

Revista da Graduação

Vol. 4

No. 1

2011

4

Seção: FACULDADE DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

Título: O Sistema CNS/ATM na Terminal Porto Alegre

Autor: Ciro de Franco

Este trabalho está publicado na Revista da Graduação.

ISSN 1983-1374

<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/8530/6057>

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS
CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

CIRO DE FRANCO

O SISTEMA CNS/ATM NA TERMINAL PORTO ALEGRE

Porto Alegre
2010

CIRO DE FRANCO

O SISTEMA CNS/ATM NA TERMINAL PORTO ALEGRE

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel pelo programa de graduação da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Hildebrando Hoffmann

Porto Alegre
2010

CIRO DE FRANCO

O SISTEMA CNS/ATM NA TERMINAL PORTO ALEGRE

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel pelo programa de graduação da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em 24 de novembro de 2010.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Hildebrando Hoffmann
Orientador

Prof. Me. André Luis Boff - PUCRS

Prof. Dr. Elones Fernando Ribeiro - PUCRS

RESUMO

A globalização e o avanço da tecnologia possibilitaram o desenvolvimento da aviação civil em âmbito mundial. O aumento de atividades aéreas exige um sistema capaz de lidar com o monitoramento, comunicação e navegação das aeronaves. O transporte aéreo caracteriza-se por possuir uma tecnologia avançada em suas ferramentas utilizadas no dia a dia. A criação de um conceito totalmente inovador, baseado principalmente na precisão de satélites, levou o setor aeronáutico a se tornar um meio de locomoção ainda mais seguro e confiável. À tecnologia desenvolvida, dá-se as aeronaves a capacidade de comunicação independente, em voos mais diretos e precisos que possibilitam uma separação entre tráfegos menor em relação ao método convencional utilizado. Com isso, torna-se viável a inserção de um número maior de aeronaves em serviço, face a disponibilidade do conceito PBN, priorizando a demanda crescente de passageiros em todo o mundo. A este estudo, determina-se a conceituação de ferramentas deste sistema, conhecido como CNS/ATM, em aplicação dentro da região de Porto Alegre, tendo como foco prover a viabilidade e necessidade de ferramentas como o ACARS, ADS-B e GBAS, A-SMGCS, relacionando a importância destes equipamentos com a situação deficitária de tal região.

Palavras-chave: CNS/ATM. Terminal Porto Alegre. Datalink. Comunicação. Digital. Gerenciamento de Tráfego Aéreo. Controle de Tráfego Aéreo. Controlador de Voo.

ABSTRACT

Globalization and technological advances enabled the worldwide development of civil aviation. The increase in aeronautical activities requires a system capable of dealing with monitoring, communication and navigation among aircraft. Air transport is characterized by having advanced technology tools used every day. The creation of a completely new concept, based mainly on the accuracy of satellites, led the airline industry to become a way of transport safer and more reliable than it usually was. As technology is developed, the aircraft ability to communicate independently in direct flights allows an accurate separation between traffics. This makes it possible to insert a larger number of aircraft in service according to PBN concept, emphasizing the increasing demand of passengers around the world. In this study, it will be determined the concept of some tools of this system, known as CNS / ATM. In application within the region of Porto Alegre, it will be focused the viability and necessity of some mechanisms such as ACARS, ADS-B, GBAS and A -SMGCS, relating the importance of these facilities with the deficit of this region.

Keywords: CNS / ATM. Porto Alegre Terminal. Datalink.Digital Communication. Traffic Air Traffic Management. Air Traffic Control. Flight Controller.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Crescimento de Aeronaves que operam sob RBAC/RBHA 121 e 135	14
Figura 1 - O “Apagão Aéreo” congestionando saguão do Aeroporto de Congonhas/SP.....	15
Quadro 1 - Relação de um ATS com o ATC.....	19
Quadro 2 - Classificação dos Espaços Aéreos.....	20
Figura 2 - Áreas de Jurisdição dos Órgãos ATS	22
Quadro 3 - Dimensões e Classificação da área Terminal Porto Alegre	24
Figura 3 - Dimensão TMA Porto Alegre em Carta de Rota DECEA	24
Gráfico 2 - Pousos e decolagens em SBPA no dia 04/11/2010.....	26
Figura 4 - Ilustração de desvio máximo de Performance de Navegação Requerida durante um vôo.....	29
Figura 5 - Frequências VHF na TMA Porto Alegre mostrada sobre carta de procedimento Jeppesen.....	32
Figura 6 - O ATN provendo o CPDLC em meio VHF e Satélite.....	35
Figura 7 - Ilustração Simplificada de <i>Datalink</i> utilizando ACARS	37
Figura 8 - ACARS acoplado ao FMS; Inicialização à página de mensagens.....	37
Figura 9 - D-ATIS em CDU do FMS obtido via ACARS	39
Figura 10 - O Sistema GPS com 24 satélites geostacionários e estações terrestres na Zona Equatorial	41
Figura 11 - Cartas RNAV Caxias, ILS P. Alegre, STAR P. Alegre, SID P. Alegre, SID Caxias e RNAV Caxias.....	42
Figura 12 - Navegação Convencional versus Navegação de Área (RNAV).....	44
Figura 13 - Rádios-auxílios elevações importantes na região de Porto Alegre mostradas em WAC	46
Figura 14 - Cartas de Aproximação NDB e RNAV pista 15 em SBCX	48
Figura 15 - Configuração GBAS: cobertura local para operações de precisão	50
Figura 16 - Esquema Funcional de um Radar Primário (PSR)	55
Figura 17 - Esquema Funcional de um Radar Secundário (SSR)	56
Figura 18 - Esquema do ADS-B.....	60
Quadro 4 - Comparativo SSR <i>versus</i> ADS-B- Funções	61
Figura 19 - Esquema Funcional de um Sistema ADS-B para ATC	62
Figura 20 - Visualização do Sistema A-SMGCS em um visor de SMR.....	65

