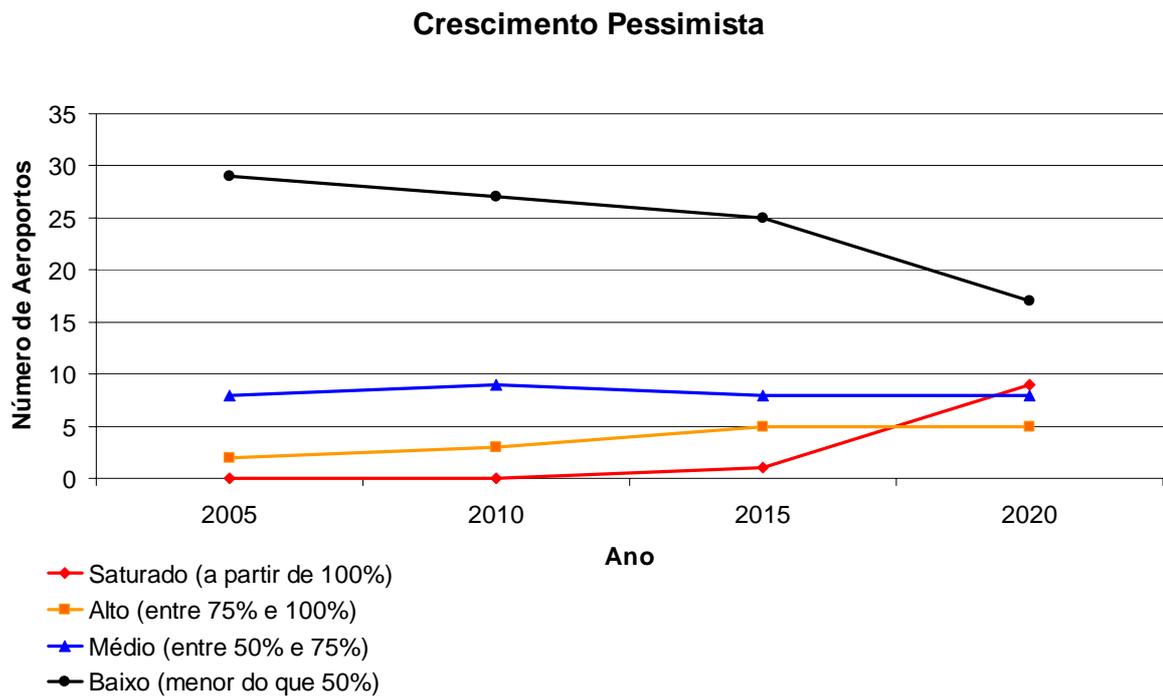


Figura 32 - Número de Aeronaves relativo ao nível de utilização para um crescimento pessimista

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

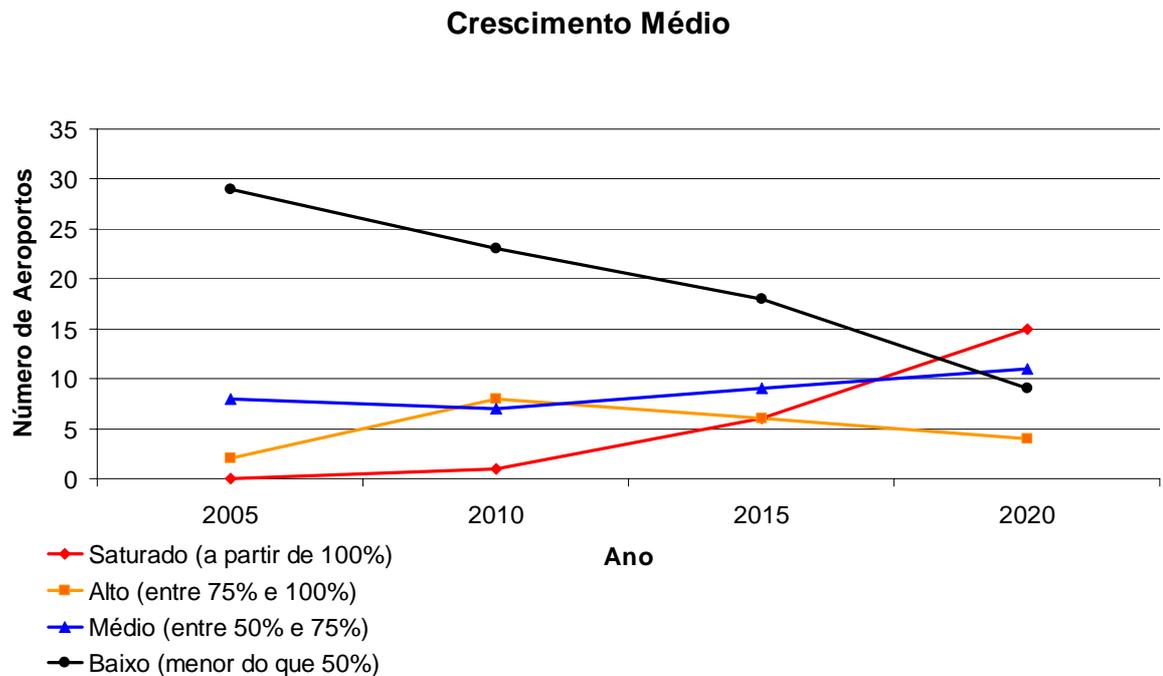


Figura 33 - Número de Aeronaves relativo ao nível de utilização para um crescimento médio

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Crescimento Otimista

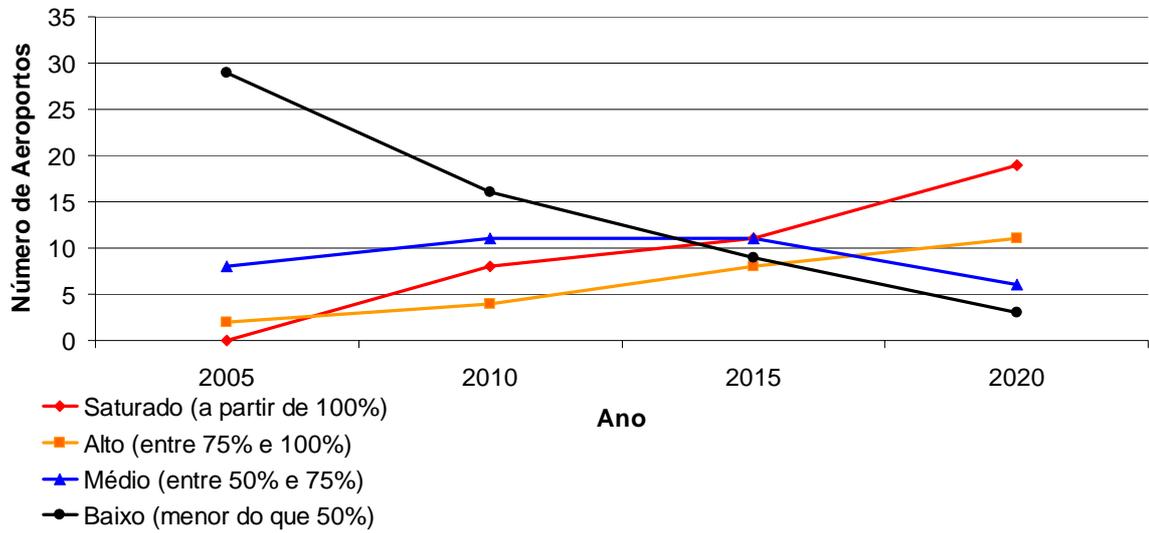


Figura 34 - Número de Aeronaves relativo ao nível de utilização para um crescimento otimista

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho atingiu o seu objetivo inicial que era exibir, para um quadro geral nacional, a situação da utilização e capacidade do sistema de pistas de uma quantidade significativa de aeroportos da Rede INFRAERO.

Seus resultados poderão subsidiar propostas de uso mais racional da malha aeroportuária brasileira. Além disto, muitas das informações levantadas podem ser utilizadas em outras pesquisas. Com uma nova metodologia proposta, este trabalho abre espaço para novas formas de se calcular capacidades de pista, surgindo a possibilidade de se encontrarem métodos e técnicas mais eficazes.

As projeções de demanda não levaram em conta ações de gerenciamento de demanda que a autoridade aeronáutica deverá empreender nos casos em que a movimentação verificada se aproximar da capacidade máxima instalada.

Algumas aproximações foram necessárias e vários pontos do trabalho poderiam ser aprimorados com aumento da precisão dos resultados. Futuros trabalhos, baseados neste, podem efetuar tais aprimoramentos e proporem metodologias mais eficientes. Algumas recomendações podem ser feitas para futuras continuações deste trabalho:

- levantamento e utilização nos cálculos de outras informações tais como: porcentagem de pousos e decolagens na hora pico, número de utilizações da pista para cada sentido de pouso/decolagem na hora pico, e a porcentagem de utilização de cada pista em aeroportos com mais de uma pista.

