

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



João Luiz de Castro Fortes

Análise do Impacto das Novas tecnologias na Capacidade
Aeroportuária

Trabalho de Graduação
2007

Civil

656.7.05

João Luiz de Castro Fortes

Análise do impacto das novas tecnologias na
Capacidade aeroportuária

Orientador

Prof. Dr. Anderson Correia (ITA)

Orientador

Prof. Dr. Chan Wirasinghe (Universidade de Calgary)

Divisão de Engenharia Civil

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP – Brasil
2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Divisão Biblioteca Central do ITA/CTA

<p>Fortes, João Luiz de Castro Análise do impacto das novas tecnologias na capacidade aeroportuário / João Luiz de Castro Fortes. São José dos Campos, 2007. 55f.</p> <p>Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007. Orientador: Anderson Correia.</p> <p>1.Capacidade. 2. Novas Tecnologias. 3. Transporte Aéreo. I. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. II. Análise do impacto das novas tecnologias na capacidade aeroportuário</p>

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FORTES, João Luiz de Castro. **Análise do impacto das novas tecnologias na capacidade aeroportuária**. 2007. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: João Luiz de Castro Fortes

TÍTULO DO TRABALHO: Análise do impacto das novas tecnologias na capacidade aeroportuária

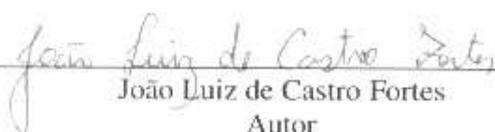
TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação/ 2007

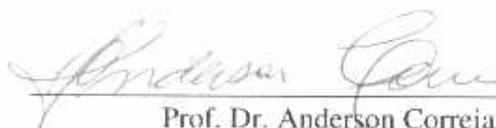
É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de curso e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida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

João Luiz de Castro Fortes
Praça Barão do Rio Branco, 133
CEP 12327-350
Jacareí - SP

Análise do Impacto das Novas Tecnologias na
Capacidade Aeroportuária

Esta publicação foi aceita como relatório final de Trabalho de Graduação


João Luiz de Castro Fortes
Autor


Prof. Dr. Anderson Correia
Orientador


Prof. Dr. Chan Wirasinghe
Orientador


Prof. Dra. Íria Vendrame
Coordenadora do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 05 de novembro de 2007

Aos meus pais, pela ajuda incondicional durante toda minha vida.

Agradecimentos

Aos meus pais, Lúcio e Janet, pelo apoio e incentivo desde o começo de minha vida acadêmica.

Ao meu irmão Marco pelo apoio.

Ao professor Anderson pelo apoio durante a realização deste trabalho.

Ao grande amigo que conheci durante a realização deste trabalho, McWilliam Oliveira, que compartilhou comigo sua grande experiência e conhecimento na área de controle de tráfego aéreo.

Aos meus amigos, colegas de quarto, pela amizade e os bons momentos durante estes cinco anos de faculdade.

E principalmente à Deus que me deu força para superar todos os obstáculos durante minha vida.

“Eu lhes disse essas coisas para que em mim vocês tenham paz. Neste mundo vocês terão aflições; contudo, tenham ânimo! Eu venci o mundo”.

João, 16.33.

Resumo

Este trabalho tem por objetivo estudar como varia a capacidade de um aeroporto com a variação da separação de aeronaves. Para a realização de tal foi utilizado o simulador de tráfego aéreo, RAMS, que permite a obtenção de todos os parâmetros necessários para o cálculo de capacidade. A abordagem utilizada será o cálculo da capacidade através da medição de carga de trabalho do controlador aéreo.

Além disso, o trabalho faz uma pesquisa sobre as tecnologias disponíveis que possibilitarão, nos próximos anos, a diminuição do espaçamento de uma maneira segura.

Abstract

This work studies how the capacity of an airport varies modifying the separation of airplanes. To accomplish that, it was used the air traffic simulator RAMS which allows to obtain all necessary parameters to calculate the capacity. The used approach was through measuring the controller's work load.

Also, this work shows some comments about the available technologies which will make possible to diminish the separation in a safe way.

Lista de abreviaturas

Letras maiúsculas

ATC	Air Traffic Control
FAA	Federal Aviation Administration
FAB	Força Aérea Brasileira
JAA	Joint Aviation Authorities
IATA	International Air Transportation Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
MTOW	Maximum take-off weight (peso máximo de decolagem)
ATC	Air Traffic Control
DECEA	Departamento de controle de espaço aéreo

Letras minúsculas

nm	milhas náuticas
----	-----------------

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	CAPACIDADE DO LADO AÉREO	17
2.1.	CAPACIDADE PRÁTICA	19
2.2.	CAPACIDADE SUSTENTÁVEL.....	21
2.3.	CAPACIDADE DECLARADA	21
2.4.	CAPACIDADE ATRAVÉS DA CARGA DE TRABALHO	22
2.5.	CAPACIDADE ATRAVÉS DE UM SIMULADOR.....	24
2.5.1.	<i>Características de um simulador.....</i>	<i>24</i>
2.5.2.	<i>Características principais do software RAMS Plus.....</i>	<i>27</i>
2.5.3.	<i>Estrutura dos arquivos</i>	<i>32</i>
2.5.4.	CÁLCULO DA CAPACIDADE ATRAVÉS DO SIMULADOR	37
3.	CRITÉRIOS DE UTILIZAÇÃO DAS PISTAS	38
4.	AEROPORTO JUSCELINO KUBITSCHK	41
5.	ANÁLISE DE RESULTADOS	46
6.	NOVAS TECNOLOGIAS.....	48
7.	CONCLUSÃO E COMENTÁRIOS FINAIS	54
8.	BIBLIOGRAFIA.....	55

Índice de figuras

Figura 1. Crescimento do transporte aéreo mundial	14
Figura 2. Atraso por voo com o aumento da demanda ao longo do tempo.	18
Figura 3. Variação das capacidades com o decréscimo de nível de serviço.....	19
Figura 4. Ábaco para o cálculo de capacidade prática.....	20
Figura 5. Idealização das pistas no programa RAMS Plus.....	29
Figura 6. Simulação em progresso no RAMS Plus	29
Figura 7. Vista da terminal Brasília no programa RAMS Plus.....	30
Figura 8– Janela de inserção de dados.....	33
Figura 9. Interface da macro.	34
Figura 10. Dados fornecidos referentes aos voos.	35
Figura 11. Obras de ampliação do aeroporto de Brasília.....	42
Figura 12. Visão aérea das pistas do aeroporto JK	42
Figura 13. Vista aérea do aeroporto JK	43
Figura 14. Antiga setorização Norte/Sul.....	44
Figura 15. Nova setorização Leste/Oeste	44
Figura 16. Número de pousos e decolagens para o dia 23/03/2006.....	45
Figura 17. Esquema da variação de número de conflitos.	47
Figura 18. Esquema dos diferentes RNPs necessários.....	50
Figura 19. Conceito de RNP	50
Figura 20. Aproximação de duas aeronaves no aeroporto de São Francisco.....	51
Figura 21. Esquema de como funciona o ADS-B.....	52
Figura 22. Esquema das “tailored arrivals”	53

Índice de tabelas

Tabela 1. Ordem decrescente em total de passageiros.....	16
Tabela 2. Comparação entre RTS e FTS	26
Tabela 3. Tabela resumo dos tipos de arquivos utilizados.....	32
Tabela 4. Distancia em milhas náuticas (nm)	39
Tabela 5. Tempo de separação em segundos.....	39
Tabela 6. Critérios de separação para pista dupla paralela	40
Tabela 7. Dados do aeroporto de Brasília.....	41
Tabela 8 Resultados da capacidade para os diferentes cenários.	47

1. Introdução

Nos dias atuais, a demanda por meios de transporte rápidos e eficientes é crescente. Com a globalização cada vez mais consolidada, o transporte aéreo se torna fundamental, visto sua facilidade de percorrer grandes distâncias em um curto período de tempo. No entanto, tal crescimento implica também no aumento do número de operações (pouso e/ou decolagem) que serão realizadas em um aeródromo. Esse aumento pode ter como consequência atrasos, resultando em perda de sua eficiência. Com isso, o estudo do lado aéreo torna-se de extrema importância, sendo necessário encontrar meios que possam maximizar sua capacidade.

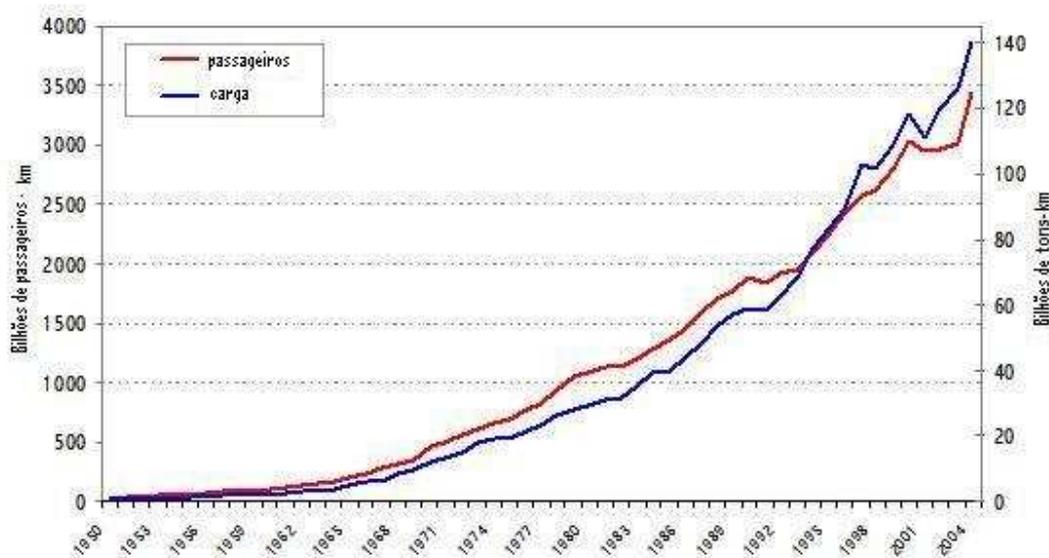


Figura 1. Crescimento do transporte aéreo mundial

Fonte: <http://people.hofstra.edu>

A priori, o aumento da capacidade passa pela idéia de construção de novas pistas. No entanto, isto significa aumento do espaço físico do aeródromo, ou seja, aquisição de terras para a construção da pista, além do aumento da zona de proteção (implicando em prováveis desapropriações, problemas com a vizinhança devido ao ruído aeronáutico,

etc.). Outro problema relacionado à construção de uma nova pista é a sua localização: há a possibilidade de sua construção paralela à pista existente. Mas isso significa mais espaço necessário.