Figura 21 - “Pontos cegos” em relação à TWR do Aeroporto Salgado Filho vistos em ADC do DECEA	67
Figura 22 - Modelo SHELL, Hawkings 1975	71
Figura 23 - O Controlador de Voo e sua Interface Antiga	72
Figura 24 - O Controlador de Voo e sua nova Interface	73
Figura 25 - <i>Strip</i> padrão utilizada por anos	73
Quadro 5 - Vantagens do Sistema CNS/ATM.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aeródromos dentro do raio de atuação GBAS.....	51
Tabela 2 - Mínimos ILS (ICAO) e possibilidade de substituição por GBAS	52
Tabela 3 - Indicativo de custo total com instalação ILS X GBAS	53
Tabela 4 - Comparativo SSR <i>versus</i> ADS-B- Custo	63
Tabela 5 - Comparativo SSR <i>versus</i> ADS-B- Custo na TMA Porto Alegre.....	64
Tabela 6 - Economia gerada com utilização do A-SMGCS.....	69

LISTA DE SIGLAS

ACARS	–	<i>Aircraft Communications Addressing and Reporting System</i> Sistema de Direcionamento e Notificação para Comunicação com Aeronaves
ACC	–	<i>Area Control Center</i> Centro de Controle de Área
ADS	–	<i>Automatic Dependent Surveillance</i> Vigilância Dependente Automática
AIP	–	<i>Aeronautical Publication Information</i> Publicação de Informação Aeronáutica
ALRS	–	<i>Alert Service</i> Serviço de Alerta
ANAC	–	Agência Nacional de Aviação Civil
APP	–	<i>Approach Control</i> Controle de Aproximação
ARC	–	<i>Area Route Chart</i> Carta de Rota de Área
ARINC	–	<i>Aeronautical Radio, Incorporated</i> Rádio Comunicação Aeronáutica Incorporada
A-SMGCS	–	<i>Advanced Surface Movement Ground Control System</i> Sistema Avançado de Controle de Movimentos em Solo
ATC	–	<i>Air Traffic Control</i> Controle de Tráfego Aéreo
ATIS	–	<i>Automatic Terminal Information Service</i> Serviço Automático de Informação Terminal
ATM	–	<i>Air Traffic Management</i> Gerenciamento do Tráfego Aéreo
ATN	–	<i>Aeronautical Telecommunication Network</i> Rede de Comunicação Aeronáutica
ATS	–	<i>Air Traffic Services</i> Serviços de Tráfego Aéreo

ATZ	–	<i>Aerodrome Traffic Zone</i> Zona de Tráfego de Aeródromo
AWY	–	<i>Airway</i> Aerovia
CFIT	–	<i>Controlled Flight Into Terrain</i> Colisão com o Solo em Voo Controlado
CGNA	–	Centro de Gerenciamento de Tráfego Aéreo
CNS	–	<i>Communications, Navigation and Surveillance</i> Comunicação, Navegação e Vigilância
CPDLC	–	<i>Controller-Pilot Data Link Communications</i> Enlace de Comunicação entre Controlador-Piloto
CPI	–	Comissão Parlamentar de Inquérito
CTA	–	<i>Control Área</i> Área de Controle
CTR	–	<i>Control Zone</i> Zona de Controle
DECEA	–	Departamento do Controle do Espaço Aéreo
FANS	–	<i>Future Air Navigation Systems</i> Sistemas de Navegação Aérea do Futuro
FIS	–	<i>Flight Information Service</i> Serviço de Informação de Voo
FL	–	<i>Flight Level</i> Nível de Voo
FMS	–	<i>Flight Management System</i> Sistema de Gerenciamento de Voo
GBAS	–	<i>Ground Based Augmentation System</i> Sistema de Aumento de Precisão Baseado no Solo
GES	–	<i>Ground Earth Stations</i> Estações de Terra
GNSS	–	<i>Global Navigation Satellite System</i> Sistema Global de Navegação por Satélite
GPS	–	<i>Global Positioning System</i> Sistema de Posicionamento Global

IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	–	Instrução do Comando da Aeronáutica
ICAO	–	<i>International Civil Aviation Organization</i> Organização de Aviação Civil Internacional
IFR	–	<i>Instrument Flight Rules</i> Regras de Voo por Instrumentos
ILS	–	<i>Instrument Landing System</i> Sistema de Pouso por Instrumento
INFRAERO	–	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
NDB	–	<i>Non Directional Beacon</i> Radiofarol não Direcional
NOTAM	–	<i>Notice to Airmen</i> Aviso aos Aeronavegantes
OACI	–	Organização de Aviação Civil Internacional
PAC	–	Programa de Aceleração do Crescimento
PBN	–	<i>Performance-Based Navigation</i> Navegação Baseada em Performance
PIB	–	Produto Interno Bruto
PSR	–	<i>Primary Surveillance Radar</i> Radar de Vigilância Primário
RBAC	–	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
RNAV	–	<i>Area Navigation</i> Navegação de Área
RNP	–	<i>Required Navigation Performance</i> Performance Requerida para Navegação
SID	–	<i>Standart Instrument Departure</i> Saída por Instrumentos
SSR	–	<i>Secondary Surveillance Radar</i> Radar de Vigilância Secundário
STAR	–	<i>Standart Terminal Arrival</i> Chegada em Terminal
TMA	–	<i>Terminal Area</i> Área Terminal
TPS	–	Terminal de Passageiros

TWR	–	<i>Tower</i> Torre de Controle
UTA	–	<i>Upper Control Área</i> Área de Controle Superior
VAC	–	<i>Visual Approach Chart</i> Carta de Aproximação Visual
VFR	–	<i>Visual Flight Rules</i> Regras de Voo Visuais
VHF	–	<i>Very High Frequency</i> Frequência Muito Alta
VOR	–	<i>Very High Frequency Omni Directional Range</i> Frequência Muito Alta de Alcance Omni Direcional

SUMÁRIO

1 METODOLOGIA	14
2 INTRODUÇÃO	15
3 O CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO E SEUS SERVIÇOS	19
3.1 O ATS E A ÁREA DE JURISDIÇÃO DE CADA ÓRGÃO ATC.....	19
3.2 ÁREA TERMINAL.....	22
3.2.1 A Terminal Porto Alegre	24
4 O SISTEMA CNS/ATM	29
5 FERRAMENTAS CNS/ATM COM APLICAÇÃO NA TMA PORTO ALEGRE	32
5.1 COMUNICAÇÃO	32
5.1.1 A comunicação em área terminal	33
5.1.2 Ferramentas de comunicação	34
5.1.2.1 Controller-Pilot Datalink Communications - CPDLC	35
5.1.2.1.1 Análise dos benefícios do CPDLC na TMA Porto Alegre.....	39
5.2 NAVEGAÇÃO	42
5.2.1 A navegação em área terminal	43
5.2.2 Ferramentas de navegação	45
5.2.2.1 Performance-Based Navigation - PBN.....	46
5.2.2.1.1 Análise dos benefícios do PBN na TMA Porto Alegre	47
5.2.2.2 Ground Based Augmentation System - GBAS	51
5.2.2.2.1 Análise dos benefícios do GBAS na TMA Porto Alegre	53
5.3 VIGILÂNCIA.....	56
5.3.1 A vigilância em área terminal	57
5.3.2 Ferramentas de vigilância	59
5.3.2.1 Automatic Dependent Surveillance Broadcast - ADS-B.....	59
5.3.2.1.1 Análise dos benefícios do ADS-B na TMA Porto Alegre.....	63
5.3.2.2 Advanced Surface Movement Ground Control System - A-SMGCS	66

5.3.2.2.1 Análise dos benefícios do A-SMGCS na TMA Porto Alegre	69
5.4 GERENCIAMENTO DO TRÁFEGO AÉREO	72
5.4.1 O controlador de tráfego aéreo	73
6 CONCLUSÃO.....	78
7 REFERÊNCIAS	81

1 METODOLOGIA

O presente trabalho proposto dar-se-á com base em duas frentes. Em uma primeira instância, uma revisão bibliográfica referente a trabalhos acadêmicos de renomadas instituições de ensino previamente realizados será efetuada, com o apoio de documentos de instituições diretamente relacionadas ao âmbito da aviação, tais como a *Boeing* e órgãos reguladores de diversos países, explanando assim desde o conceito inicial de como funciona o sistema de controle aéreo mundial, até chegar ao objetivo principal do trabalho; explicar as ferramentas mais relevantes, a critério do autor, desta nova tecnologia disponível e aplicá-las em um ambiente nacional suscetível a um grande crescimento de tráfego. adicionando-se uma adaptação própria do autor com base nos pontos mais importantes (tais como custo, benefícios e precisão) para o uso de diversas ferramentas do CNS/ATM na área Terminal Porto Alegre. Faz-se o uso, nesta fase de desenvolvimento, de documentação pertinente ao Brasil, com a utilização de recursos como cartas aéreas, de rota e área. Por fim, uma breve conclusão abordando os aspectos mais relevantes sobre a utilização de equipamentos mais confiáveis e precisos será abordada.