- utilização de um software que considere o maior número de variáveis possíveis para efetuar o cálculo dos tempos de ocupação de pista durante a decolagem;

- ampliação do número de aeroportos de análise;

- utilização do MIX de aeronaves da hora-pico, em vez do MIX médio dos vôos regulares;

- consideração de atrasos;

- efetuar pesquisas junto a controladores de tráfego aéreo, para levantamento de informações práticas do funcionamento do sistema pista;

- como opção mais complexa e mais precisa, a criação ou aquisição de um software que simule a realidade de um sistema de pistas (baseado nas informações levantadas no item anterior) e que tenha como dados de entrada os tempos de pouso e decolagem de cada tipo de aeronave em dada pista, e o MIX do aeroporto.

REFERÊNCIAS

- [1] CARVALHO, Betânia Golçalves de. **Uma Metodologia para Obtenção de um Diagnóstico dos Principais Aeroportos no Brasil através da Avaliação da Relação Demanda e Capacidade**, 2006. 161f. Tese de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [2] DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **ICA 100-12: Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo**. 269f. Ministério da Defesa – Comando da Aeronáutica – Brasil, 2006.
- [3] AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Base HOTRAN de 14 DE AGOSTO DE 2007**. Disponível em: www.anac.gov.br/arquivos/xls/hotran.xls. Acesso em: 14 de agosto de 2007.
- [4] GOOGLE EARTH – **A 3D interface to the planet – Explore, Search and Discover**. 2007. Disponível em: <http://earth.google.com/download-earth.html>. Acesso em: 20 de abril de 2007.
- [5] DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **AIP: Publicação de Informação Aeronáutica**, 1ª Edição - Parte 3, Aeródromos (AD2). Ministério da Defesa – Comando da Aeronáutica – Brasil.
- [6] Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE. **Mapa da velocidade dos Ventos no Brasil**. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 1998. Disponível em: http://www.eolica.com.br/index_por.html. Acesso em: 23 de agosto de 2007.
- [7] National Weather Service. **Mapas Mundiais de Probabilidades de Chuva**. Climate Prediction Center – USA, 2000. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/index.html>. Acesso em: 25 de agosto de 2007.
- [8] AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Demanda na Hora-Pico, Aeroportos da Rede INFRAERO**. 1086f. Superintendência de Estudos, Pesquisas e Capacitação para a Aviação Civil. Brasil, 2006.

- [9] REDIM. **REDIM, User's Manual.**
- [10] TRANI, Dr A. A. **Runway Occupancy Time Estimation and SIMMOD.** Blacksburg, VA, 2008. Disponível em: www.nasug.com/200009/rot.pdf. Acesso em: 17 de junho 2007.
- [11] HORONJEFF, R. & McKelvey, F.X. **Planning and design airports.** McGraw-Hill. 4th ed. 1993.

Apêndice A - Informações Gerais acerca dos Aeroportos Analisados

Aeroporto	Elevação (m)	Temperatura de referência (°C)	Tipo de Tráfego	Declinação Magnética	Número de Pistas
SBHT - ALTAMIRA	112	29	VFR IFR	W18°	1
SBAR - ARACAJU	11	29	VFR IFR	W23°	1
SBBE - BELÉM	17	32	VFR IFR	W20°	2
SBBH - BELO HORIZONTE	789	28	VFR IFR	W22°	1
SBCF - BELO HORIZONTE	827	30	VFR IFR	W22°	1
SBBV - BOA VISTA	84	30,3	VFR IFR	W13°	1
SBBR - BRASÍLIA	1060	28	VFR IFR	W20°	2
SBKP - CAMPINAS	661	29	VFR IFR	W19°	1
SBCG - CAMPO GRANDE	559	30	VFR IFR	W16°	1
SBCR - CORUMBÁ	141	32,9	VFR IFR	W15°	1
SBCZ - CRUZEIRO DO SUL	194	30	VFR IFR	W05°	1
SBCY - CUIABÁ	10	27	VFR IFR	W16°	1
SBCT - CURITIBA	911	25	VFR IFR	W18°	2
SBFL - FLORIANÓPOLIS	5	29	VFR IFR	W19°	2
SBFZ - FORTALEZA	25	31	VFR IFR	W22°	1
SBFI - FOZ DO IGUAÇU	239	32	VFR IFR	W14°	1
SBJP - JOÃO PESSOA	66	28	VFR IFR	W22°	1
SBMQ - MACAPÁ	17	33	VFR IFR	W18°	1
SBEG - MANAUS	80	34	VFR IFR	W14°	1
SBNT - NATAL	52	30	VFR IFR	W22°	3

Apêndice A - continuação

Aeroporto	Elevação (m)	Temperatura de referência (°C)	Tipo de Tráfego	Declinação Magnética	Número de Pistas
SBNF - NAVEGANTES	5	23	VFR IFR	W17°	1
SBPJ - PALMAS	236	28,5	VFR IFR	W19°	1
SBPK - PELOTAS	18	26,3	VFR IFR	W13°	1
SBPP - PONTA PORÃ	657	29	VFR IFR	W14°	1
SBPA - PORTO ALEGRE	3	30	VFR IFR	W14°	1
SBPV - PORTO VELHO	88	32	VFR IFR	W11°	1
SBRF - RECIFE	10	29	VFR IFR	W23°	1
SBRB - RIO BRANCO	193	32	VFR IFR	W07°	1
SBRJ - RIO DE JANEIRO	3	30	VFR IFR	W22°	2
SBGL - RIO DE JANEIRO	9	30	VFR IFR	W21°	2
SBSV - SALVADOR	19	31	VFR IFR	W23°	2
SBSN - SANTARÉM	60	33	VFR IFR	W17°	1
SBSJ - SÃO JOSÉ DOS C.	646	33	VFR IFR	W20°	1
SBSL - SÃO LUÍS	54	32	VFR IFR	W21°	2
SBSP - SÃO PAULO	802	26	VFR IFR	W19°	2
SBGR - SÃO PAULO	750	28	VFR IFR	W20°	2
SBTT - TABATINGA	26	31	VFR IFR	W07°	1
SBUG - URUGUAIANA	23	32	VFR IFR	W10°	1
SBVT - VITÓRIA	3	31,2	VFR IFR	W23°	1

Apêndice B - Dados Geométricos das Pistas

Aeroporto	Pistas	Dimensões (m)	Cabeceiras	Saídas	Posição da Saída (m)	Angulação da Saída (°)	Cofiguração de Pistas	Separação entre as pistas (m)
SBHT - ALTAMIRA	1ª	2003x30	07 e 25	1ª	1320	-90	Pista Simples	-
SBAR - ARACAJU	1ª	2200x45	12 e 30	1ª	885	-90	Pista Simples	-
SBBE - BELÉM	1ª	2800x45	7 e 25	1ª	0	45	Pistas Cruzadas	-
				2ª	0	-45		
				3ª	250	-45		
				4ª	750	135		
	2ª	1830x45	2 e 20	1ª	0	90		
				2ª	400	90		
3ª	720	-90						
SBBH - BELO HORIZONTE	1ª	2540x45	13 e 31	1ª	125	-90	Pista Simples	-
				2ª	750	-90		
				3ª	1250	-135		
SBCF - BELO HORIZONTE	1ª	3000x45	16 e 34	1ª	0	90	Pista Simples	-
				2ª	880	90		
				3ª	1800	45		
				4ª	3000	90		
SBBV - BOA VISTA	1ª	2700x45	08 e 26	1ª	0	-90	Pista Simples	-
				2ª	700	90		
				3ª	960	-90		
				4ª	2100	-90		
				5ª	2400	-135		
SBBR - BRASÍLIA	1ª	3200x45	11L e 29R	1ª	0	-135	Pistas Paralelas	1800,00
				2ª	700	-135		
				3ª	1500	-135		
				4ª	2100	-45		
	2ª	3300x45	11R e 29L	1ª	0	90		
				2ª	850	135		
				3ª	2250	45		
				4ª	3300	90		
SBKP - CAMPINAS	1ª	3240x45	15 e 33	1ª	0	-90	Pista Simples	-
				2ª	1275	-45		
				3ª	1650	-135		
				4ª	2400	-45		
				5ª	3240	-90		
SBCG - CAMPO GRANDE	1ª	2600 x 43	06 e 24	1ª	0	90	Pista Simples	-
				2ª	1250	90		
				3ª	2600	45		
SBCR - CORUMBÁ	1ª	1660 x 30	09 e 27	1ª	1660	-90	Pista Simples	-
SBCZ - CRUZEIRO DO SUL	1ª	2400 x 45	09 e 27	1ª	750	-90	Pista Simples	-
SBCY - CUIABÁ	1ª	2300 x 45	17 e 35	1ª	850	-90	Pista Simples	-
				2ª	1000	-90		
				3ª	2300	-90		