Há também a possibilidade de sua localização ser cruzada à original. Só que isso significará maior preocupação com a segurança das operações realizadas. Há, por fim, a possibilidade da diminuição da separação entre as aeronaves através da introdução de novos aparelhos que consigam diminuir a distância mínima entre aeronaves designada pela FAA. Esses novos dispositivos podem ser introduzidos tanto em terra, como também na aeronave. Este trabalho irá estudar como a introdução dessas novas tecnologias poderá mudar a capacidade de um aeroporto.

Neste caso, o aeroporto de estudo será o aeroporto Juscelino Kubitschek localizado em Brasília, que como pode ser visto na Tabela 1 se encontra entre os 15 maiores aeroportos brasileiros. Serão utilizados os dados referentes ao dia de maior movimento do aeroporto de modo a tornar mais representativo o problema. Para a medição da variação de capacidade em tal aeroporto, será utilizado o software de simulação RAMS PLUS™ da empresa ISA software.

Tabela 1. Ordem decrescente em total de passageiros

Fonte: ANAC (Dados de 2006)

Aeroporto	Passageiros (unid.)
SBSP - Aeroporto Internacional de Congonhas	17.147.628
SBGR - Aeroporto Internacional de Guarulhos	15.834.797
SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília	9.426.569
SBGL - Aeroporto Internacional do Galeão	8.657.139
SBSV - Aeroporto Internacional de Salvador	4.554.572
SBRF - Aeroporto Internacional de Recife	3.604.652
SBRJ - Aeroporto Santos-Dumont	3.562.297
SBPA - Aeroporto Internacional de Porto Alegre	3.521.204
SBCT - Aeroporto Internacional de Curitiba	3.393.079
SBCF - Aeroporto Internacional de Confins	2.893.299
SBFZ - Aeroporto Internacional de Fortaleza	2.774.240
SBFL - Aeroporto Internacional de Florianópolis	1.548.833
SBBE - Aeroporto Internacional de Belém	1.523.714
SBVT - Aeroporto de Vitória	1.517.578
SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus	1.508.022
SBNT - Aeroporto Internacional de Natal	1.299.144

2. Capacidade do Lado Aéreo

A princípio, deve-se entender a capacidade de uma pista de uma visão probabilística, sendo ela uma variável aleatória que depende da situação que está envolvida como define deNeufville (2003). Temos que o número de operações realizadas em um aeroporto pode variar de acordo com o mix (proporção entre a quantidade de aeronaves de pequeno, médio e grande porte) atuante em cada instante. Se em um dado instante, o mix deve conter uma maior proporção de aeronaves de grande porte, devido às regras de gerenciamento de tráfego aéreo estipulada pelos órgãos controladores (FAA nos Estados Unidos, JAA na Europa e DECEA no Brasil) que estipulam separações maiores para aeronaves maiores, a capacidade diminuirá. Além disso, mesmo com o mesmo mix, poderá haver diferentes capacidades dependendo das condições de visibilidade, eficiência dos controladores, etc.

De um modo geral, pode-se definir a capacidade com sendo o número de operações realizadas em um aeroporto em uma hora. No entanto, basear-se somente nessa definição seria uma aproximação simplista, visto que não há a avaliação do nível de serviço em que o aeródromo está sendo operado tampouco as hipóteses utilizadas: separação, mix de aeronaves, configuração da pista. Dessa maneira foi necessário criar mais de uma definição de capacidade de modo a satisfazer os diferentes critérios examinados.

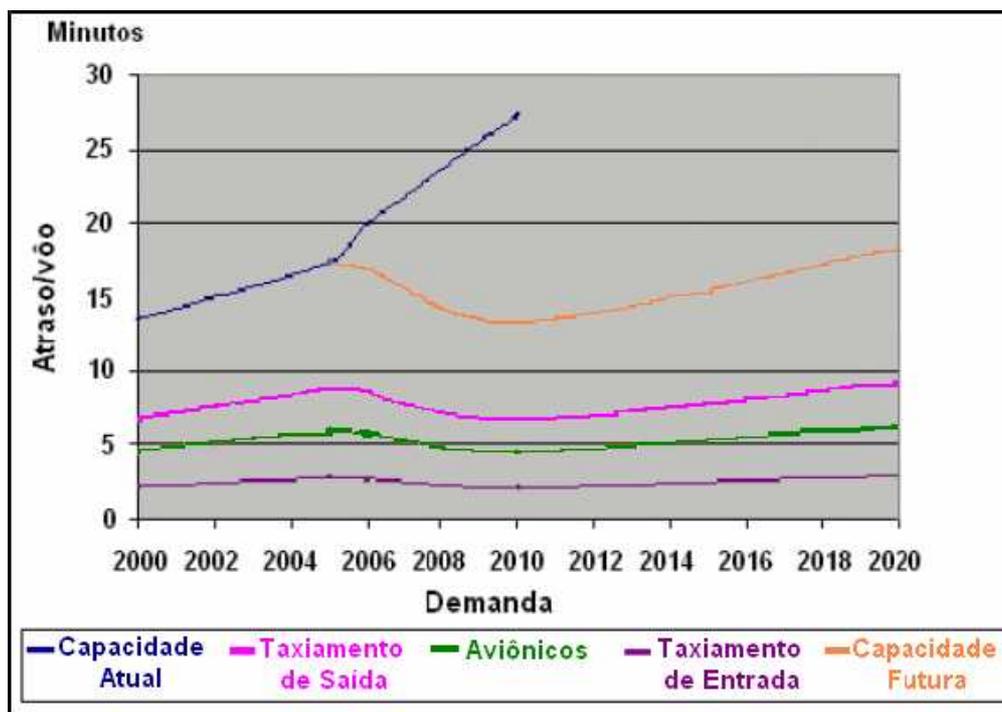


Figura 2. Atraso por voo com o aumento da demanda ao longo do tempo.

Fonte: Chujo, 2007

A Figura 2 mostra uma projeção para a variação de atrasos para os 30 maiores aeroportos americanos, baseando-se na capacidade atual.

A capacidade máxima é definida como o número máximo de operações que a pista poderá acomodar em um dado intervalo de tempo quando sujeito a demanda contínua, sem ferir as regras de gerenciamento de tráfego aéreo. Além disso, para a medição dessa quantidade, temos ainda que considerar como dados de entrada o mix de aeronaves, o mix de operações (proporção entre a quantidade de pousos e decolagens), como seriam distribuídas as operações entre as diversas pistas disponíveis, etc. É importante ressaltar que medindo a capacidade dessa forma, não há menção alguma de como será o nível de serviço (se haverá atrasos de poucos minutos ou de várias horas).

2.1. Capacidade prática

A capacidade prática, que originalmente foi proposta pela FAA nos anos 60, é definida como sendo o número de operações que podem ser realizadas em 1 hora com um atraso médio de 4 minutos. Pode-se perceber que este tipo de medição já leva em conta o nível de serviço oferecido pelo aeródromo. No entanto, o atraso médio considerado é muito a abaixo do que se observa nos aeroportos hoje em dia. Tal discrepância é uma evidência de que com o passar dos anos, o sistema aeroportuário não conseguiu manter o mesmo nível de serviço dos anos 60. É interessante que notar que a capacidade prática será, obviamente, menor do que a capacidade máxima como é possível ver na Figura 3. Tem-se como regra de bolso, que a capacidade prática será em torno de 80 % da capacidade máxima, como afirma deNeufville (2003).

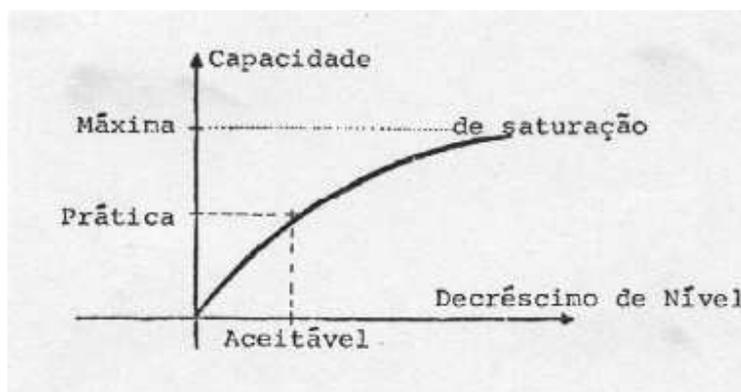


Figura 3. Variação das capacidades com o decréscimo de nível de serviço.

Fonte: www.infra.ita.br/~claudioj

Para a definição do modo de se calcular a capacidade prática, utilizou-se dados da observação de controladores, pilotos, instrumentos, etc. Dessa maneira tem sua origem de forma empírica sendo então desenvolvidos ábacos para sua medição como mostrado na Figura 4.

Runway Configuration		PHOCAP				
Layout	Description	Mix	PANCAP	IFR	VFR	
A		Single runway (arrivals = departures)	1	215,000	53	99
			2	195,000	52	76
			3	180,000	44	54
			4	170,000	42	45
B		Close parallel (IFR dependent)	1	385,000	64	198
			2	330,000	63	152
			3	295,000	55	108
			4	280,000	54	90
C		Independent IFR approach/departure parallel	1	425,000	79	198
			2	390,000	79	152
			3	355,000	79	108
			4	330,000	74	90
D		Independent IFR arrivals and departures	1	430,000	106	198
			2	390,000	104	152
			3	360,000	88	108
			4	340,000	84	90
H		Independent parallel plus two close parallel	1	770,000	128	396
			2	660,000	126	304
			3	590,000	110	216
			4	560,000	108	180
K ₁		Open V, dependent operations away from intersection	1	420,000	71	198
			2	335,000	70	136
			3	300,000	63	94
			4	295,000	60	84
K ₂		Open V, dependent operations toward intersection	1	235,000	57	108
			2	220,000	56	86
			3	215,000	50	66
			4	200,000	50	53
L ₁		Two intersecting at near threshold	1	375,000	71	125
			2	310,000	70	125
			3	275,000	63	83
			4	255,000	60	69
L ₂		Two intersecting in middle	1	220,000	61	99
			2	195,000	60	76
			3	195,000	53	58
			4	190,000	47	52
O ₁		'Z' configuration and parallel with both intersecting	1	465,000	87	217
			2	430,000	87	167
			3	390,000	87	118
			4	365,000	81	99

Figura 4. Ábaco para o cálculo de capacidade prática.