2 INTRODUÇÃO

A era do jato na aviação comercial, começando pelas máquinas *De-Havilland Comet* e o *Caravelle* na década de 1950, propiciou aos passageiros a sensação de voar mais alto, de forma mais segura, rápida e confortável. A Boeing, então na época, revolucionou ainda mais o mercado aeronáutico, com a entrada em serviço do seu aparelho *Boeing 707*. Com estas aeronaves capazes de prover maior eficiência nas operações, em especial a última, obteve-se o aumento na demanda para o serviço aéreo em caráter mundial. Com o passar dos tempos novas aeronaves impulsionadas por motores à reação tipo turbojato e, mais recentemente, turbofan, entraram em serviço, ocasionando um aumento constante na frota mundial de aeronaves que perdura até os dias de hoje. No Brasil, durante os últimos doze anos pôde-se observar o crescimento da frota de aeronaves pertencente ao transporte aéreo regular em uma média até mesmo superior à encontrada em âmbito mundial, passando de cerca de 300 aeronaves em 1996, para uma quantidade de 600 equipamentos durante o ano de 2009 (ANAC, 2009).

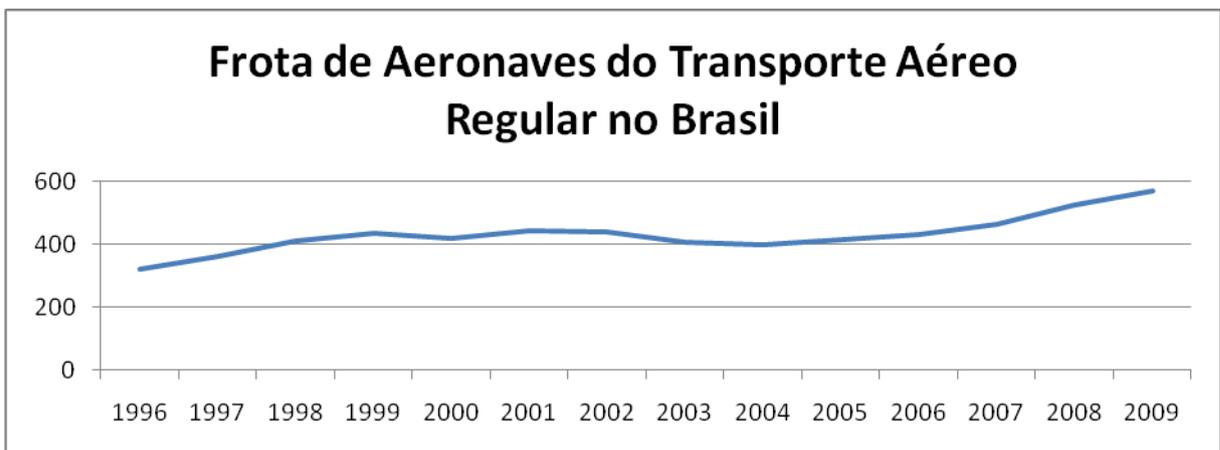


Gráfico 1 - Crescimento de Aeronaves que operam sob RBAC/RBHA 121 e 135
Fonte: ANAC (2010)

Atualmente o mercado aeronáutico civil encontra-se, principalmente, com aviões equipados com motores à reação altamente confiáveis e seguros em questão operacional, sendo os equipamentos da família B737NG, da Boeing, e a linha A320 da Airbus, os mais

vendidos em âmbito mundial. Aquela recentemente alcançou a marca de cinco mil exemplares vendidos¹, enquanto que este alcançou há pouco tempo, a marca de quatro mil exemplares entregues, sendo o modelo com este número de série recebido por uma companhia brasileira².

Com tamanha quantidade de aeronaves voando sob um mesmo espaço aéreo, torna-se necessária a modernização e o desenvolvimento de equipamentos que visam uma melhor infraestrutura do sistema de aviação civil. Recentemente, o trágico acidente em território nacional envolvendo um Boeing 737 *Next Generation* da companhia aérea brasileira GOL e um Embraer *Legacy* pertencente a uma empresa de táxi aéreo americana, colocaram em cheque a disponibilidade de serviços aeronáuticos necessária para a operação segura de um grande número de aeronaves em um mesmo espaço aéreo. Como consequência, pouco tempo após esta tragédia, o Brasil sofreu novos problemas relacionados com a aviação civil. O “Apagão Aéreo”, nome em que ficou conhecido o evento aonde inesperadamente houve uma quebra no fluxo de voos em caráter nacional, no final de 2006, mobilizou políticos para criar uma investigação no sistema aeroviário, a fim de identificar inconformidades no mesmo. Segundo o Deputado Federal Vanderlei Macris (PSDB-SP), através de um requerimento (requerimento de CPI número 01, 2007) ao Excelentíssimo Senhor Presidente da República Luís Inácio “Lula” da Silva, “A crise inclui, além dos aspectos ligados à segurança do tráfego aéreo, outros ligados à infraestrutura aeroportuária (...)”.