Apêndice B - Continuação

Aeroporto	Pistas	Dimensões (m)	Cabeceiras	Saídas	Posição da Saída (m)	Angulação da Saída (°)	Cofiguração de Pistas	Separação entre as pistas (m)
SBCT - CURITIBA	1ª	2215 x 45	15 e 33	1ª	750	-45	Pistas Cruzadas	-
				2ª	1500	-90		
				3ª	2215	-135		
	2ª	1800 x 45	11 e 29	1ª	0	-45		
				2ª	1000	-135		
SBFL - FLORIANÓPOLIS	1ª	2300 x 45	14 e 32	1ª	300	-90	Pistas Cruzadas	-
	2ª	1500 x 45	03 e 21	1ª	720	-135		
				2ª	1500	-45		
SBFZ - FORTALEZA	1ª	2545 x 45	13 e 31	1ª	0	90	Pista Simples	-
				2ª	0	-90		
				3ª	900	90		
				4ª	900	-45		
				5ª	1950	-135		
SBFI - FOZ DO IGUAÇU	1ª	2195 x 45	14 e 32	1ª	925	-90	Pista Simples	-
				2ª	1200	-90		
				3ª	1450	-90		
SBJP - JOÃO PESSOA	1ª	2515 x 45	16 e 34	1ª	800	135	Pista Simples	-
				2ª	1200	90		
SBMQ - MACAPÁ	1ª	2100 x 45	8 e 26	1ª	1200	-90	Pista Simples	-
				2ª	1400	-90		
SBEG - MANAUS	1ª	2700 x 45	10 e 28	1ª	0	90	Pista Simples	-
				2ª	2700	90		
SBNT - NATAL	1ª	1800 x 45	16R e 34 L	1ª	250	-90	Pistas Cruzadas	-
				2ª	600	-90		
				3ª	780	-90		
				4ª	1300	-90		
				5ª	1800	-135		
	2ª	1825 x 45	12 e 30	1ª	40	-90		
				2ª	120	45		
				3ª	1400	90		
				4ª	1825	90		
	3ª	2600 x 45	16L e 34 R	1ª	40	90		
				2ª	260	45		
				3ª	1200	135		
				4ª	1700	-60		
				5ª	1800	120		
				6ª				
SBNF - NAVAGANTES	1ª	1701 x 45	07 e 25	1ª	940	-90	Pista Simples	-
SBPJ - PALMAS	1ª	2500 x 45	14 e 32	1ª	1000	-90	Pista Simples	-
				2ª	1250	-90		
				3ª	1500	-90		
SBPK - PELOTAS	1ª	1980 x 42	06 e 24	1ª	800	90	Pista Simples	-
SBPP - PONTA PORÃ	1ª	2200 x 45	03 e 21	1ª	700	90	Pista Simples	-

Apêndice B - Continuação

Aeroporto	Pistas	Dimensões (m)	Cabeceiras	Saídas	Posição da Saída (m)	Angulação da Saída (°)	Cofiguração de Pistas	Separação entre as pistas (m)
SBPA - PORTO ALEGRE	1ª	2280 x 42	11 e 29	1ª	0	45	Pista Simples	-
				2ª	0	-135		
				3ª	570	90		
				4ª	1500	90		
				5ª	2000	90		
SBPV - PORTO VELHO	1ª	2400 x 45	01 e 19	1ª	0	-45	Pista Simples	-
				2ª	700	-90		
				3ª	1850	-90		
				4ª	2400	-135		
SBRF - RECIFE	1ª	3001 x 45	18 e 36	1ª	0	-90	Pista Simples	-
				2ª	120	90		
				3ª	825	45		
				4ª	825	-45		
				5ª	1350	90		
				6ª	1680	-45		
				7ª	1800	45		
				8ª	2220	-135		
				9ª	2250	135		
				10ª	3001	-45		
SBRB - RIO BRANCO	1ª	2158 x 45	06 e 24	1ª	500	45	Pista Simples	-
				2ª	1275	135		
SBRJ - RIO DE JANEIRO	1ª	1260 x 30	02L e 20R	1ª	0	-90	Pistas Paralelas	76,00
				2ª	350	-90		
				3ª	963	-90		
				4ª	1260	-135		
	2ª	1323 x 42	02R e 20L	1ª	0	-90		
				2ª	350	-90		
				3ª	963	-90		
				4ª	1250	-90		
SBGL - RIO DE JANEIRO	1ª	4000 x 45	10 e 28	1ª	0	-135	Pistas Cruzadas	-
				2ª	1300	-45		
				3ª	1650	-135		
				4ª	2240	-45		
				5ª	2730	-135		
				6ª	4000	-90		
	2ª	3180 x 47	15 e 33	1ª	1020	45		
				2ª	1575	45		
				3ª	2670	90		
				4ª	2750	-45		
				5ª	3180	90		
				6ª	3180	90		
SBSV - SALVADOR	1ª	3000 x 45	10 e 28	1ª	0	-90	Pistas Cruzadas	-
				2ª	125	-45		
				3ª	1125	-90		
				4ª	1560	-135		
				5ª	2080	-90		
				6ª	3005	-90		
	2ª	1520 x 45	17 e 35	1ª	0	45		
				2ª	850	90		
				3ª	1520	120		

Apêndice B - Continuação

Aeroporto	Pistas	Dimensões (m)	Cabeceiras	Saídas	Posição da Saída (m)	Angulação da Saída (°)	Cofiguração de Pistas	Separação entre as pistas (m)
SBSN - SANTARÉM	1ª	2400 x 45	10 e 28	1ª	1800	-45	Pista Simples	-
				2ª	2400	-135		
SBSJ - SÃO JOSÉ DOS C.	1ª	2676 x 45	15 e 33	1ª	0	90	Pista Simples	-
				2ª	650	90		
				3ª	1650	90		
				4ª	2676	90		
SBSL - SÃO LUÍS	1ª	2386 x 45	06 e 24	1ª	1725	90	Pistas Cruzadas	-
	2ª	1521 x 41	09 e 27	1ª	1090	45		
SBSP - SÃO PAULO	1ª	1940 x 45	17R e 35L	1ª	0	-45	Pistas Paralelas	220,00
				2ª	240	-90		
				3ª	1185	-90		
				4ª	1470	-45		
				5ª	1830	-90		
				6ª	1940	-90		
	2ª	1435 x 45	17L e 35R	1ª	0	-60		
				2ª	120	-60		
SBGR - SÃO PAULO	1ª	3000 x 45	09R e 27L	1ª	0	90	Pistas Paralelas	380,00
				2ª	510	90		
				3ª	510	-90		
				4ª	1470	-90		
				5ª	1800	-90		
				6ª	1880	45		
				7ª	2450	45		
	2ª	3700 x 45	09L e 27R	1ª	240	90		
				2ª	1200	135		
				3ª	1560	90		
				4ª	1560	-90		
				5ª	2230	90		
				6ª	2230	-90		
				7ª	2350	90		
SBTT - TABATINGA	1ª	2150 x 32	12 e 30	1ª	555	90	Pista Simples	-
				2ª	910	90		
SBUG - URUGUAIANA	1ª	1500 x 30	09 e 27	1ª	950	-90	Pista Simples	-
SBVT - VITÓRIA	1ª	1750 x 45	05 e 23	1ª	0	45	Pista Simples	-
				2ª	910	90		

Apêndice C - Fotos de Satélites dos Aeroportos

Todas as fotos de satélite foram retiradas do Google Earth [4]