Fonte: Horonjeff, 1969

Outras hipóteses foram utilizadas como mostrados na referência 3 para a construção desse modelo de capacidade tais como:

- *“Pista totalmente instrumentada para operação IFR (teto menor que 300m e visibilidade menor que 3 milhas náuticas)*
- *Existência de saídas de pista em número suficiente e adequadamente localizadas*
- *Existência de espaço aéreo desimpedido*
- *As operações se efetuam numa proporção de 90% em VFR e 10% em IFR, não havendo fechamento de pista.*
- *Outro aspecto importante são as regras de prioridade: pouso sobre decolagem e primeira aeronave a chegar é a primeira a ser atendida.*

- *Os tempos de serviço são influenciados pelas condições meteorológicas, pela configuração das pistas, pelo mix de aeronave em operação e pelo uso das pistas e restrições do espaço aéreo circundante.”*

2.2. Capacidade sustentável

A capacidade sustentável é definida por deNeufville (2003) como número de operações por hora que podem ser “razoavelmente” mantidas por várias horas. Essa maneira de medir a capacidade chega mais perto da realidade do que a capacidade máxima, visto que para este último a carga de trabalho dos sistemas operacionais estão sendo exigidos ao máximo. Dessa maneira, o desempenho dificilmente será mantido mais de uma ou duas horas consecutivas. O termo “razoalmente” é, no entanto, um tanto quanto indefinido. O desempenho desejado deve ser definido pelos órgãos do setor aéreo em conjunto com as equipes de controladores de tráfego aéreo. Um exemplo apresentado por deNeufville (2003) é a capacidade sustentável do aeroporto de Logan em Boston que em condições meteorológicas favoráveis é de aproximadamente 110 operações por hora. Este tipo de capacidade é subdividido e capacidade sustentável de decolagem.

Em geral, a capacidade sustentável é aproximadamente 90 % da máxima capacidade quando as hipóteses da máxima capacidade são utilizadas e chega a ser igual quando a capacidade máxima é baixa.

2.3. Capacidade declarada

A capacidade declarada é definida como o número de operações horárias que um aeroporto pode acomodar mantendo um “razoável nível de serviço” como cita de Neufville (2003).

Similarmente a capacidade sustentável, a capacidade declarada é um tanto quanto indefinida em relação ao critério de “razoável nível de serviço”. Não há metodologia definida para sua medição, sendo que pode variar para cada país, ou mesmo para diferentes aeroportos.

2.4.Capacidade através da carga de trabalho

Um outro tipo de abordagem também utilizada é atrelar a capacidade à carga de trabalho máxima que pode ter um controlador, como descrito por Majumdar & Polak (2001). A carga de trabalho compreende o trabalho mental e físico realizado pelo controlador durante o controle da aeronave. Ou seja, a capacidade é definida como o número de aeronaves que um controlador pode gerenciar mantendo uma carga de trabalho aceitável.

A carga de trabalho é medida através das operações realizadas durante o gerenciamento de uma aeronave como comunicação com o piloto, verificação do monitor de controle, etc. Para cada tarefa é medida o tempo necessário para sua realização. É assumido internacionalmente que um nível aceitável de carga de trabalho é de 70% de hora (42 minutos). Isto significa que o controlador estará realmente ativo durante 42 minutos durante uma hora de trabalho.

Para áreas de com tráfego denso, como é o caso da Europa, tal medição mostra-se muito mais apropriada.

O DECEA realiza tal medição periodicamente nas torres de controle, sendo que todo o procedimento encontra-se na ICA-100-30. Alguns parâmetros são medidos:

Fator de disponibilidade do controlador (f):

É o percentual de tempo que o controlador gasta realmente com a comunicação com as aeronaves. Não é contabilizado neste parâmetro ações como o preenchimento de

documentos, identificação de alvos ou mesmo a distribuição e planejamento do controle de tráfego.

Distância média percorrida pelas aeronaves no setor (d):

É a distância média percorrida no setor em função dos procedimentos adotados para cada setor.

Número de comunicação para cada aeronave no setor (n):

A comunicação deve se restringir ao mínimo necessário para o entendimento entre controlador e piloto.

Tempo médio de cada mensagem (t_m):

As mensagens devem ser feitas objetivamente, sem delongas de modo a prejudicar a comunicação controlador/piloto.

Velocidade média de cada aeronave (V_m):

São as velocidades previstas para cada tipo de aeronave no setor

Com tais parâmetros chega-se a seguinte fórmula para o cálculo da capacidade do controlador (N):

$$N = \frac{f \cdot d}{n \cdot t_m \cdot V_m} (\text{aeronaves}) \quad (\text{equação 1})$$

Um fato interessante que se deve ressaltar sobre a medição de tais parâmetros é que é feita com uma pessoa indo até a torre de controle e medindo ao lado do controlador o tempo gasto com comunicação. Com isso, há uma interferência do medidor na capacidade real, visto que possa haver pressão do chefe da seção para que os controladores sigam procedimentos que, apesar de previstos pelas normas, não são utilizadas de modo corriqueiro.

2.5. Capacidade através de um simulador

2.5.1. Características de um simulador

A simulação tem como principal função tentar representar um determinado sistema real, tentando englobar todas suas variáveis ou pelo menos as mais representativas, para que seja possível realizar o estudo de interesse em um dado sistema.

De acordo com Santana (2002), através da utilização de modelos matemáticos e lógicas do mundo real, parâmetros e dados de entrada são convertidos em saídas que representam o sistema em questão. Em síntese, é buscado retratar o comportamento real do sistema, prevendo-se conseqüências e resultados. Diferentemente dos métodos apresentados anteriormente, por mais que se tente chegar à situação real como são os casos da capacidade sustentável e declarada, não é possível prever de modo mais seguro os comportamentos futuros da capacidade.

Segundo Santana & Feitosa (2002), comparada com experimentações reais, a simulação (estudo por modelo) possui as seguintes vantagens:

- *custo*: experimentos reais são muito mais dispendiosos, sobretudo se algo não funciona como desejado.
- *tempo*: é possível a simulação de semanas, meses ou anos em segundos.
- *replicações*: infelizmente o mundo real raramente é “amável” o suficiente para permitir replicações precisas de um experimento. É facilmente possível repetir a simulação.
- *segurança*: um dos objetivos da simulação é estimar os efeitos de condições extremas.

Ainda segundo Santana & Feitosa (2002), os modelos de simulação são classificados sob três dimensões:

- *modelos de simulação estáticos ou dinâmicos*: como o próprio nome sugere, o estático é uma representação de um sistema pontualmente, ou seja, para somente um dado instante. Além disso, pode representar um sistema em que o tempo não seja uma variável representativa. Já o modelo dinâmico representa um sistema que evolui no tempo, tal como um dia o tráfego aéreo em um aeroporto.
- *modelos de simulação determinísticos ou estocásticos*: o modelo é determinístico quando nenhuma de suas variáveis é uma variável aleatória, ou seja, não é probabilístico. Caso contrário será um modelo de simulação estocástico. Ambos os modelos de simulação produzem resultados aleatórios e devem então ser tratados como apenas uma estimativa das reais características do modelo sendo esta é um dos problemas da simulação.
- *modelos de simulação discretos ou contínuos*: para a simulação discreta, a variação de eventos ao longo do tempo é feito de modo discreto, ou seja, as variáveis associadas ao modelo irão variar um número discreto de vezes. No modelo contínuo, diferentemente, a variação é feita continuamente.

Uma outra característica da simulação de tráfego aéreo é a possibilidade de ter simulação em tempo real (RTS – Real Time Simulation) e em tempo acelerado (FTS – Fast Time Simulation). Cada tipo serve de acordo com enfoque que se quer dar: treinamento e planejamento. Quando se trata de simulação voltada para o treinamento, usualmente é voltada para o estudo e aprendizagem dos Controladores tornando mais fácil a familiarização às rotas e procedimentos, além do desenvolvimento das habilidade destes profissionais.

Quando se trata de simulação aplicada ao planejamento, normalmente não se está interessado na interação do usuário com o modelo e sim nos resultados produzidos para

posterior análise (como carga trabalho, capacidade, atrasos, etc.). Dessa maneira, é usualmente realizada em tempo acelerado.

Oliveira (2007) descreve a comparação entre RTS e FTS na Tabela 2.

Tabela 2. Comparação entre RTS e FTS

Fonte: Oliveira (2007)

Fast Time Simulation	Real Time Simulation
<p>1. Modelo baseado em simulação</p> <p>2. Não necessita de controladores</p> <p>3. Simulação ocorre por meio de um computador servido de um software</p> <p>Vantagens:</p> <p>1. Rápida avaliação de um grande número de combinações do espaço aéreo e tráfego</p> <p>2. Capacidade de simular áreas extensas e reduzidas (versatilidade)</p> <p>3. poucos recursos necessários</p> <p>Desvantagens:</p> <p>1. Limitada interação com o controlador</p> <p>Benefícios:</p> <p>1. Rápida avaliação de diversas combinações de setorização e estruturas de rotas</p> <p>2. Modificações podem ser introduzidas através de pequenas observações durante todo o período de observação</p>	<p>1. Necessita de controladores e pseudo-pilotos</p> <p>2. Dependência do número de simuladores</p> <p>Vantagens:</p> <p>1. Possibilita experiência “hands on” para os controladores que podem avaliar os problemas com maior profundidade</p> <p>2. simulações realísticas produzem resultados qualitativos</p> <p>Desvantagens:</p> <p>1. Tamanho da simulação limitado ao tamanho do simulador</p> <p>2. reduzido número de variáveis podem ser simuladas</p> <p>3. alto custo devido ao grande volume de recursos necessários</p> <p>Benefícios:</p> <p>1. Proporciona um exercício prático aos controladores dentro de um ambiente realístico</p> <p>2. Verifica resultados de Fast Time Simulator</p> <p>3. Estuda procedimentos, coordenações e tarefas em detalhes.</p>

2.5.2. Características principais do software RAMS Plus

Para o desenvolvimento desse trabalho será utilizado como ferramenta para o cálculo de capacidade através de simulação o programa RAMS Plus. O programa foi desenvolvido pela empresa ISA Software, sendo que através dele é possível simular horas de movimentação de aeronaves em alguns segundos tornando possível o estudo e análise da estrutura do espaço aéreo, do Controle de Tráfego Aéreo e de movimentos e atrasos nos aeroportos.