Figura 1 - O “Apagão Aéreo” congestionando saguão do Aeroporto de Congonhas/ SP.
Fonte: (Caos Aéreo, Apagão do Ar). Disponível em:
<<http://www.duplipensar.net/artigos/2007s1/caos-aereo-apagados-do-ar.html>>.

¹ Fonte: Boeing

² Fonte: Airbus

Acesso em: 03 set. 2010.

Com este evento, as autoridades brasileiras abriram uma CPI (Comissão Parlamentar de Inquérito), com o intuito de investigar com detalhes o sistema aeroviário brasileiro. Pela primeira vez na história do Brasil, um estudo amplamente detalhado sobre os problemas e necessidades do transporte aéreo, inclusive na área relacionada à navegação, comunicação, vigilância e gerenciamento de tráfego (*Communications, Navigation and Surveillance/ Air Traffic Management - CNS/ATM*) foi exposto em caráter ostensivo. Infelizmente as soluções para a extinção de todas as áreas críticas pesquisadas ainda estão longe de existir. Entretanto, fatores externos ligados à aviação, como a Copa do Mundo de Futebol de 2014 e as Olimpíadas de 2016, contribuíram para que o Governo Federal, através do Programa de Aceleração do Crescimento 2, PAC 2, disponibilizasse verba para a melhoria do sistema aéreo, focando em especial os aeroportos, em um curto período.

Enquanto a estrutura relacionada à aviação no Brasil não se adéqua à demanda existente e crescente, o país deve se ajustar conforme as ferramentas que são disponibilizadas. Para isso, cabe ao CGNA (Centro de Gerenciamento de Tráfego Aéreo) manter a continuidade do sistema, mesmo que os recursos sejam inferiores ao requerido, como aconteceu durante o “apagão aéreo”. Segundo Silveira (2008, p. 27): “(...) O CGNA desenvolveu papel crucial durante o colapso do sistema aéreo nacional, viabilizando o uso do espaço aéreo brasileiro e harmonizando a demanda de forma que a capacidade da infra estrutura aeronáutica não fosse superada”.

Prover o fluxo contínuo de aeronaves em um país emergente como o Brasil, aonde a aviação cresce cerca de três vezes mais que o produto interno bruto (PIB) anual (informação verbal)³, sem possuir ferramentas que sejam pró-ativas ao colapso, torna o trabalho de pilotos e controladores muito mais difícil. A região de Porto Alegre, juntamente com o resto do Brasil, vem comportando cada vez mais aeronaves em seu espaço aéreo e em seus aeroportos. Harmonizar a capacidade *versus* a demanda deste setor tem sido uma tarefa cada vez mais difícil, sendo a tecnologia cada vez mais integrada com o ser humano para auxiliar a prestação de serviço de tráfego aéreo. Regiões de maior densidade de aeronaves, como as áreas do Rio de Janeiro e São Paulo, já possuem sistemas tecnológicos avançados, em fase de teste ou em completa operação, os quais agilizam as operações e minimizam a carga de trabalho do pessoal empregado na missão de prover o fluxo contínuo e ordenado das aeronaves.

³ Dado fornecido pelo Dr. Renato Covelo, diretor Jurídico da Azul Linhas Aéreas Brasileiras em palestra na PUCRS em ago. 2010.

A região de Porto Alegre vem apresentando ano após ano um crescente aumento do fluxo de passageiros. Segundo Silveira (2008), o terminal do Aeroporto Salgado Filho registrou em 2007 um movimento de 4.444.748 de passageiros, sendo que a capacidade do saguão primário (TPS 1) era de 4 milhões de usuários. Dados daquele ano nos mostram que o aquecimento segue uma linha crescente, a qual começou há mais de dez anos. Segundo a INFRAERO, o terminal de passageiros número 2 (TPS 2) do aeroporto da capital gaúcha será reaberto para a aviação comercial regular no final de 2010, a fim de aumentar a capacidade do aeródromo. Com mais aeronaves no mesmo espaço aéreo, a tecnologia embarcada nas aeronaves e em estações de terra deve cada vez mais se aprimorar, realizando tarefas que até então o ser humano julgava realizar com rapidez e eficiência. Mostrar dispositivos que ajudam a eficiência operacional e a segurança em áreas próximas a um(s) grande aeroporto(s), no que se refere à comunicação, navegação e vigilância (CNS), assim como propor ferramentas com base em tecnologia digital na região de Porto Alegre, mostrando os benefícios de suas utilizações por parte de pilotos e controladores são os focos deste trabalho acadêmico.