SBHT – ALTAMIRA



SBAR – ARACAJU



SBBE – BELÉM



Apêndice C – Continuação

SBBH - BELO HORIZONTE



SBCF - BELO HORIZONTE



SBBV - BOA VISTA



Apêndice C – Continuação

SBBR – BRASÍLIA



SBKP – CAMPINAS



SBCG - CAMPO GRANDE



Apêndice C – Continuação

SBCR – CORUMBÁ



SBCZ - CRUZEIRO DO SUL

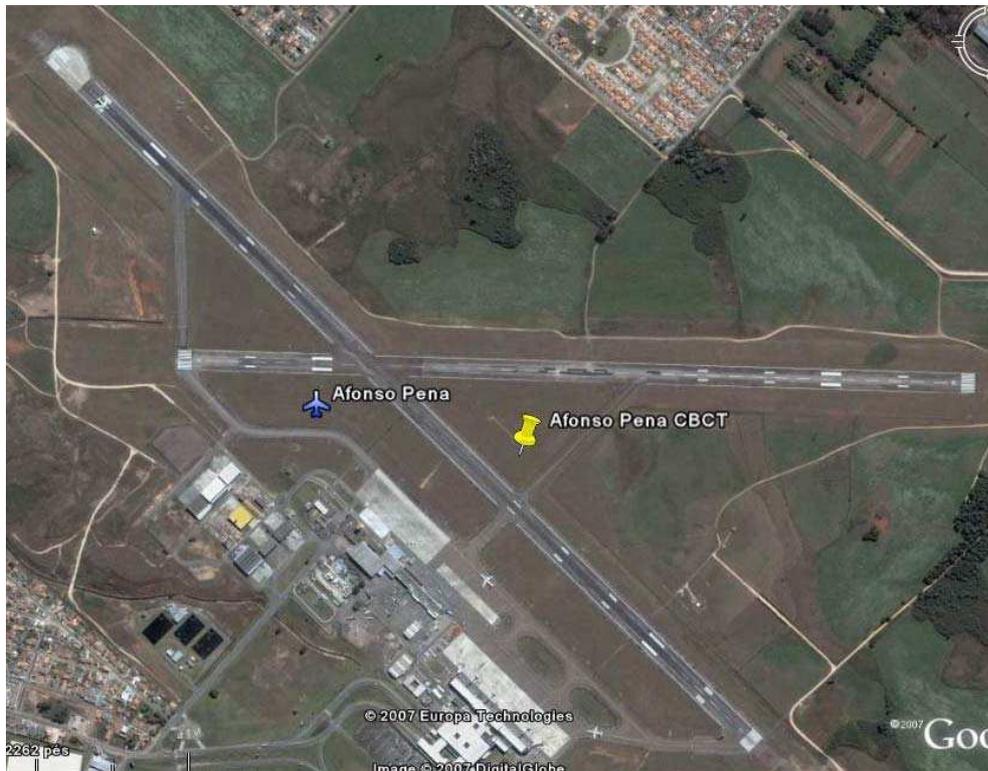


SBCY – CUIABÁ



Apêndice C – Continuação

SBCT – CURITIBA



SBFL - FLORIANÓPOLIS



Apêndice C – Continuação

SBFZ - FORTALEZA



SBFI - FOZ DO IGUAÇU



SBJP - JOÃO PESSOA



Apêndice C – Continuação

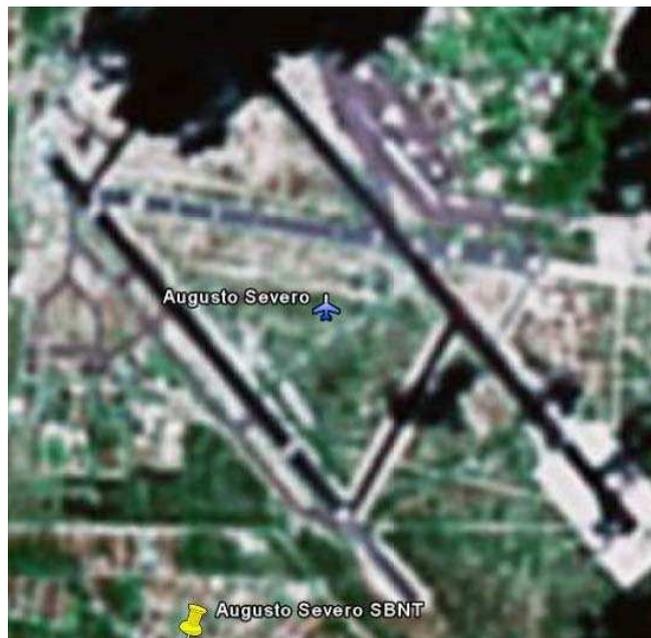
SBMQ - MACAPÁ



SBEG - MANAUS



SBNT - NATAL



Apêndice C – Continuação

SBNF – NAVEGANTES



SBPJ – PALMAS



SBPK - PELOTAS



SBPA - PORTO ALEGRE



Apêndice C – Continuação

SBPV - PORTO VELHO



SBRF – RECIFE



SBRB - RIO BRANCO

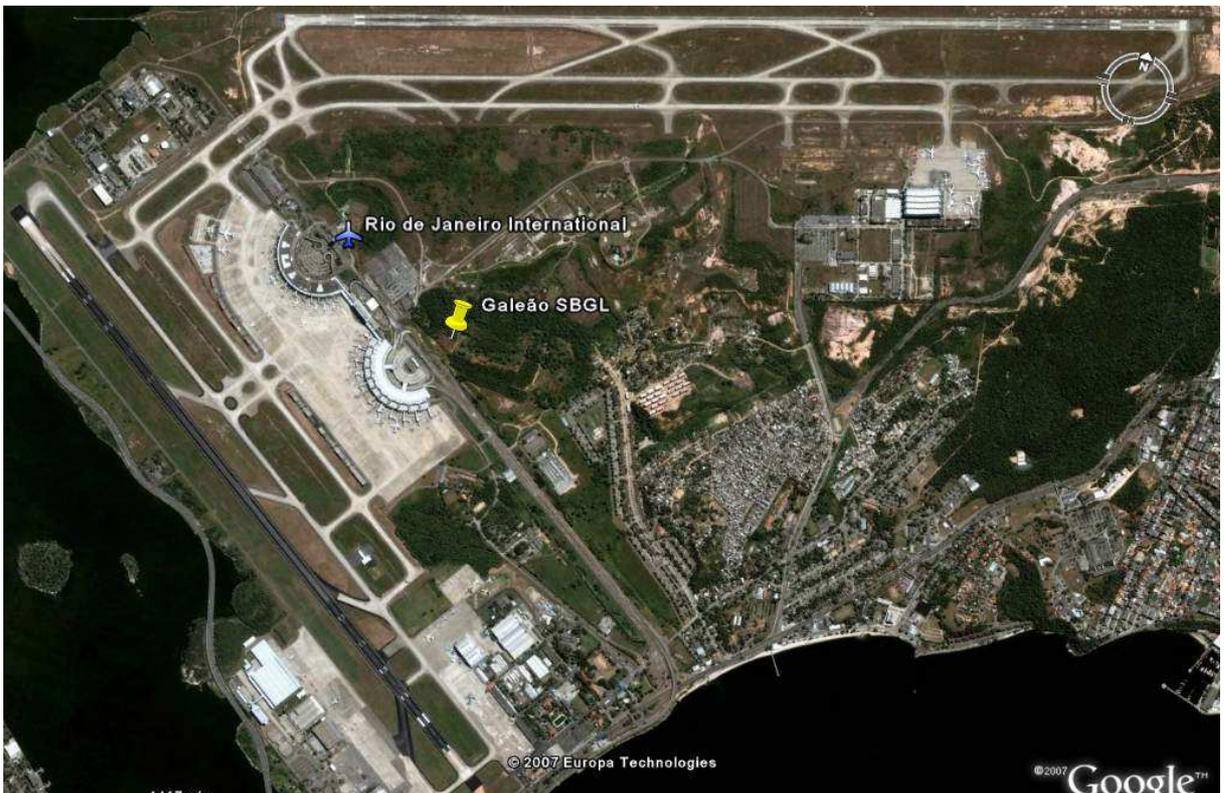


Apêndice C – Continuação

SBRJ - RIO DE JANEIRO



SBGL - RIO DE JANEIRO



Apêndice C – Continuação

SBSV – SALVADOR



SBSN – SANTARÉM



SBSJ - SÃO JOSÉ DOS CAMPOS



Apêndice C – Continuação

SBSL - SÃO LUÍS



SBSP - SÃO PAULO



Apêndice C – Continuação

SBGR - SÃO PAULO



SBTT - TABATINGA



SBUG - URUGUAIANA



Apêndice C – Continuação

SBVT - VITÓRIA



Apêndice D - MIX de aeronaves para cada aeroporto

Aeroporto	MIX				
	MG	G	M	P	MP
SBHT - ALTAMIRA	0,00%	0,00%	37,74%	62,26%	0,00%
SBAR - ARACAJU	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SBBE - BELÉM	0,26%	69,13%	7,39%	17,94%	5,28%
SBBH - BELO HORIZONTE	0,00%	12,73%	82,73%	4,55%	0,00%
SBCF - BELO HORIZONTE	0,60%	90,52%	8,88%	0,00%	0,00%
SBBV - BOA VISTA	0,00%	75,00%	0,00%	7,14%	17,86%
SBBR - BRASÍLIA	1,59%	87,95%	8,21%	1,59%	0,66%
SBKP - CAMPINAS	33,13%	41,80%	25,08%	0,00%	0,00%
SBCG - CAMPO GRANDE	0,00%	72,12%	27,88%	0,00%	0,00%
SBCR - CORUMBÁ	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
SBCZ - CRUZEIRO DO SUL	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SBCY - CUIABÁ	0,00%	67,41%	24,28%	8,31%	0,00%
SBCT - CURITIBA	2,06%	79,93%	18,00%	0,00%	0,00%
SBFL - FLORIANÓPOLIS	0,00%	85,97%	14,03%	0,00%	0,00%
SBFZ - FORTALEZA	0,40%	98,81%	0,79%	0,00%	0,00%
SBFI - FOZ DO IGUAÇU	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SBJP - JOÃO PESSOA	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SBMQ - MACAPÁ	0,00%	92,68%	0,00%	7,32%	0,00%
SBEG - MANAUS	21,63%	56,10%	13,28%	6,85%	2,14%
SBNT - NATAL	0,00%	93,97%	6,03%	0,00%	0,00%