O programa, como qualquer software de simulação, necessita de dados de entrada para a realização da modelagem da realidade. Dentre alguns dados de input necessário, temos os seguintes como descritas por Oliveira (2007):

- **Amostra de tráfegos (movimento):** é coletada das estatísticas de tráfego em situações representativas como no horário de pico de um aeroporto
- **Auxílios à navegação:** informações de suas coordenadas geográficas
- **Way points:** com as informações de suas coordenadas geográficas
- **Desenho da área terminal:** define os limites laterais e verticais
- **Setores:** define os limites laterais e verticais
- **Rotas de chegada:** define os rumos dos segmentos de aproximação, bem como as altitudes previstas
- **Rotas de saída:** define os rumos dos segmentos de saída, bem como as altitudes previstas
- **Áreas restritas:** áreas proibidas, restritas e condicionadas

- **Tarefas dos controladores:** define as ações tomadas pelos controladores durante o gerenciamento de uma aeronave em vôo

A realização do processo de modelagem necessita da participação exaustiva do pesquisador que realiza a modelagem. São sempre necessários ajustes ao decorrer do processo, como calibração do modelo, de modo que o simulador represente mais fielmente a situação real.

Dentre as características do programa RAMS Plus tem-se, como descrito por Oliveira (2007):

- editor integrado e um *display*
- rápido desenvolvimento de dados
- geração estocástica de dados
- cálculo padrão de vôos em 4D
- setorização 4D
- detecção espacial de conflitos 4D
- base de dados para resolução de conflito 4D (inteligência artificial)
- resolução de manobras 4D
- atribuição de carga de trabalho
- rotas
- zonas de *free-flight* e RVSM
- pontos de espera em terminal e solo
- sequenciamento de pista
- movimentos de solo incluindo rotas de taxiamento com animação gráfica para visualmente analisar o cenário simulado

Na Figura 5 são mostradas as pistas do aeroporto de Brasília. Na Figura 6 é mostrada a interface do programa durante a execução da simulação. A tela mostra para cada aeronave sua identificação, sua altitude e sua velocidade, que é similar a uma tela de uma

torre de controle. Por fim, na Figura 7 é mostrada as rotas pertencentes à terminal Brasília e seus respectivos nomes.

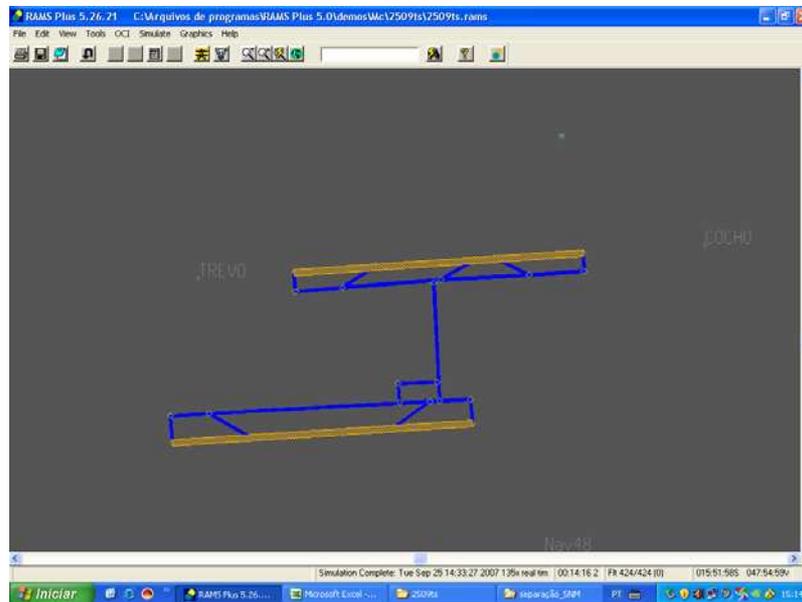


Figura 5. Idealização das pistas no programa RAMS Plus.

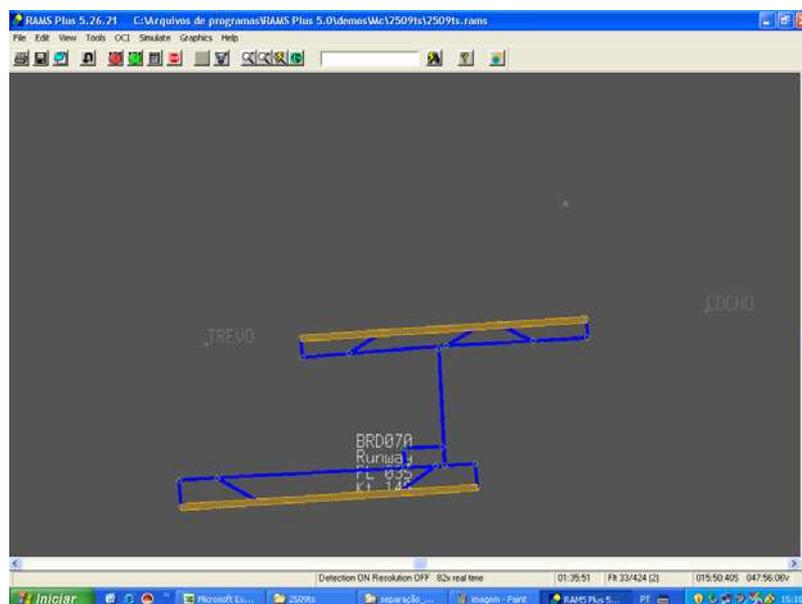


Figura 6. Simulação em progresso no RAMS Plus

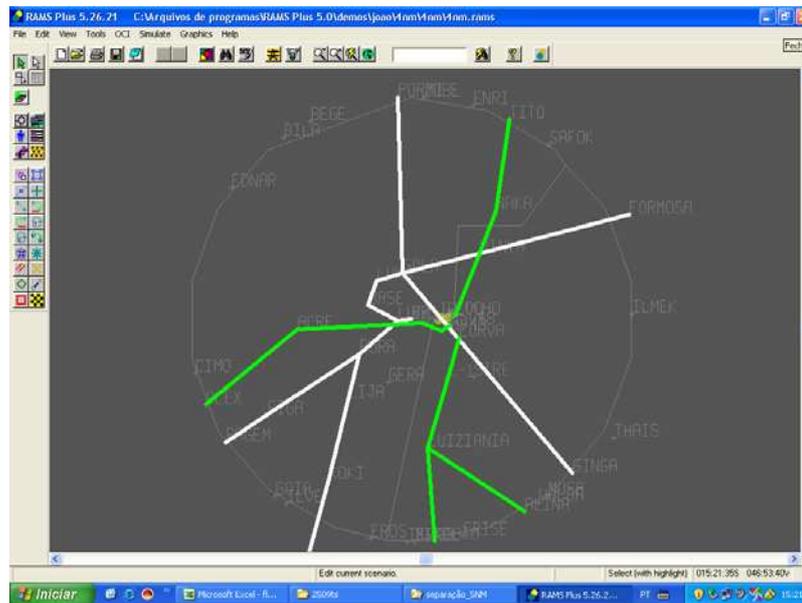


Figura 7. Vista da terminal Brasília no programa RAMS Plus

O programa RAMS Plus possibilita as seguintes análises, como descrito por Oliveira (2007):

- **Determinação da carga de trabalho:** *Estuda a variação e a distribuição da carga de trabalho existente tomando as diferentes tarefas executadas pelos controladores nas diversas posições de controle (por exemplo, posições de execução e planejamento, posições de coordenação, posições de assistente e dados dos vôos, multi/simples tarefas no setor e etc.)*
- **Planejamento de rota:** *Apresentação de tráfegos e edição de facilidades, bem como mecanismos de detecção de conflitos que permitem alto grau de planejamento de rotas “top-down” no ATC.*
- **Re-setorização:** *Facilidades gráficas de ajustes de setores permitem uma efetiva observação do efeito de uma re-setorização ou reorganização de rotas no espaço aéreo.*
- **Rotas free-flight:** *Movimentos gráficos nos auxílios à navegação permitem um método simples e rápido de análise de avaliar a escolha de novas rotas e simular uma situação free-flight.*

- **Capacidades futuras:** Amostras atuais e previstas de tráfegos pela variação da densidade e composição de vôos podem ser geradas com o propósito de avaliar efetivos refinamentos na capacidade do sistema ATC.
- **Áreas com alta densidade de conflitos:** A funcionalidade da detecção de conflitos no espaço pode ser utilizada para determinar áreas em nível macro que contém alta densidade de conflitos, antecipando situações que possam colocar em risco a segurança.
- **Futuros procedimentos e conceitos ATM:** O sistema de detecção de conflitos rulebased garante que cada tipo de área de controle esteja efetivamente modelada sem a necessidade de extensa re-engenharia do programa (por exemplo, Torre, APP, rotas, planejamento, controle de fluxo e etc.).
- **Ferramenta de suporte à decisão:** O RAMS Plus é utilizado como um suporte para outras ferramentas ATM, auxiliando na medição de forma eficiente e prática.
- **Circuito gate-to-gate:** Possibilita a análise completa desde uma decolagem até um pouso, sendo possível detectar a influência de atrasos devidos interação com o aeroporto, taxiamento, operação de solo.

2.5.3. Estrutura dos arquivos

O programa RAMS Plus utiliza basicamente três tipos de arquivos que estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3. Tabela resumo dos tipos de arquivos utilizados.

Tipo de arquivo	Função	Extensão
Default	Arquivos do sistema que são a base para simulação	.dat e precedidos de \$RAMSCONFIG
Input	Dados de entrada (fornecidas pelo usuário)	.dat
Output	Resultados da simulação	.out

Temos as seguintes características para cada um desses arquivos:

- **Arquivos default:** são os arquivos do programa que servem como base para os cálculos realizados durante a simulação. Tais arquivos armazenam as características de performance de cada grupo de aeronaves, conjunto de tarefas possíveis, seqüência de eventos para resolução de conflitos e demais informações necessárias.
- **Arquivos input:** são os arquivos que alimentam a simulação com dados de aeronaves, rotas, desenho dos aeroportos (pistas, pátios, gates e etc) fornecidos pelo usuário.
- **Arquivos output:** são os arquivos obtidos após a execução da simulação. Mostram os dados relativos aos vários aspectos da modelagem como carga de trabalho, atrasos, distâncias percorridas, densidade de tráfego. Todos os arquivos output estão compilados em dois arquivos, o **flightsummary.out** e o **flightevent.out**. tornando possível, então, a visualização de dado arquivo de saída em um arquivo separado como em **statdelayflight.out** ou em **flightsummary.out**.