Inicialmente será explanado como funciona o sistema de tráfego aéreo no Brasil, bem como irá se relacionar os órgãos de controle com suas respectivas áreas de jurisdição. A seguir, um capítulo inicial define o sistema de tráfego aéreo, sendo em seguida a descrição da área da região Terminal de Porto Alegre, com informações peculiares de tal espaço. Em capítulos subsequentes, o conceito de um sistema que emprega tecnologia digital (CNS/ATM) será mencionado, para que, como parte principal deste trabalho, haja uma conectividade destas ferramentas mostradas com a região Terminal Porto Alegre. Por fim, o capítulo 5 irá abordar uma conclusão justificando a importância do emprego da tecnologia digital na aviação em áreas de aproximação e pouso, sem ao entanto considerar aumento de pessoal efetivo será exposta.

2 O CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO E SEUS SERVIÇOS

2.1 O ATS E A ÁREA DE JURISDIÇÃO DE CADA ÓRGÃO ATC

A indústria aeronáutica se caracteriza principalmente pela velocidade na qual são implantadas novas tecnologias que visam melhorar qualquer setor relativo a este meio. Após a Segunda Guerra Mundial, principalmente, houve um aumento extremamente significativo na oferta e na demanda de serviços aéreos. Com tal crescimento, as companhias aéreas começaram a usufruir de um sistema que até então raramente era utilizado. O Serviço de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Services* - ATS) surgiu com a pretensão de auxiliar na segurança e garantir a eficiência operacional de todos os provedores de serviços aéreos (ICAO, 2001). Com o passar do tempo, o objetivo deste praticamente não se alterou, sendo padronizado em praticamente todas as regiões do globo terrestre por meio da ICAO (*International Civil Aviation Organization*). Criada a partir da Convenção de Chicago em 1944, esta organização ramificou suas obrigações perante a normatização técnica relativa à aviação civil internacional em inicialmente seis anexos; Aeródromos, Comunicações, Regras do Ar, Serviços de Tráfego Aéreo, Meteorologia e Facilitação. Com o passar dos tempos, novas frentes relacionadas às operações aéreas começaram a necessitar de padronização, sendo compulsória a criação de mais anexos. Atualmente a ICAO conta com dezoito seções deste tipo, sendo relativo aos Serviços de Tráfego Aéreo o de número ONZE (ICAO, 2001).

Os serviços de Controle de Tráfego Aéreo (ATC), de Informação (FIS) e de Alerta (ALRS) constituem as frentes do ATS. Ao primeiro, dá-se, neste trabalho acadêmico, a maior importância. Divido em Controle de Área, de Aproximação, e de Aeródromo, temos, conforme o que a ICAO (2001) publica em seu Anexo 11 “*Air Traffic Services*” as seguintes definições, respectivamente:

a) Area control service: the provision of air traffic control service for controlled flights, [...]

b) Approach control service: the provision of air traffic control service for those parts of controlled flights associated with arrival or departure, [...]

c) Aerodrome control service: the provision of air traffic control service for aerodrome traffic, [...](ICAO, Anexo 11, p.20, tradução nossa).⁴

⁴ a) Serviço de Controle de Área: provê serviço de controle de tráfego aéreo para voos controlados.

b) Serviço de Controle de Aproximação: provê serviço de controle de tráfego para os voos controlados associados com operações de chegada ou saída.

c) Serviço de Controle de Aeródromo: provê serviço de controle de tráfego para os tráfegos de aeródromos.

Divisões do serviço de Controle de Tráfego Aéreo são necessárias devido à complexidade que este sistema envolve. Durante a fase de aproximação de uma aeronave, por exemplo, não são necessárias certas informações que alguns aviões nivelados em altitude desejam e necessitam receber. Normalmente, para prover o Serviço de Controle de Área, uma unidade denominada de Centro de Controle de Área (ACC) disponibiliza o serviço para as aeronaves envolvidas em sua jurisdição. O Serviço de Controle de Aproximação, de forma semelhante ao ACC, disponibiliza para voos em sua fase inicial ou final uma unidade denominada de Controle de Aproximação (APP), enquanto que o Serviço de Controle de Aeródromo, destinado aos aviões localizados em um raio muito próximo de um aeródromo, possui a Torre de Controle de Aeródromo (TWR) como unidade controladora. Abaixo, o Quadro 1 exemplifica o que foi exposto:

Serviço de Tráfego Aéreo	Unidade Controladora	Área de Atuação
Controle de Área	ACC	Áreas de Jurisdição+ AWY'S
Controle de Aproximação	APP	Fase inicial ou final de voo
Controle de Aeródromo	TWR	Próximo (ou no) aeródromo

Quadro 1 - Relação de um ATS com o ATC
Fonte: DECEA, ICA 100-12 (2006, p. 73)

De acordo com Rebello (1998, p. 3): “O trabalho de controle de tráfego aéreo é um eixo fundamental em termos de segurança de vôo, pois é através dele que as aeronaves recebem instruções para a realização de um vôo seguro”.