Apêndice D – Continuação

Aeroporto	MIX				
	MG	G	M	P	MP
SBNF - NAVEGANTES	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SBPJ - PALMAS	0,00%	33,33%	66,67%	0,00%	0,00%
SBPK - PELOTAS	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SBPP - PONTA PORÃ	0,00%	92,68%	0,00%	7,32%	0,00%
SBPA - PORTO ALEGRE	1,55%	93,48%	4,97%	0,00%	0,00%
SBPV - PORTO VELHO	0,00%	94,87%	5,13%	0,00%	0,00%
SBRF - RECIFE	0,68%	94,92%	4,41%	0,00%	0,00%
SBRB - RIO BRANCO	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SBRJ - RIO DE JANEIRO	0,00%	92,16%	7,84%	0,00%	0,00%
SBGL - RIO DE JANEIRO	15,94%	78,45%	5,61%	0,00%	0,00%
SBSV - SALVADOR	3,88%	88,35%	4,13%	3,64%	0,00%
SBSN - SANTARÉM	0,00%	47,46%	16,95%	35,59%	0,00%
SBSJ - SÃO JOSÉ DOS C.	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%
SBSL - SÃO LUÍS	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SBSP - SÃO PAULO	0,00%	91,08%	8,92%	0,00%	0,00%
SBGR - SÃO PAULO	28,51%	64,11%	5,58%	1,80%	0,00%
SBTT - TABATINGA	0,00%	60,00%	40,00%	0,00%	0,00%
SBUG - URUGUAIANA	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SBVT - VITÓRIA	0,74%	73,89%	25,37%	0,00%	0,00%

Apêndice E - Dados relativos a Ventos e Precipitações para cada aeroporto

Aeroporto	Chance de Precipitação				Média	Vento (m/s)
	Jan/ Área	Jul/ Área	Jan/ Tempo	Jul/ Tempo		
SBHT - ALTAMIRA	15,00%	3,00%	60,00%	30,00%	4,95%	4,00
SBAR - ARACAJU	6,00%	3,00%	30,00%	10,00%	1,05%	8,50
SBBE - BELÉM	18,00%	6,00%	60,00%	40,00%	6,60%	9,00
SBBH - BELO HORIZONTE	15,00%	3,00%	70,00%	10,00%	5,40%	6,00
SBCF - BELO HORIZONTE	15,00%	3,00%	70,00%	10,00%	5,40%	6,00
SBBV - BOA VISTA	9,00%	9,00%	40,00%	60,00%	4,50%	7,00
SBBR - BRASÍLIA	12,00%	3,00%	70,00%	10,00%	4,35%	6,00
SBKP - CAMPINAS	15,00%	3,00%	70,00%	10,00%	5,40%	4,00
SBCG - CAMPO GRANDE	15,00%	3,00%	70,00%	10,00%	5,40%	6,00
SBCR - CORUMBÁ	12,00%	3,00%	70,00%	10,00%	4,35%	4,00
SBCZ - CRUZEIRO DO SUL	18,00%	3,00%	70,00%	20,00%	6,60%	4,00
SBCY - CUIABÁ	18,00%	3,00%	80,00%	10,00%	7,35%	4,00
SBCT - CURITIBA	12,00%	6,00%	50,00%	30,00%	3,90%	4,00
SBFL - FLORIANÓPOLIS	9,00%	9,00%	40,00%	40,00%	3,60%	4,00
SBFZ - FORTALEZA	12,00%	3,00%	50,00%	10,00%	3,15%	9,00
SBFI - FOZ DO IGUAÇU	12,00%	6,00%	40,00%	30,00%	3,30%	8,50
SBJP - JOÃO PESSOA	6,00%	3,00%	30,00%	10,00%	1,05%	8,50
SBMQ - MACAPÁ	12,00%	6,00%	60,00%	30,00%	4,50%	9,00
SBEG - MANAUS	18,00%	9,00%	60,00%	40,00%	7,20%	4,00
SBNT - NATAL	6,00%	3,00%	40,00%	10,00%	1,35%	9,00

Apêndice E - Continuação

Aeroporto	Chance de Precipitação				Média	Vento (m/s)
	Jan/ Área	Jul/ Área	Jan/ Tempo	Jul/ Tempo		
SBNF - NAVEGANTES	9,00%	9,00%	40,00%	40,00%	3,60%	4,00
SBPJ - PALMAS	18,00%	3,00%	80,00%	10,00%	7,35%	4,50
SBPK - PELOTAS	7,00%	12,00%	30,00%	40,00%	3,45%	9,00
SBPP - PONTA PORÃ	12,00%	3,00%	50,00%	10,00%	3,15%	6,00
SBPA - PORTO ALEGRE	7,00%	12,00%	30,00%	40,00%	3,45%	9,00
SBPV - PORTO VELHO	18,00%	3,00%	70,00%	20,00%	6,60%	4,00
SBRF - RECIFE	6,00%	3,00%	30,00%	10,00%	1,05%	8,50
SBRB - RIO BRANCO	15,00%	3,00%	70,00%	10,00%	5,40%	4,00
SBRJ - RIO DE JANEIRO	15,00%	3,00%	65,00%	10,00%	5,03%	4,00
SBGL - RIO DE JANEIRO	15,00%	3,00%	65,00%	10,00%	5,03%	4,00
SBSV - SALVADOR	6,00%	3,00%	33,00%	10,00%	1,14%	6,00
SBSN - SANTARÉM	18,00%	3,00%	53,00%	23,00%	5,12%	4,00
SBSJ - SÃO JOSÉ DOS C.	15,00%	3,00%	70,00%	10,00%	5,40%	4,00
SBSL - SÃO LUÍS	18,00%	3,00%	70,00%	20,00%	6,60%	9,00
SBSP - SÃO PAULO	15,00%	3,00%	70,00%	10,00%	5,40%	4,00
SBGR - SÃO PAULO	15,00%	3,00%	70,00%	10,00%	5,40%	4,00
SBTT - TABATINGA	18,00%	5,00%	80,00%	25,00%	7,83%	4,00
SBUG - URUGUAIANA	9,00%	7,00%	40,00%	30,00%	2,85%	6,00
SBVT - VITÓRIA	9,00%	3,00%	50,00%	10,00%	2,40%	6,00

Apêndice F - Movimento de Aeronaves (Asa Fixa) - Hora-Pico de Pista

Aeroporto	Movimento de Aeronaves (Asa Fixa) - Hora-Pico de Pista									
	2005	Médio			Pessimista			Otimista		
		2010	2015	2020	2010	2015	2020	2010	2015	2020
SBHT - ALTAMIRA	10	14	17	24	10	12	16	18	23	34
SBAR - ARACAJU	8	13	15	23	10	12	19	15	18	28
SBBE - BELÉM	20	27	32	44	21	25	34	33	41	59
SBBH - BELO HORIZONTE	25	36	41	57	28	31	42	47	55	78
SBCF - BELO HORIZONTE	16	22	26	37	18	21	31	26	31	44
SBBV - BOA VISTA	12	16	20	30	12	14	19	22	28	47
SBBR - BRASÍLIA	38	52	60	92	41	48	74	64	76	116
SBKP - CAMPINAS	13	20	25	37	16	20	29	24	31	47
SBCG - CAMPO GRANDE	22	28	32	42	21	24	31	36	42	56
SBCR - CORUMBÁ	2	3	4	5	2	2	3	4	5	7
SBCZ - CRUZEIRO DO SUL	7	11	14	19	8	9	12	15	20	29
SBCY - CUIABÁ	21	31	36	53	23	26	37	41	50	77
SBCT - CURITIBA	16	20	23	32	17	19	27	24	28	39
SBFL - FLORIANÓPOLIS	13	18	21	29	14	17	23	22	26	37
SBFZ - FORTALEZA	11	16	21	28	12	16	22	19	26	36
SBFI - FOZ DO IGUAÇU	3	4	5	7	4	4	6	5	6	9
SBJP - JOÃO PESSOA	6	8	10	15	7	8	11	10	13	19
SBMQ - MACAPÁ	14	21	25	37	16	18	26	26	33	53
SBEG - MANAUS	17	23	28	39	18	20	28	29	36	53
SBNT - NATAL	13	19	23	34	15	18	26	24	29	45

Apêndice F - Continuação

Aeroporto	Movimento de Aeronaves (Asa Fixa) - Hora-Pico de Pista									
	2005	Médio			Pessimista			Otimista		
		2010	2015	2020	2010	2015	2020	2010	2015	2020
SBNF - NAVEGANTES	13	18	22	33	15	18	27	23	27	42
SBPJ - PALMAS	11	15	19	25	11	12	15	21	27	41
SBPK - PELOTAS	5	7	9	12	6	7	9	9	12	17
SBPP - PONTA PORÃ	6	10	14	18	7	9	11	14	21	32
SBPA - PORTO ALEGRE	23	31	36	55	25	29	44	38	45	70
SBPV - PORTO VELHO	8	11	14	19	8	10	13	14	19	28
SBRF - RECIFE	18	24	28	41	19	22	31	30	36	55
SBRB - RIO BRANCO	7	10	12	18	8	9	12	14	17	27
SBRJ - RIO DE JANEIRO	23	31	36	56	24	28	43	39	47	74
SBGL - RIO DE JANEIRO	36	48	59	80	40	48	66	58	70	97
SBSV - SALVADOR	34	44	50	68	36	41	56	52	59	81
SBSN - SANTARÉM	12	17	22	28	13	16	20	22	29	41
SBSJ - SÃO JOSÉ DOS C.	9	13	16	23	9	11	16	17	22	34
SBSL - SÃO LUÍS	11	16	20	28	13	15	21	21	26	38
SBSP - SÃO PAULO	48	60	73	106	49	59	85	74	90	134
SBGR - SÃO PAULO	42	54	66	97	45	54	79	65	79	119
SBTT - TABATINGA	5	8	10	14	6	7	9	11	14	21
SBUG - URUGUAIANA	2	4	5	7	3	4	5	5	6	9
SBVT - VITÓRIA	10	14	17	23	11	13	18	18	21	28