O RAM Plus possibilita a customização de seus arquivos default como, por exemplo, a entrada de novos grupos de aeronaves com características específicas, bem como alterações e refinamentos nos grupos existentes. Para a realização deste trabalho foi necessária a edição de arquivo que contém os dados referentes à mínimas separações permitidas. A seguir há a descrição de um arquivo default.

Para os arquivos de input, há a possibilidade de preenchê-los através da interface do programa ou através de um simples editor de texto ou uma planilha. Para a edição dos arquivos *traffic.dat*, *trafficcategory.dat*, *trafficprofile.dat* e *traffictail.dat* que contém os dados referentes a horário de chegada/saída, tipo de voo, rota de aproximação/saída utilizada, etc, foi criado um programa na planilha Excel que lê os dados fornecidos correspondente aos dados dos vôos (Figura 10) e gera automaticamente tais arquivos. A interface é mostrada na Figura 9.

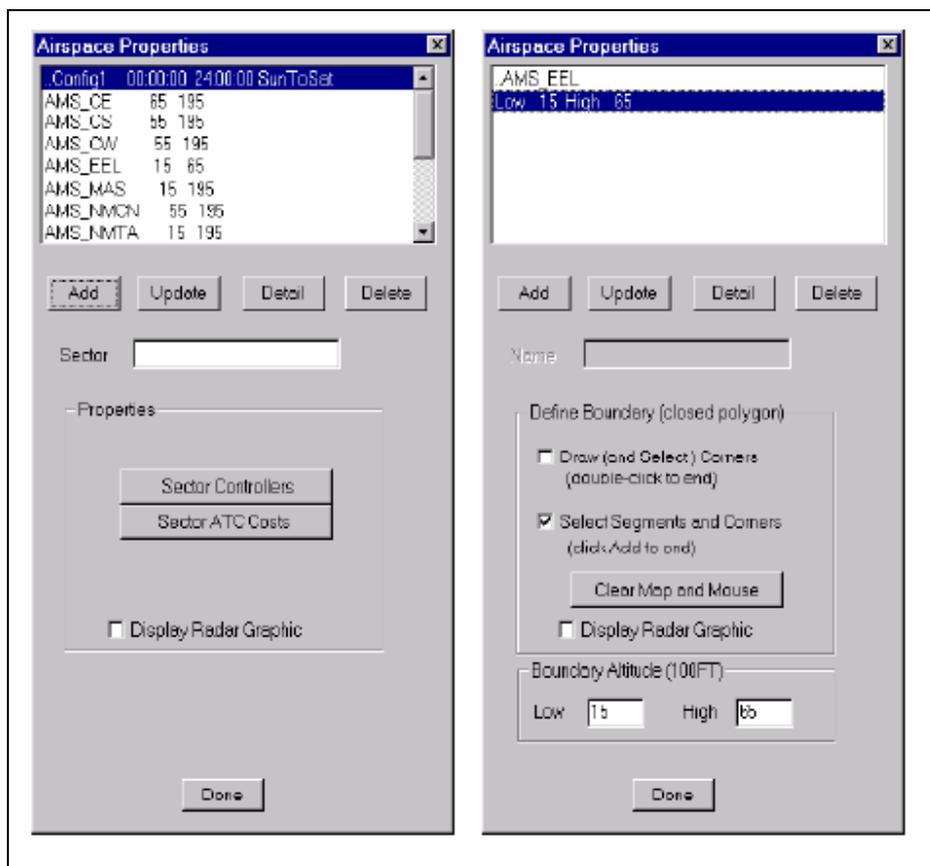


Figura 8– Janela de inserção de dados.

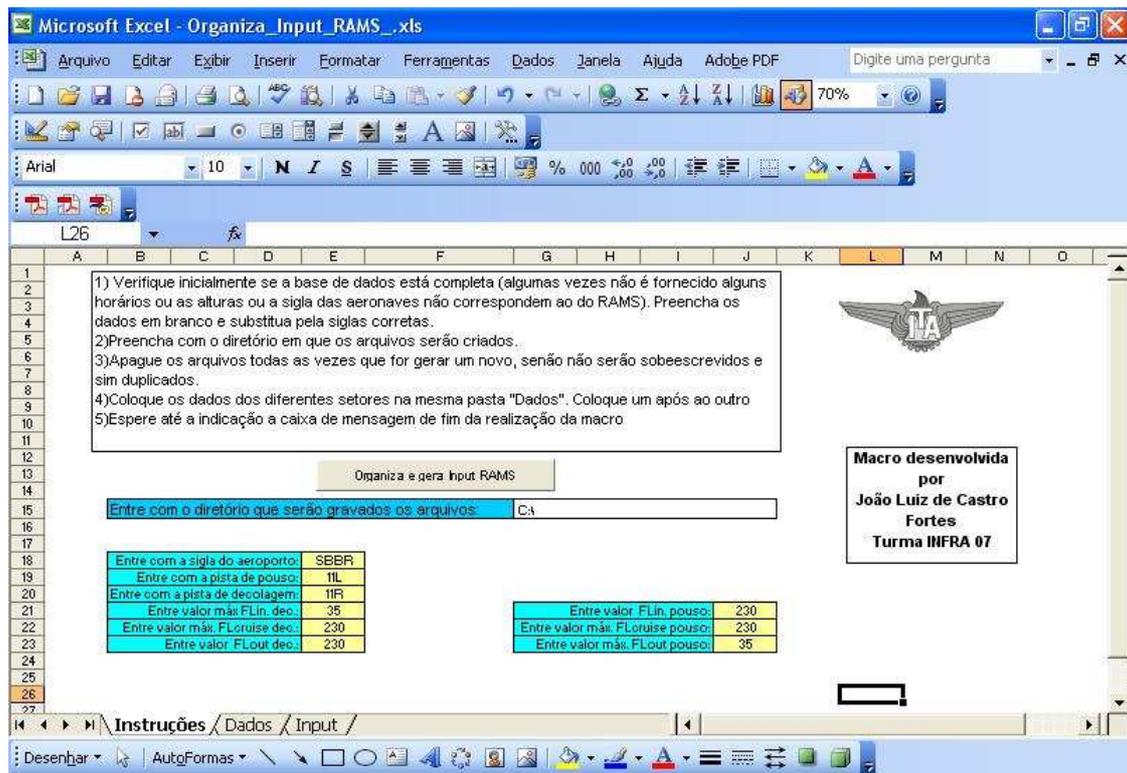


Figura 9. Interface da macro.

Forma em que o arquivo é impresso:

BRD004;00:01:00;00:01:00;1.000;1.000;00:09:39;00:09:39;9.653;9.653;8.653;8.653;0.000;39.5;39.6;0.1;230;A320;Normal;SBBR;11R;NOADES;NOADESRWY;NOAIRLINE;SBBR;NOARRGATE

Descrição de cada valor impresso (cada valor é separado por ponto e vírgula):

1. Código de chamada da aeronave
2. Tempo de partida agendado (HH:MM:SS)
3. Tempo de partida real (HH:MM:SS)
4. Tempo de partida agendado (minutos)
5. Tempo de partida real (minutos)
6. Tempo de chegada agendado (HH:MM:SS)
7. Tempo de chegada real (HH:MM:SS)
8. Tempo de chegada agendado (minutos)
9. Tempo de chegada real (minutos)
10. Tempo no ar agendado (minutos)
11. Tempo no ar real (minutos)
12. Atraso no ar (minutos)
13. Distância percorrida no ar agendada (em nm)
14. Distância percorrida no ar real (em nm)
15. Diferença entre as distâncias real e agendada (em nm)
16. Altitude (em pés)
17. Modelo da aeronave
18. Categoria do voo
19. Aeroporto de partida
20. Nome da pista no aeroporto de partida
21. Aeroporto de destino
22. Nome da pista no aeroporto de chegada
23. Nome da companhia aérea
24. Nome do portão de saída

2.5.4. Cálculo da capacidade através do simulador

Para o cálculo da capacidade utilizando o simulador, será utilizada a abordagem de cálculo de carga de trabalho do controlador.

Essa abordagem se torna interessante, pois será possível utilizar a fórmula utilizada pelo DECEA, mas sem a interferência direta sobre os controladores. Com isso, a medição se torna muito mais precisa e real.

Outra questão importante também é que o aeroporto de Brasília possui duas pistas separadas mais de 1310 m. Como pode se ver na Tabela 6, as operações para pistas paralelas com essa configuração são independentes, não representando assim um gargalo o sistema. O valor da capacidade da pista para aquele aeroporto é de 70 aeronaves/hora, de acordo com Augusto (2007). Como se pode ver na Figura 16, na hora de maior movimento, temos 30 aeronaves. Com isso o limitante passa a ser o número de aeronaves que os controladores podem gerenciar. De acordo com Majumar and Polak (2001), em áreas de tráfego aéreo de alta densidade, essa seria a medida mais segura de capacidade. Outra maneira, como a medição somente da pista poderia fornecer valores que na realidade nunca poderiam ser praticados visto a limitação que há por parte dos controladores.

3. Critérios de utilização das pistas

Um fator de suma importância que controla a capacidade do aeroporto é a separação entre aeronaves.

A separação permite primeiramente fazer com que, após a passagem de uma aeronave pela pista, haja a dissipação da esteira de vórtices criada pela sua passagem afim de que a aeronave seguinte possa passar com segurança por aquele caminho. Além disso, tal separação permite que os controladores consigam gerenciar com segurança o pouso e a decolagem de acordo com a precisão da localização conseguida com a utilização dos radares atuais. Dependendo do porte de cada aeronave, a separação pode ser maior ou menor.