A Aviação comercial utiliza em quase sua totalidade a regra de voo por instrumentos (IFR). Assim, tem-se o tipo de navegação mais gerenciado pelos órgãos ATS. Entretanto, o voo visual, em alguns espaços, recebe serviços de ATC com quase ou total integralidade em que os voos IFR são providos. Internacionalmente, visando uma melhor organização e atribuições de prioridades, o espaço aéreo ATS é dividido em sete classes. Nestas, áreas designadas por um ACC e áreas de um APP são divididas de “A” à “G”. Com isso, fica definido aonde pode-se obter o controle e separação total, parcial, ou ainda, nenhum, de aeronaves voando sob regras IFR e VFR, principalmente.

CLASSE	ATC CONTROLA	ATC SEPARA
A	Somente aeronaves IFR	Somente aeronaves IFR
B	Aeronaves IFR e VFR	Aeronaves IFR e VFR
C	Aeronaves IFR e VFR	Aeronaves IFR com IFR e IFR com VFR
D	Aeronaves IFR e VFR	Somente aeronaves IFR com IFR
E	Aeronaves IFR e VFR	Somente aeronaves IFR com IFR
F	Aeronaves IFR e VFR	Assessoramento de ATC para IFR
G	Aeronaves IFR e VFR	—————

Quadro 2 - Classificação dos Espaços Aéreos
 Fonte: ICAO, Annex 11 (2001, p. 21)

O Quadro 2 mostra uma das inúmeras vantagens de se voar de acordo com a regra de voo por instrumentos. Em termos de controle de tráfego aéreo, voar IFR significa possuir o controle e a separação entre todas as aeronaves existentes em quase todos os espaços aéreos, provendo assim a segurança necessária para as operações. Ilustrando o que foi dito, pode-se citar um exemplo de um voo com origem no Aeroporto Internacional Salgado Filho (Porto Alegre-RS) para o Aeroporto Internacional Afonso Pena (Curitiba-PR); em termos de ATS, a aeronave irá inicialmente contatar a unidade de aeródromo (TWR), até antes de sua decolagem. Após, chama-se o APP Porto Alegre, classificado pelo DECEA⁵ como Classe “C”, até instantes finais de uma fase inicial de voo. Então, contata-se o ACC Curitiba (Classe “A” acima do FL145), aonde voa-se em aerovia⁶ (espaço aéreo denominado de CTA, se for abaixo do FL245 inclusive, ou UTA, se for acima do FL245 exclusive) até contatar o APP Curitiba, classe “C”. Observa-se, com este exemplo que teoricamente a nossa aeronave em questão não passará por uma falta de controle e separação entre outras aeronaves em momento algum da rota planejada, atingindo os níveis de segurança e eficiência operacionais que são preconizado pela ICAO em seu anexo 11. Vismari (2007) ainda reforça a idéia de o voo em condições visuais não favoráveis ter como único auxílio à proteção o controle de tráfego aéreo, principalmente quando aquele ocorre em áreas de denso tráfego com visibilidade restrita durante as fases de pouso e decolagem dentro de qualquer área terminal (jurisdicionada por um APP).

⁵ Departamento do Controle do Espaço Aéreo (DECEA): organização do Estado brasileiro responsável pelo espaço aéreo nacional.

⁶ Aerovia: Corredor controlado por ACC por onde as aeronaves em rotas navegam.

2.2 ÁREA TERMINAL

O Brasil, por ser signatário à ICAO, cumpre todas as normas internacionais e métodos recomendados nos Anexos desta organização. Caso haja alguma incoerência ou impossibilidade de cumprimento ao que é preconizado por ela, nosso país, assim como qualquer outro, publica as chamadas Diferenças, aonde cabe a adequação do que é previsto internacionalmente para um determinado Estado. Sendo assim, os espaços físicos brasileiros possuem integralmente todos os serviços ATC que são propostos pelo Anexo 11 da ICAO. De acordo com o último censo realizado pelo IBGE o Brasil possui 8.514.876,599 km² (IBGE, 2000). Dentro deste espaço, concentram-se cinco regiões; Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, aonde se destacam, ao todo, trinta aeroportos civis pertencentes às capitais dos estados ou cidades próximas, mais o Distrito Federal. Com tamanha extensão territorial, fica inviável que o país possua apenas um órgão ATC para cada serviço prestado. Criar várias regiões para a atuação de um ACC, APP e TWR possibilita cumprir toda a segurança de uma operação, conforme o que o DECEA (2006) publica em sua ICA-100-12.