Apêndice G - Resultados dos cálculos dos tempos e das capacidades

Aeroporto	Cabeceiras	ROT 1 (s)	ROT 2 (s)	ROT final (s)	Tempo Decolagem (s)	Médias das Separações mínimas			Capacidade Pista	Capacidade Aeroporto	
						Geral	Pouso após Pouso	Decol. Após Decol.		Cons. 760m	Descons. 760m
SBHT - ALTAMIRA	07 e 25	60,53	96,40	60,53	71,89	36,26	80,84	37,26	35,13	35,13	35,13
SBAR - ARACAJU	12 e 30	85,86	96,73	91,30	75,00	33,90	77,14	32,73	30,76	30,76	30,76
SBBE - BELÉM	7 e 25	NP	56,55	56,55	73,84	38,70	83,67	40,36	34,65	36,41	59,17
	2 e 20	NP	46,53	46,53	73,84	38,70	83,67	40,36	36,41		
SBBH - BELO HORIZONTE	13 e 31	NP	52,72	52,72	74,77	34,07	77,41	33,06	36,80	36,80	36,80
SBCF - BELO HORIZONTE	16 e 34	50,51	61,03	55,77	75,00	34,47	77,70	33,21	36,05	36,05	36,05
SBBV - BOA VISTA	08 e 26	59,21	55,37	57,29	73,75	45,89	93,64	51,67	32,31	32,31	32,31
SBBR - BRASÍLIA	11L e 29R	54,30	53,02	53,66	74,89	35,96	79,37	34,90	35,91	70,73	70,73
	11R e 29L	57,79	62,22	60,01	74,89	35,96	79,37	34,90	34,81		
SBKP - CAMPINAS	15 e 33	61,07	73,10	67,09	75,00	56,59	99,20	52,56	28,21	28,21	28,21
SBCG - CAMPO GRANDE	06 e 24	66,83	73,57	70,20	75,00	33,90	77,14	32,73	33,80	33,80	33,80
SBCR - CORUMBÁ	09 e 27	49,80	NP	49,80	75,00	33,90	77,14	32,73	37,38	37,38	37,38
SBCZ - CRUZEIRO DO SUL	09 e 27	111,05	53,60	53,60	75,00	33,90	77,14	32,73	36,66	36,66	36,66
SBCY - CUIABÁ	17 e 35	67,44	NP	67,44	74,58	34,21	77,64	33,33	34,21	34,21	34,21
SBCT - CURITIBA	15 e 33	52,80	NP	52,80	75,00	35,85	79,03	34,36	36,09	36,09	60,23
	11 e 29	90,90	90,30	90,60	75,00	35,85	79,03	34,36	30,34		
SBFL - FLORIANÓPOLIS	14 e 32	131,76	59,09	59,09	75,00	33,90	77,14	32,73	35,66	39,17	63,88
	03 e 21	41,03	57,11	41,03	75,00	33,90	77,14	32,73	39,17		
SBFZ - FORTALEZA	13 e 31	103,50	52,67	52,67	75,00	34,28	77,51	33,04	36,69	36,69	36,69
SBFI - FOZ DO IGUAÇU	14 e 32	49,47	82,88	49,47	75,00	33,90	77,14	32,73	37,45	37,45	37,45
SBJP - JOÃO PESSOA	16 e 34	120,51	47,22	47,22	75,00	33,90	77,14	32,73	37,89	37,89	37,89
SBMQ - MACAPÁ	8 e 26	56,67	100,17	56,67	74,63	34,17	77,58	33,26	36,06	36,06	36,06
SBEG - MANAUS	10 e 28	85,04	85,04	85,04	74,55	52,42	95,72	49,99	27,23	27,23	27,23
SBNT - NATAL	16R e 34 L	47,12	44,53	45,83	75,00	33,90	77,14	32,73	38,17	31,47	53,27
	12 e 30	46,31	55,65	50,98	110,00	33,90	77,14	32,73	31,47		
	16L e 34 R	54,02	61,95	57,99	110,00	33,90	77,14	32,73	30,54		
SBNF - NAVEGANTES	07 e 25	83,19	88,01	85,60	75,00	33,90	77,14	32,73	31,52	31,52	31,52
SBPJ - PALMAS	14 e 32	73,13	73,13	73,13	75,00	33,90	77,14	32,73	33,35	33,35	33,35
SBPK - PELOTAS	06 e 24	107,31	70,69	70,69	75,00	33,90	77,14	32,73	33,73	33,73	33,73
SBPP - PONTA PORÃ	03 e 21	116,26	52,49	52,49	74,63	34,17	77,58	33,26	36,83	36,83	36,83
SBPA - PORTO ALEGRE	11 e 29	46,69	54,16	50,43	75,00	35,37	78,57	33,96	36,70	36,70	36,70

Apêndice G - Continuação

Aeroporto	Cabeceiras	ROT 1 (s)	ROT 2 (s)	ROT final (s)	Tempo Decolagem (s)	Médias das Separações mínimas			Capacidade Pista	Capacidade Aeroporto	
						Geral	Pouso após Pouso	Decol. Após Decol.		Cons. 760 m	Descons. 760m
SBPV - PORTO VELHO	01 e 19	54,78	51,67	53,23	75,00	33,90	77,14	32,73	36,73	36,73	36,73
SBRF - RECIFE	18 e 36	47,17	60,00	53,59	75,00	34,54	77,77	33,27	36,42	36,42	36,42
SBRB - RIO BRANCO	06 e 24	97,69	87,53	92,61	75,00	33,90	77,14	32,73	30,59	30,59	30,59
SBRJ - RIO DE JANEIRO	02L e 20R	60,00	60,00	60,00	75,00	33,90	77,14	32,73	35,50	37,15	61,51
	02R e 20L	51,00	51,00	51,00	75,00	33,90	77,14	32,73	37,15		
SBGL - RIO DE JANEIRO	10 e 28	60,94	61,24	61,09	75,00	47,10	89,96	43,96	31,26	31,35	54,19
	15 e 33	60,49	128,69	60,49	75,00	47,10	89,96	43,96	31,35		
SBSV - SALVADOR	10 e 28	62,38	56,50	59,44	74,82	37,64	80,85	36,01	34,36	34,36	57,79
	17 e 35	60,00	60,00	60,00	74,82	37,64	80,85	36,01	34,27		
SBSN - SANTARÉM	10 e 28	49,44	98,83	49,44	73,22	35,25	79,26	35,32	37,28	37,28	37,28
SBSJ - SÃO JOSÉ DOS C.	15 e 33	49,73	57,69	53,71	75,00	33,90	77,14	32,73	36,64	36,64	36,64
SBSL - SÃO LUÍS	06 e 24	54,07	129,00	54,07	75,00	33,90	77,14	32,73	36,57	37,53	61,94
	09 e 27	49,06	88,29	49,06	75,00	33,90	77,14	32,73	37,53		
SBSP - SÃO PAULO	17R e 35L	40,16	50,54	45,35	75,00	33,90	77,14	32,73	38,27	39,07	63,76
	17L e 35R	39,00	44,00	41,50	75,00	33,90	77,14	32,73	39,07		
SBGR - SÃO PAULO	09R e 27L	53,41	68,73	53,41	74,91	54,57	97,26	50,70	30,32	30,32	52,55
	09L e 27R	69,73	60,97	65,35	74,91	54,57	97,26	50,70	28,87		
SBTT - TABATINGA	12 e 30	116,06	50,32	50,32	75,00	33,90	77,14	32,73	37,28	37,28	37,28
SBUG - URUGUAIANA	09 e 27	70,73	81,59	76,16	75,00	33,90	77,14	32,73	32,88	32,88	32,88
SBVT - VITÓRIA	05 e 23	87,60	65,00	65,00	75,00	34,60	77,83	33,32	34,42	34,42	34,42

Apêndice H - Resultado Final – Relação Demanda/Capacidade

Disposto em ordem decrescente de valor de demanda/capacidade do ano de 2005.