Nos Estados Unidos, a FAA classifica as aeronaves em três tipos, de acordo com seu (MTOW):

- MTOW maior do que 225.000 lb são do tipo H (pesado)
- MTOW entre 41.000 lb e 255.000 lb são do tipo L (grande)
- MTOW abaixo de 41.000 lb são do tipo S (pequena)
- Para o caso do Boeing 757 que tem seu MTOW no limiar entre os tipos L e H, o FAA considera-o como tipo L.

A separação dependerá dos tipos de operações (pouso ou decolagem) que estão sendo realizadas além dos tipos de aeronaves que as estão realizando e que tipo de aeronave segue quem. As tabelas abaixo mostram as possíveis combinações de operações com os tipos de aeronaves

Pouso seguido de pouso

Tabela 4. Distancia em milhas náuticas (nm)

Fonte: de Neufville (2003).

Aeronave líder	Aeronave que segue		
	H	L + B757	S
H	4	5	5/6
B757	4	4	5
L	2,5(ou 3)	2,5(ou 3)	5/6
S	2,5(ou 3)	2,5(ou 3)	2,5(ou 3)

- A aeronave que segue não pode tocar o solo enquanto a seguinte não tiver saído da pista

Pouso seguido de decolagem

- A decolagem só é autorizada depois da aeronave que tiver pousado não estiver mais na pista

Decolagem seguida de decolagem

Tabela 5. Tempo de separação em segundos

Fonte: de Neufville (2003).

Aeronave líder	Aeronave que segue		
	H	L + B757	S
H	90	120	120
B757	90	90	120
L	60	60	60
S	45	45	45

Decolagem seguida de pouso

- A aeronave que segue tem de estar pelo menos 2 nm longe da pista na hora que a outra aeronave começa a decolagem. A aeronave líder também não deve estar na pista no momento que a outra pousar.

Para o caso de pistas paralelas como é o caso do aeroporto de Brasília, há também restrições para a operação. O parâmetro a ser analisado nesse caso é a distância entre eixos das pistas. Essas separações que estão indicadas na tabela a seguir.

Tabela 6. Critérios de separação para pista dupla paralela

Fonte: Neufville (2003).

Separação entre eixos de pistas	Pouso/ Pouso	Decolagem/ Decolagem	Pouso/ Decolagem	Decolagem/ Pouso
Até 762 m	como em pista única	como em pista única	Quando a aeronave pousar	Aeronave de chegada não deve estar na pista
De 762 a 1310 m	1.5nm	Independent	Independent	Independent
Acima de 1310 m	Independent	Independent	Independent	Independent

A pista de Brasília apresenta uma separação entre eixos de 1785 m o que a torna apta a fazer pousos e decolagens independentes.

4. Aeroporto Juscelino Kubitschek

O aeroporto de Brasília, Juscelino Kubitschek, é o 3º maior aeroporto brasileiro em número de operações anuais (cerca de 9.426.569 de passageiros em 2006). Devido a sua localização, é considerado como um ponto de conexão dos diversos vôos que chegam e saem do país.

O aeroporto foi criado em 1955 pelo então vice-governador de Goiás, Bernardo Sayão. À época, ainda tinha o nome de aeroporto de Vera Cruz e tinha caráter provisório. Com a vinda da capital brasileira para a região, foi ampliado e em 1957 foi inaugurado com o nome que tem hoje.

O aeroporto sofreu ampliações em 2005 com a inauguração da segunda pista que ampliou sua capacidade para 550 mil operações por ano (veja Figura 11). Além disso, terá seu terminal ampliado de forma a aumentar sua capacidade para 11 milhões de passageiros por ano. As características atuais do aeroporto estão na Tabela 7. Uma vista de como o aeroporto se encontra hoje é mostrada na Figura 12.

A distância entre eixos das 2 pistas é maior do que 1310 m (distância de aproximadamente de 1785 m) o que permite a decolagem e pouso simultâneo sem restrições.

Numero de pistas	2,0
Sítio aeorportuário	28995153 m ²
Pátio de aeronaves	57.153, m ²
Dimensões das pistas	3200, 0 m x 45,0 m
	3300,0 m x 45,0 m
Terminal de Passageiros	
Capacidade	7.400.000,0
Área	90100 m ²
Estacionamento	1.204,0 vagas
Estacionamento para aeronaves	32 posições

Tabela 7. Dados do aeroporto de Brasília
Fonte: Infraero

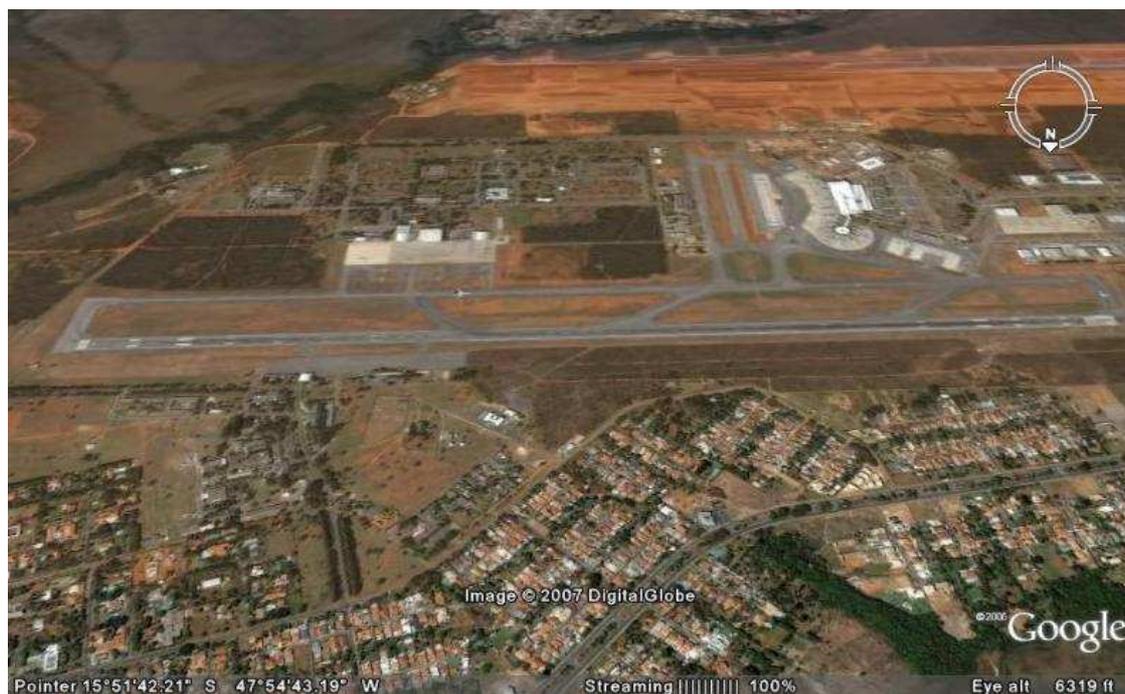


Figura 11. Obras de ampliação do aeroporto de Brasília
Fonte: Google Earth



Figura 12. Visão aérea das pistas do aeroporto JK
Fonte: Google Earth



Figura 13. Vista aérea do aeroporto JK

Fonte: airlines.net

Além disso, o espaço aéreo do aeroporto é dividido em 2 setores (veja Figura 15).

A setorização tem como função dividir o espaço aéreo de modo que seja possível distribuir o volume de tráfego entre os operantes do órgão de controle.

Em julho de 2005, devido a algumas modificações com o propósito de equilibrar a carga de trabalho entre os setores, mudou a configuração de setores de Norte/Sul (Figura 15) para Leste/Oeste (Figura 16).

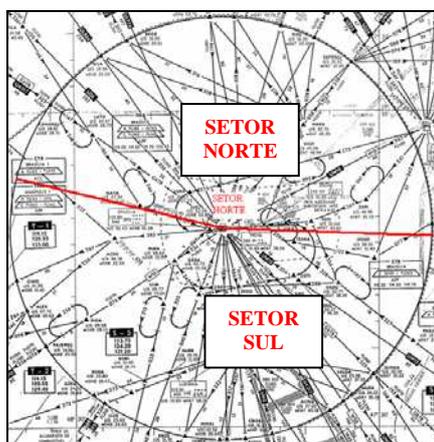


Figura 14. Antiga setorização Norte/Sul

Fonte: Oliveira, 2007

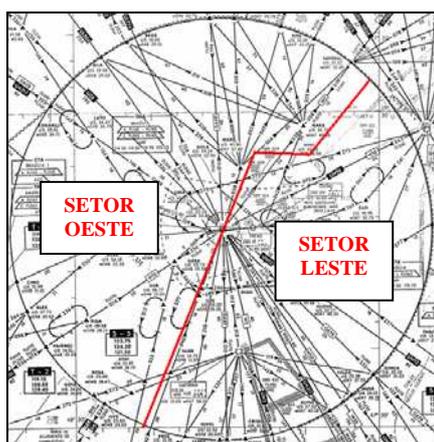


Figura 15. Nova sertorização Leste/Oeste

Fonte: Oliveira, 2007

A amostra do tráfego que foi utilizado como input do RAMS foi referente ao dia 23 Março de 2006. O aeroporto apresentou um total de 427 movimentos, sendo 216 decolagens e 211 pousos. A Figura 16 mostra graficamente a variação neste dia.

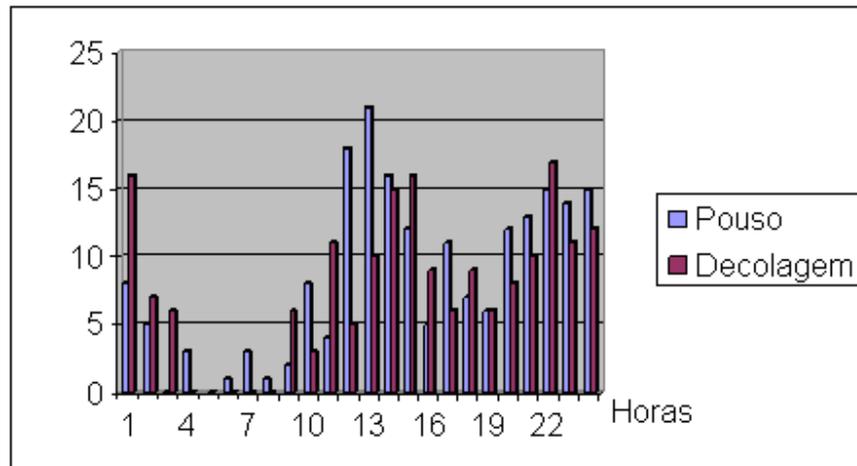


Figura 16. Número de pousos e decolagens para o dia 23/03/2006

5. Análise de resultados

Foram idealizados 5 possíveis cenários para a simulação do tráfego no aeroporto de Brasília. Para cada cenário é decrescido o valor da separação mínima dos atuais 5nm até chegarmos a 1 nm. Temos os cenários 1, 2, 3, 4 e 5 em que as separações mínimas permitidas são, respectivamente, 1, 2, 3, 4 e 5 nm. Para cada cenário são calculados os parâmetros estabelecidos na seção 2.4. O arquivo de output utilizado para a obtenção desses dados são o *flightevent.out* e *task.out* e *conflictsummary.out*

É interessante notar que os fatores são iguais para todos os cenários. Isso se deve ao fato de que o programa foi rodado sem a opção de “resolução de conflitos”. Conflito é definido como qualquer situação em que as aeronaves não estão respeitando os parâmetros estabelecidos, como é o caso de duas aeronaves estarem com distância entre elas menor do que a mínima permitida. Tal opção permite que o computador, ao detectar um conflito (como é o caso de aeronaves que irão ultrapassar a separação mínima permitida), gerencie as aeronaves para outros cursos de modo a evitar a colisão. No entanto, como foi “rodado” para um número muito grande de operações, a utilização de tal opção exigiria muito do computador e muitas vezes “travando-o”. Desse modo, o RAMS Plus somente indica o conflito, mas não o resolve.

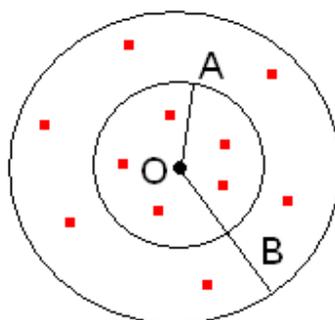
Foi então necessário um outro fator, além daqueles necessários pela fórmula do DECEA, para o cálculo da capacidade. Utilizou-se então o número de conflitos gerados em cada cenário. O conflito corresponde a qualquer incidente que possa causar perigo durante o vôo da aeronave como, por exemplo, proximidade de aeronaves além da permitida, cruzamento de aeronaves, etc. Considerou-se que o número de conflitos para o cenário 5 (que é o cenário praticado atualmente) seria o padrão. A partir dele calculou-se a porcentagem de decréscimo de conflitos. Esse decréscimo corresponde a um acréscimo no valor de disponibilidade f , pois haverá menos comunicação entre aeronave e controlador, aumentando assim o valor da capacidade (N) até um valor máximo de 15% a mais do que se tem nos dias atuais, como se pode ver na

Tabela 8.

Tabela 8 Resultados da capacidade para os diferentes cenários.

Cenário	f	d (nm)	n	t_m (s)	V_m (nós)	N (aeronaves por controlador)	Número de conflitos	Porcentagem de decréscimo de conflitos	f (ajustado)	N (ajustado)
1	46,73	5,48	37,58	8,36	178,02	17	665	18,40%	55,34	20
2	46,73	5,48	37,84	8,36	178,01	17	665	18,40%	55,34	20
3	46,73	5,48	37,88	8,36	177,90	17	701	13,99%	53,27	19
4	46,73	5,48	37,95	8,36	178,07	17	769	5,64%	49,37	18
5	46,73	5,48	38,00	8,36	178,19	17	815	-	-	17

Esse decréscimo pode ser facilmente explicado pela Figura 17. Considera-se que uma aeronave está no ponto O. Cada ponto vermelho representa uma outra aeronave e cada raio (A e B) representa uma separação, sendo $A < B$. Pode-se perceber que para uma separação A, a probabilidade de haver aeronaves com separação menores do que A é muito menor do que para a separação B. Ou seja, haverá menor número de conflitos, tão quanto a separação seja menor. No entanto, deve-se atentar ao fato de que essa separação não pode diminuir indefinidamente até chegar 0, o que seria absurdo.

**Figura 17. Esquema da variação de número de conflitos.**

Deve-se atentar ao fato dos cenários chegarem a valores muito baixos de separação, como são os casos dos cenários 1 e 2. Tal situação corresponderia a comunicação praticamente através de data link, ou seja, dados entre os computadores da torre e aeronave, sem praticamente intervenção humana, tanto do piloto como controlador.

Outro fato interessante é de que também para os cenários 1 e 2, o número de conflitos registrados torna-se igual. Uma hipótese para tal acontecimento é de que abaixo da separação de 2nm, as aeronaves dificilmente chegam a praticar tal separação.

6. Novas Tecnologias

Como se pode ver nos resultados obtidos com a simulação no aeroporto de Brasília, é viável o aumento da capacidade operacional do lado aéreo através da diminuição da separação mínima, aproveitando assim o espaço aéreo ocioso. No entanto, são necessárias novas tecnologias que possibilitem chegar a tais valores com o máximo de segurança.

Em 1981, a ICAO desenvolveu o conceito de CNS/ATM (Comunicação, Navegação, Vigilância/ Gerenciamento de Tráfego Aéreo) que visavam o desenvolvimento de novas tecnologias por satélites que possibilitariam a diminuição de atrasos, aumento de capacidade, aumento da cobertura das áreas oceânicas e melhora na comunicação piloto/controlador. As primeiras aeronaves saírem com esse conceito foram o Boeing 747-700 e o MD-11. Ambos tinham a autonomia de navegar com um erro máximo de 5 milhas náuticas, além da terem a capacidade de se comunicar com os órgãos de controle por um canal de dados, computador se comunicando com computador. Foram então criadas a rotas FANS em que somente tais aeronaves voarem. Esse foi então o início efetivo do novo conceito.

Deste sistema de CNS/ATM, surgiram dois conceitos que possibilitariam a melhora no aproveitamento do espaço aéreo de modo a maximizar a capacidade operacional com segurança: o RVSM (Separação Máxima Vertical Reduzida) e RNP (Requisito de Desempenho e Navegação).

O RVSM tem como objetivo reduzir a separação vertical mínima entre os níveis de vôo 290 e 410 de 2000 pés para 1000 pés, respeitando os padrões de segurança de vôo. Isto permitiria com que as operadoras mantivessem suas aeronaves em níveis ótimos de vôo, o que proporcionaria economia no gasto de combustível, aumento da capacidade do lado aéreo e eventualmente diminuição do impacto ambiental. Estudos feitos pelo FAA, como mostrado pela Infraero, mostram que na região do Caribe e América do Sul, haverá um benefício de 3:1 na aplicação de tal conceito, ou seja, a cada US\$1,00 investido na

certificação de tal processo, haverá um ganho de US\$3,00 no horizonte dos próximos 15 anos.

O RNP n mostra a precisão da forma de navegação necessária para a aeronave operar dentro de um espaço aéreo definido que varia de acordo com o número n . Cada número n representa um requisito, como por exemplo RNP4 que especifica o afastamento máximo de 4 nm em relação a posição esperada, ou seja, é necessária uma precisão de 4 nm. Para cada fase do voo são definidos diferentes RNPs como Figura 18. A Figura 19 mostra um esquema em 3D de como funcionaria o RNP.

Deve-se que durante de um procedimento de subida, a precisão máxima deve ser maior do que em cruzeiro, pois a proximidade de obstáculos e do terreno é maior, além da necessidade de manter a trajetória para evitar a interferência com outros tráfegos que estiverem aproximando ou decolando. Como define Torelli, o RNP define se uma aeronave poderá entrar em determinado espaço aéreo ou voar em determinada rota, pois se o controlador sabe que as aeronaves irão cumprir com precisão suas instruções, este poderá aproximá-las mais do que no padrão de separação atualmente utilizado, assim aumentando a capacidade de aeronaves no espaço aéreo sem comprometer os parâmetros de segurança de voo. A precisão dos sistemas de navegação levarão a uma situação em que não será mais necessária a separação de setecentos e sessenta metros entre cabeceiras para a realização de uma aproximação simultânea. A restrição passa a ser a categoria da esteira de turbulência da aeronave que vier na frente, tudo isso resultando num ganho de produtividade dos aeroportos e uma redução de custos considerável aos operadores.

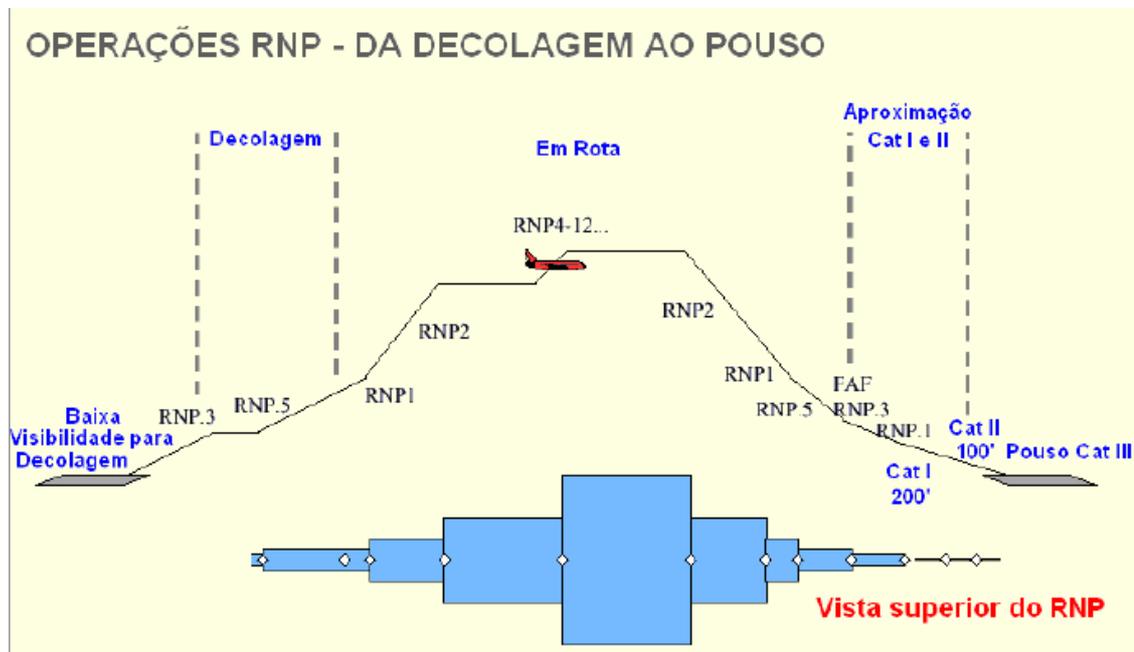


Figura 18. Esquema dos diferentes RNPs necessários.