Aeroporto	Relação Demanda Capacidade										
	2005	Médio			Pessimista			Otimista			Cons. 760 m
		2010	2015	2020	2010	2015	2020	2010	2015	2020	
SBGR - SÃO PAULO	79,92%	102,75%	125,59%	184,58%	85,63%	102,75%	150,33%	123,69%	150,33%	226,44%	138,52%
Sbsp - SÃO PAULO	75,28%	94,10%	114,49%	166,25%	76,85%	92,53%	133,31%	116,06%	141,15%	210,16%	122,86%
SBBH - BELO HORIZONTE	67,93%	97,82%	111,40%	154,87%	76,08%	84,23%	114,12%	127,70%	149,44%	211,93%	67,93%
SBGL - RIO DE JANEIRO	66,43%	88,58%	108,87%	147,63%	73,81%	88,58%	121,79%	107,03%	129,17%	179,00%	114,85%
SBCG - CAMPO GRANDE	65,08%	82,83%	94,66%	124,25%	62,12%	71,00%	91,71%	106,50%	124,25%	165,66%	65,08%
SBPA - PORTO ALEGRE	62,66%	84,46%	98,08%	149,85%	68,11%	79,01%	119,88%	103,53%	122,60%	190,71%	62,66%
SBEG - MANAUS	62,43%	84,47%	102,83%	143,23%	66,11%	73,45%	102,83%	106,50%	132,21%	194,65%	62,43%
SBCY - CUIABÁ	61,38%	90,61%	105,22%	154,91%	67,23%	75,99%	108,15%	119,84%	146,14%	225,06%	61,38%
SBSV - SALVADOR	58,83%	76,13%	86,52%	117,66%	62,29%	70,94%	96,90%	89,98%	102,09%	140,15%	98,95%
SBBR - BRASÍLIA	53,73%	73,52%	84,83%	130,08%	57,97%	67,87%	104,63%	90,49%	107,45%	164,01%	53,73%
SBRF - RECIFE	49,42%	65,89%	76,87%	112,56%	52,16%	60,40%	85,11%	82,36%	98,84%	151,00%	49,42%
SBKP - CAMPINAS	46,09%	70,91%	88,63%	131,18%	56,72%	70,91%	102,81%	85,09%	109,90%	166,63%	46,09%
SBCF - BELO HORIZONTE	44,38%	61,02%	72,12%	102,63%	49,93%	58,25%	85,99%	72,12%	85,99%	122,05%	44,38%
SBNF - NAVEGANTES	41,24%	57,10%	69,79%	104,68%	47,58%	57,10%	85,65%	72,96%	85,65%	133,23%	41,24%
SBMQ - MACAPÁ	38,82%	58,23%	69,32%	102,60%	44,37%	49,91%	72,10%	72,10%	91,51%	146,97%	38,82%
SBRJ - RIO DE JANEIRO	37,39%	50,40%	58,53%	91,04%	39,02%	45,52%	69,91%	63,40%	76,41%	120,30%	61,91%
SBBV - BOA VISTA	37,14%	49,52%	61,90%	92,84%	37,14%	43,33%	58,80%	68,08%	86,65%	145,45%	37,14%
SBBE - BELÉM	33,80%	45,63%	54,08%	74,36%	35,49%	42,25%	57,46%	55,77%	69,29%	99,71%	54,93%
SBPJ - PALMAS	32,99%	44,98%	56,98%	74,97%	32,99%	35,99%	44,98%	62,98%	80,97%	122,96%	32,99%
SBSN - SANTARÉM	32,19%	45,61%	59,02%	75,12%	34,88%	42,92%	53,65%	59,02%	77,80%	109,99%	32,19%
SBFZ - FORTALEZA	29,98%	43,60%	57,23%	76,31%	32,70%	43,60%	59,96%	51,78%	70,86%	98,11%	29,98%
SBVT - VITÓRIA	29,06%	40,68%	49,40%	66,83%	31,96%	37,77%	52,30%	52,30%	61,02%	81,36%	29,06%
SBHT - ALTAMIRA	28,46%	39,85%	48,39%	68,31%	28,46%	34,16%	45,54%	51,23%	65,47%	96,78%	28,46%
SBCT - CURITIBA	26,57%	33,21%	38,19%	53,13%	28,23%	31,55%	44,83%	39,85%	46,49%	64,76%	44,33%
SBAR - ARACAJU	26,01%	42,27%	48,77%	74,78%	32,51%	39,01%	61,77%	48,77%	58,52%	91,03%	26,01%
SBSJ - SÃO JOSÉ DOS C.	24,56%	35,48%	43,67%	62,77%	24,56%	30,02%	43,67%	46,40%	60,04%	92,79%	24,56%
SBNT - NATAL	24,40%	35,66%	43,17%	63,82%	28,16%	33,79%	48,80%	45,05%	54,43%	84,47%	41,31%
SBRB - RIO BRANCO	22,89%	32,69%	39,23%	58,85%	26,16%	29,43%	39,23%	45,77%	55,58%	88,28%	22,89%
SBPV - PORTO VELHO	21,78%	29,95%	38,11%	51,73%	21,78%	27,22%	35,39%	38,11%	51,73%	76,23%	21,78%
SBFL - FLORIANÓPOLIS	20,35%	28,18%	32,87%	45,40%	21,92%	26,61%	36,00%	34,44%	40,70%	57,92%	33,19%
SBCZ - CRUZEIRO DO SUL	19,09%	30,00%	38,19%	51,83%	21,82%	24,55%	32,73%	40,92%	54,55%	79,10%	19,09%
SBSL - SÃO LUÍS	17,76%	25,83%	32,29%	45,20%	20,99%	24,22%	33,90%	33,90%	41,97%	61,35%	29,31%
SBPP - PONTA PORÃ	16,29%	27,15%	38,01%	48,87%	19,00%	24,43%	29,86%	38,01%	57,01%	86,88%	16,29%
SBJP - JOÃO PESSOA	15,83%	21,11%	26,39%	39,59%	18,47%	21,11%	29,03%	26,39%	34,31%	50,14%	15,83%
SBPK - PELOTAS	14,83%	20,76%	26,69%	35,58%	17,79%	20,76%	26,69%	26,69%	35,58%	50,41%	14,83%
SBTT - TABATINGA	13,41%	21,46%	26,82%	37,55%	16,09%	18,77%	24,14%	29,50%	37,55%	56,32%	13,41%
SBFI - FOZ DO IGUAÇU	8,01%	10,68%	13,35%	18,69%	10,68%	10,68%	16,02%	13,35%	16,02%	24,03%	8,01%
SBUG - URUGUAIANA	6,08%	12,16%	15,21%	21,29%	9,12%	12,16%	15,21%	15,21%	18,25%	27,37%	6,08%
SBCR - CORUMBÁ	5,35%	8,02%	10,70%	13,37%	5,35%	5,35%	8,02%	10,70%	13,37%	18,72%	5,35%

Apêndice I - Linhas de Código dos Macros Criados

Macro 1 - Definição dos Tamanhos das Aeronaves

```
Sub tamanho()  
For i = 7 To 5342  
Cells(i, 23) = ""  
Next  
For i = 7 To 5342 //varrendo a listagem  
x = Cells(i, 4)  
If (x = "A310" Or x = "A332" Or x = "A333" Or x = "A343" Or x = "A346" Or x = "B742" Or x = "B743" Or x  
= "B744" Or x = "B763" Or x = "B764" Or x = "B772" Or x = "DC10" Or x = "L101" Or x = "MD11") Then  
y = "MG" //aeronaves muito grandes  
Else  
If (x = "C208") Then //aeronaves muito pequenas  
y = "MP"  
Else  
If (x = "E110" Or x = "E120") Then //aeronaves pequenas  
y = "P"  
Else  
If (x = "F100" Or x = "AT43" Or x = "AT72" Or x = "E145" Or x = "E175" Or x = "F50") Then  
y = "M" //aeronaves médias  
Else  
y = "G" //aeronaves grandes  
End If  
End If  
End If  
End If  
Cells(i, 23) = y  
Next  
End Sub
```

Apêndice I – Continuação

Macro 2 - Cálculo do MIX de aeronaves

Sub Calcula()

Aer = Cells(3, 25)

//cada variável a seguir contém a soma do número de pousos e decolagens de cada tamanho, e estão sendo zeradas

MG = 0

G = 0

M = 0

P = 0

MP = 0

//a variável a seguir contém a soma do número de pousos e decolagens total, e está sendo zerada

t = 0

//a seguir a base é varrida e as somas executadas

For i = 7 To 5342

If (Cells(i, 22) = Aer) Then

n = Cells(i, 19)

Tam = Cells(i, 23)