Fonte: Chujo, 2007

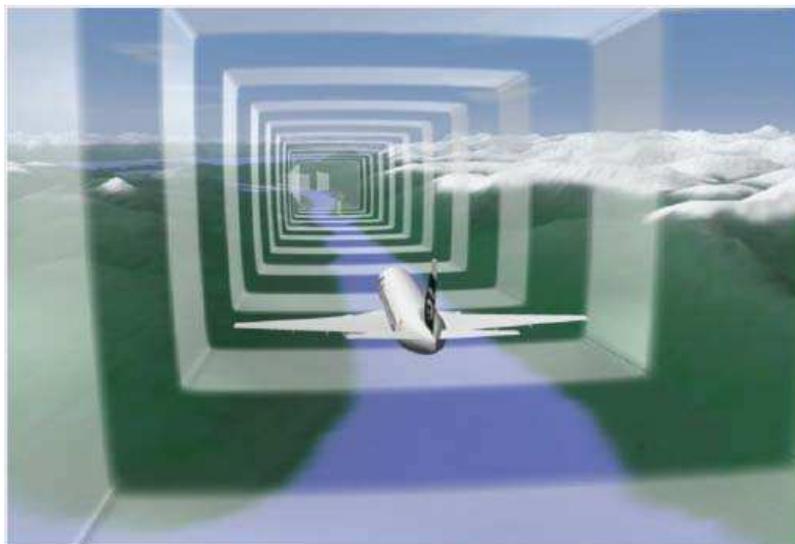


Figura 19. Conceito de RNP

Fonte: Apresentação da NAVERUS

Segundo Chujo (2007), a ICAO especifica o requisito RNP para um sistema de pouso preciso em quatro categorias: acurácia (maior exatidão), integridade (confiabilidade), disponibilidade (acurácia somada à integridade em qualquer instante) e continuidade (disponibilidade sobre um intervalo de tempo determinado).

A Figura 20 mostra a aproximação de duas aeronaves no aeroporto de São Francisco. A aeronave da Lufthansa apresentou defeito e teve de pousar ao mesmo tempo em que a aeronave da United Airlines. A separação no instante da foto era de somente 230 m.



Figura 20. Aproximação de duas aeronaves no aeroporto de São Francisco.
Fonte: Chujo, 2007

A ADS-B Technologies, LLC desenvolveu um dispositivo que pode permitir acurácia a baixo custo para o transporte aéreo: ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast – Transmissão Automática Dependente de Vigilância). Tal dispositivo permite que informações, como posição e velocidade, sejam transmitidas periodicamente sem a necessidade de ação de piloto ou operador através de um sistema de posicionamento global (GPS) ou sistema de gerenciamento de voo (FMS). Tais informações podem ser captadas por quaisquer pessoas que possuam o equipamento apropriado.

Além disso, diferentemente do radar, a precisão do dispositivo não degrada com a distância, condições atmosféricas ou altitude da aeronave e os intervalos de atualização

não dependem da velocidade de rotação do radar ou na confiabilidade de antenas mecânicas.



Figura 21. Esquema de como funciona o ADS-B.
Fonte: Material de divulgação da empresa Honeywell.

Um conceito que permitiria o melhor aproveitamento do espaço aéreo, tal como a diminuição da carga de trabalho do controlador e conseqüentemente o aumento da capacidade, são as “tailored arrivals” (“chegadas guiadas”) que possibilitariam a descida da aeronave da altitude de cruzeiro até a pista de uma forma suave sendo guiada pela torre que forneceria todas as restrições, através de data link, à aeronave.

A Figura 22 mostra um esquema da chegada da aeronave em que há variação dinâmica dos pontos em que a aeronave irá pousar, de acordo com as restrições do local.

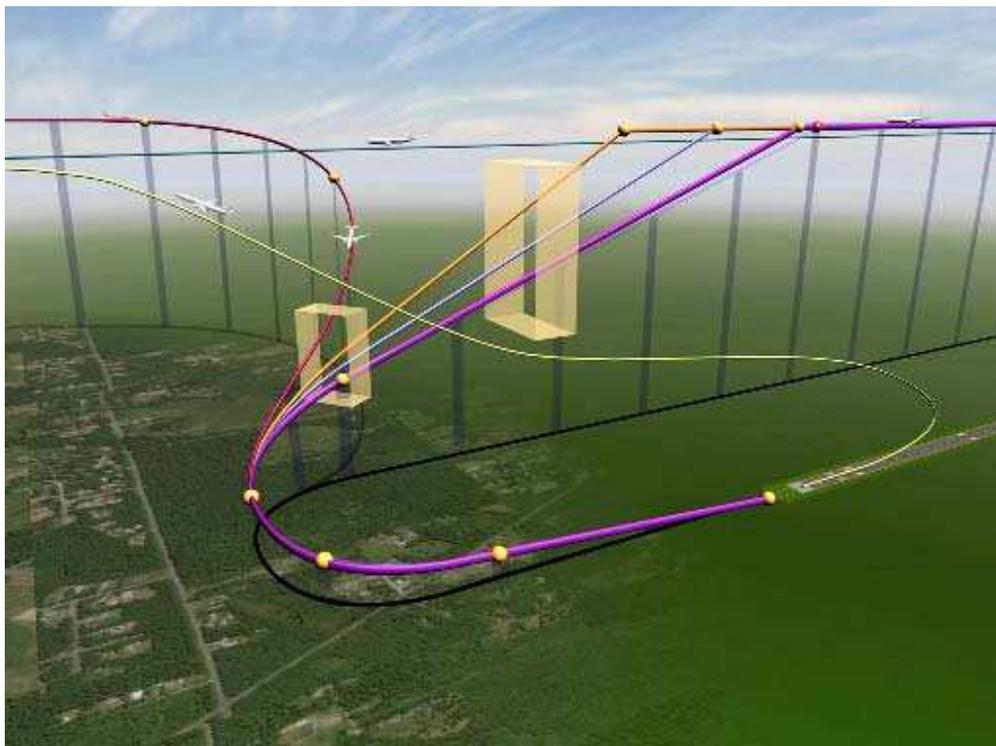


Figura 22. Esquema das “tailored arrivals”
Fonte: Material de divulgação da Phantom Works

7. Conclusão e comentários finais

Como pode ser apresentada neste trabalho, a redução de espaçamento entre as aeronaves gerará uma maior capacidade operacional do sistema aeroportuário. Mas tal cenário pode ser alcançado com a introdução de novas tecnologias como a inclusão de sistemas de posicionamento globais, como é o caso de ADS-B, que permite posicionamento em tempo real da aeronave, tornando assim dispensável a necessidade de uma separação grande entre aeronaves.

O software RAMS Plus mostrou-se de grande utilidade para tal estudo. É importante, no entanto ressaltar algumas restrições ao programa. Apesar de ser possível adicionar um número ilimitado de aeronaves, devido a restrições do computador que está executando e por ser uma versão acadêmica, o programa não executa no modo de resolução, ou seja, na opção em que o programa resolve automaticamente os conflitos. Para resultados mais acurados seria necessário provavelmente adquirir a versão completa do software o que tornaria possível sua completa utilização.

O estudo da capacidade através da carga de trabalho dos controladores mostra-se muito importante, principalmente nos dias atuais, com as constantes reivindicações por melhores condições de trabalho por parte deles. A análise dessa maneira, contemplando todos esses fatores, seria o modo mais seguro de fazê-lo.

8. Bibliografia

- Augusto, A. S. *Análise da Capacidade dos Aeroportos da rede INFRAERO*. Trabalho de Graduação, ITA, São José dos Campos, 2007.
- Chujo, A. M., *Potenciais Aplicações Estratégicas do Sistema CNS/ATM*. Dissertação de Mestrado, ITA, São José dos Campos, 2007.
- *de Neufville, R & Odoni, A. Airport Systems: Planning, Design and Management*, McGraw-HillPereira, 2003.
- Horonjeff, R., and McKelvey, F. X., *Planning and design of airports*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1994.
- www.infraero.com.br
- Majumdar & Polak, 2001; *Estimating Capacity of Europe's Airspace Using a Simulation Model of Air Traffic Controller Workload*.
- Manual do Usuário RAMS Plus, versão 5.26, 2006.
- Manual de Dados RAMS PLUS, versão 5.26, 2006.
- Oliveira, M. *Carga de Trabalho dos Controladores de Tráfego Aéreo – Análise da Área de Controle Terminal Brasília por meio de simulação*. . Dissertação de Mestrado, ITA, São José dos Campos, 2007.
- Santana, 2002; *Análise de novos modelos operacionais para o Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos*. Dissertação de Mestrado, ITA, São José dos Campos, 2002.
- Silva, C. M.; Guedes, E. P. e Feitosa, M. V. M., *Estudo dos Atrasos na Área Terminal São Paulo: Situação Atual e Futura via Modelo de Simulação*. Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Campinas, 2001, Vol. 3. p. 157-161.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	2. DATA 09 de novembro de 2007	3. DOCUMENTO N° CTA/ITA-IEI/TC-002/2007	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">55</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise do impacto das novas tecnologias na capacidade aeroportuária			
6. AUTOR(ES): João Luiz de Castro Fortes			
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, novas tecnologias, transporte aéreo			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Controle de tráfego aéreo; Capacidade do sistema de guiamento; Controle baseado no solo; Equipamentos de apoio no solo; Inovações tecnológicas; Controladores de tráfego aéreo (pessoal); Transportes			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional Trabalho de Graduação, ITA, São José dos Campos, 2007. 55 páginas.			
11. RESUMO: <p style="text-indent: 40px;">Este trabalho tem por objetivo estudar como varia a capacidade de um aeroporto com a variação da separação de aeronaves. Para a realização de tal foi utilizado o simulador de tráfego aéreo, RAMS, que permite a obtenção de todos os parâmetros necessários para o cálculo de capacidade. A abordagem utilizada para será o cálculo da capacidade através da medição de carga de trabalho do controlador aéreo.</p> <p style="text-indent: 40px;">Além disso, o trabalho faz uma pequena pesquisa sobre as tecnologias disponíveis que possibilitarão, nos próximos anos, a diminuição do espaçamento de uma maneira segura.</p>			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			