If (Tam = "MG") Then

MG = MG + n

t = t + n

End If

If (Tam = "G") Then

G = G + n

t = t + n

End If

If (Tam = "M") Then

M = M + n

t = t + n

End If

If (Tam = "P") Then

P = P + n

t = t + n

End If

If (Tam = "MP") Then

MP = MP + n

t = t + n

End If

Apêndice I – Continuação

Macro 2 - Continuação

End If

Next

//cálculos dos MIX's

Cells(3, 26) = MG / t

Cells(3, 27) = G / t

Cells(3, 28) = M / t

Cells(3, 29) = P / t

Cells(3, 30) = MP / t

End Sub

Apêndice I – Continuação

Macro 3 - Cálculo do ROT final

```
Sub calculoROTfinal()  
For i = 7 To 217 // percorrendo as linhas da planilha  
  ROT1 = Cells(i, 28)  
  ROT2 = Cells(i, 29)  
  If Not (ROT1 = "" Or ROT2 = "") Then //observando se não é uma linha vazia  
    If (ROT1 = "NP") Then ROT1 = 0 // encontrando sentidos de pouso onde não é possível pousar: 1ªregra  
    If (ROT2 = "NP") Then ROT2 = 0  
    If (Abs(ROT1 - ROT2) > 15) Then // 2ªregra  
      If (ROT1 < ROT2) Then ROTfinal = ROT1  
      If (ROT1 > ROT2) Then ROTfinal = ROT2  
    Else  
      ROTfinal = (ROT1 + ROT2) / 2 // 3ª regra  
    End If  
    If ROT1 = 0 Then ROTfinal = ROT2 // 1ª Regra  
    If ROT2 = 0 Then ROTfinal = ROT1  
    Cells(i, 30) = ROTfinal  
  End If  
Next  
End Sub
```

Apêndice I – Continuação

Macro 4 - Cálculo das Separações Mínimas

Sub Calculo_Separacao_Minima()

//varrer a planilha e desconsiderar células em branco

iprobs = 7

valor = 0

For i = 7 To 217

If Cells(i, 36) <> "" Then

If Cells(i, 17) <> "" Then iprobs = i

//construir matriz de probabilidades

For j = 0 To 4

Cells(252 + j, 4) = 0.5 * Cells(iprobs, (17 + j))

Next

For j = 0 To 4

Cells(257 + j, 4) = 0.5 * Cells(iprobs, (17 + j))

Next

For j = 0 To 4

Cells(250, 6 + j) = 0.5 * Cells(iprobs, (17 + j))

Next

For j = 0 To 4

Cells(250, 11 + j) = 0.5 * Cells(iprobs, (17 + j))

Next

For j = 252 To 261

For k = 6 To 15

Cells(j, k) = Cells(250, k) * Cells(j, 4)

Next

Next

//separação mínima probabilisticamente geral

For j = 0 To 9

For k = 0 To 9

valor = valor + Cells(225 + j, 6 + k) * Cells(252 + j, 6 + k) //observe a soma dos produtos sendo executada

Next

Next

Cells(i, 37) = valor

valor = 0

Apêndice I – Continuação

Macro 4 - Continuação

```
//separação mínima probabilisticamente pouso após pouso
```

```
For j = 5 To 9
```

```
For k = 5 To 9
```

```
valor = valor + 4 * Cells(225 + j, 6 + k) * Cells(252 + j, 6 + k) //observe a soma dos produtos sendo executada
```

```
Next
```

```
Next
```

```
Cells(i, 38) = valor
```

```
valor = 0
```

```
//separação mínima probabilisticamente decolagem após decolagem
```

```
For j = 0 To 4
```

```
For k = 0 To 4
```

```
valor = valor + 4 * Cells(225 + j, 6 + k) * Cells(252 + j, 6 + k) //observe a soma dos produtos sendo executada
```

```
Next
```

```
Next
```

```
Cells(i, 39) = valor
```

```
valor = 0
```

```
End If
```

```
Next
```

```
End Sub
```

Apêndice I – Continuação

Macro 5 - Cálculo das Capacidades dos Aeroportos

Sub CapacidadeAeroporto()

For i = 7 To 217 //varrer a planilha e desconsiderar células em branco

descap = 0

conscap = 0

If Cells(i, 41) <> 0 Then

correlacao = Cells(i, 41)

dist = Cells(i, 42)

//pistas simples

If correlacao = "Pista Simples" Then

descap = Cells(i, 40)

conscap = Cells(i, 40)

End If

//pistas paralelas com distância >=760 m

If (correlacao = "Pistas Paralelas") And (dist >= 760) Then

j = i

Do

j = j + 1

Loop While (Cells(j, 39) = 0)

descap = Cells(i, 40) + Cells(j, 40)

conscap = Cells(i, 40) + Cells(j, 40)

End If

Apêndice I – Continuação

Macro 5 - Continuação

```
//pistas paralelas com distância <760 m
If (correlacao = "Pistas Paralelas") And (dist < 760) Then
  j = i
  Do
    j = j + 1
  Loop While (Cells(j, 39) = 0)
  //considera-se q uma pista pouso e outra decola e que há uma decolagem após
  //15s do pouso, desconsiderando os 760m
  If Cells(i, 30) < Cells(j, 30) Then //definindo quem tem menor ROT e portanto será usado para o pouso
    pouso = i
    dec = j
  Else
    pouso = j
    dec = i
  End If
  seppouso = Cells(pouso, 38)
  sepdecolagem = Cells(dec, 39)
  temppouso = Cells(pouso, 30)
  tempdec = Cells(dec, 36)
  If (tempdec - temppouso) > seppouso Then
    novaseppouso = tempdec - temppouso
  Else
    novaseppouso = seppouso
  End If
  cappouso = 3600 / (temppouso + novaseppouso)
  If 15 > sepdecolagem Then
    novasepdec = 15
  Else
    novasepdec = sepdecolagem
  End If
  capdec = 3600 / (tempdec + novasepdec)
  desccap = capdec + cappouso
```

Apêndice I – Continuação

Macro 5 - Continuação

```

//se considerar os 760 m pegar a maior das capacidades
  If Cells(i, 40) > Cells(j, 40) Then
    conscap = Cells(i, 40)
  Else
    conscap = Cells(j, 40)
  End If
End If

//pistas cruzadas
If correlacao = "Pistas Cruzadas" Then
  descscap = "cru"
  conscap = "cru"
  If Cells(i, 2) = "SBNT - NATAL" Then //em natal apenas a 2ª e 3ª pista operam vôo comercial
    k = 97
    j = 101
  Else
    j = i
  Do
    j = j + 1
  Loop While (Cells(j, 39) = 0)
  k = i
End If
//considera-se q uma pista pouso e outra decola e que há uma decolagem após
//(15s+ROT)/2 do pouso, desconsiderando os 760m
If Cells(k, 30) < Cells(j, 30) Then //definindo quem tem menor ROT e portanto será usado para o pouso
  pouso = k
  dec = j
Else
  pouso = j
  dec = k
End If
seppouso = Cells(pouso, 38)
sepdecolagem = Cells(dec, 39)
temppouso = Cells(pouso, 30)
tempdec = Cells(dec, 36)

```

Apêndice I – Continuação

Macro 5 - Continuação

```
If (tempdec - temppouso) > seppouso Then
    novaseppouso = tempdec - temppouso
Else
    novaseppouso = seppouso
End If
cappouso = 3600 / (temppouso + novaseppouso)
If ((15 + temppouso) / 2) > sepdecolagem Then
    novasepdec = (15 + temppouso) / 2
Else
    novasepdec = sepdecolagem
End If
capdec = 3600 / (tempdec + novasepdec)
descap = capdec + cappouso
//se considerar os 760 m pegar a maior das capacidades
If Cells(k, 40) > Cells(j, 40) Then
    conscap = Cells(k, 40)
Else
    conscap = Cells(j, 40)
End If
End If
Cells(i, 43) = conscap
Cells(i, 44) = descap
End If
Next
End Sub
```

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

^{1.} CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	^{2.} DATA 22 de novembro de 2007	^{3.} DOCUMENTO N° CTA/ITA-IEC/TC-010/2007	^{4.} N° DE PÁGINAS 91
^{5.} TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise da capacidade das pistas dos aeroportos da rede INFRAERO			
^{6.} AUTOR(ES): Anselmo da Silva Augusto			
^{7.} INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil – ITA/IEI			
^{8.} PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Capacidade de Pistas Aeroportuárias; REDIM; Rede de Aeroportos			
^{9.} PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Aeroportos; Pistas (de pouso e decolagem); Infra-estrutura (transportes); Controle de tráfego aéreo; Capacidade do sistema de guiamento; Transportes			
^{10.} APRESENTAÇÃO: <div style="float: right; text-align: right;"> X Nacional Internacional </div> Trabalho de Graduação, ITA, São José dos Campos, 2007. 91 páginas.			
^{11.} RESUMO: Este trabalho teve como principal objetivo calcular, aproximadamente, a capacidade máxima na hora-pico da pista ou do conjunto de pistas de 39 aeroportos da Rede INFRAERO e, ainda, comparar com o movimento de aeronaves na hora-pico demandado atualmente em cada aeroporto. Para se chegar a este resultado foram calculados os tempos de ocupação das pistas e os tempos de separação entre as aeronaves, baseando-se em informações detalhadas de cada aeroporto. Por se tratar de uma quantidade grande de aeroportos, utilizou-se uma metodologia probabilística, que apesar de não simular a realidade, tem resultados bem próximos dos reais. Os resultados obtidos permitem a comparação, em amplitude nacional, do nível de utilização das pistas dos aeroportos brasileiros, e assim, auxiliar em futuros estudos e planejamentos relativos ao transporte aéreo nacional.			
^{12.} GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			