Ao ACC, o Brasil delega cinco divisões; Centro Curitiba, Brasília, Recife, Amazônico e Atlântico. Sob jurisdição destes, entre outros serviços que não se encaixam no presente propósito, existem as aerovias, caracterizadas por serem corredores aonde se provê o serviço ATS, normalmente por um Centro de Controle de Área, de acordo com a ICA 100-12 (DECEA, 2006). Estas vias aéreas começam e terminam em uma área próxima a um (ou mais) aeroporto(s), tendo por consequência a jurisdição de um APP nas suas extremidades. A partir destas, traçam-se raios até completar 360°, com comprimento que varia de região para região (com publicação de tamanho e altura em manuais oficiais e nas cartas ARC⁷), embora normalmente com cerca de 40 milhas náuticas (cerca de 74 quilômetros) em relação a um respectivo aeródromo. A este círculo (ou cilindro, por ser tridimensional) que surge, dá-se o nome de TERMINAL (TMA). A fim de prover um espaço aéreo para aumentar o grau de segurança entre as aproximações e saídas IFR de um ou mais aeroportos, as TMA contém as chamadas Zonas de Controle (CTR), com largura de até 15nm, sendo de dimensão igualmente variável e publicada nas ARC. Caso o procedimento de pouso ou decolagem dentro de uma área TMA seja sob regras de voo visuais, cabe a ATZ (*Aerodrome Terminal Zone*), controlada

⁷ ARC: *Area Route Chart*; carta aeronáutica aonde se obtêm informações relativas à região de uma Zona de Controle.

por uma Torre de Controle (TWR), a coordenação para procedimentos próximos a um aeródromo. Neste caso, sua dimensão é mostrada nas VAC⁸ (BASTOS; BAUM, 2007).

O Controle de Aproximação, de acordo com o DECEA:

têm a atribuição de emitir autorizações de tráfego às aeronaves que estiverem voando ou que se propuserem voar dentro de TMA ou CTR, com o objetivo de:

- a) manter as separações mínimas estabelecidas entre as aeronaves;
- b) disciplinar, acelerar e manter ordenado o fluxo de tráfego aéreo; e
- c) orientar e instruir as aeronaves na execução dos procedimentos de espera, chegada e saída, estabelecidos pelo DECEA (DECEA, ICA 100-12, p. 99).

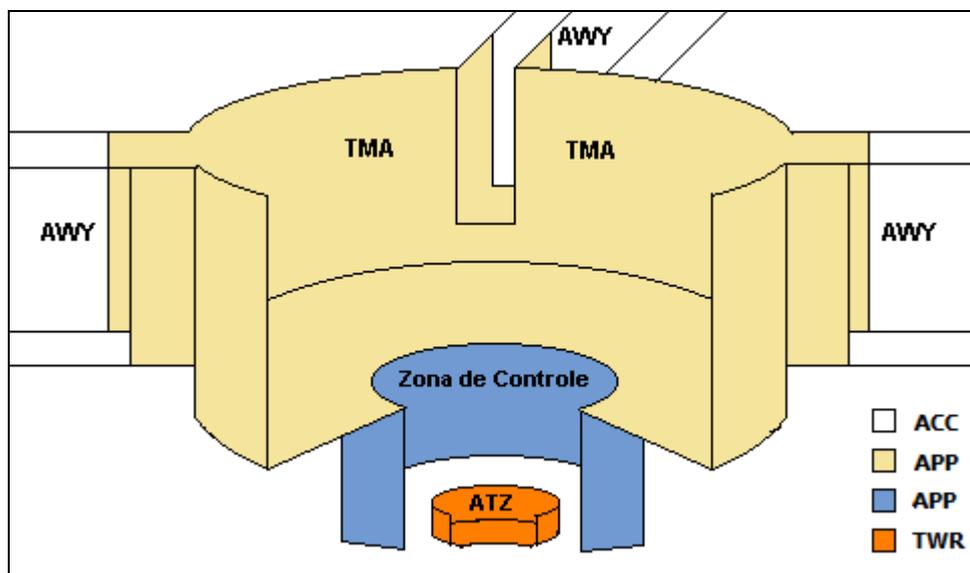


Figura 2 - Áreas de Jurisdição dos Órgãos ATS

Fonte: (Área de Jurisdição dos Órgãos ATS). Altura: 504 pixels. Largura: 300 pixels. 96 dpi. 18,9 Kb. Formato JPEG. Disponível em: <<http://html.rincondelvago.com/000202990.png>> Acesso em 17 ago. 2010.

O voo, em si, tende a ser mais crítico e trabalhoso durante as fases de aproximação e pouso. Por este fato, a maioria dos acidentes aeronáuticos ocorre nessas fases. Fatores de estresse mental e físico deterioram a consciência situacional de uma tripulação. As aproximações e o pós-decolagem exigem, por parte dos pilotos, além da preocupação com as rotinas operacionais a atenção às instruções que o Controle de Aproximação, APP, fornece a uma respectiva aeronave e as inúmeras outras que voam sob espaço normalmente jurisdicionado por este órgão (CTR e TMA). Prover o controle em uma área terminal exige muita concentração do controlador de tráfego aéreo, face a existência, em determinados horários, de um grande número de aeronaves em um raio relativamente pequeno considerando

⁸ VAC: *Visual Approach Chart*; carta aeronáutica utilizada para aproximações visuais, contendo informações sobre circuito de tráfego de determinado aeródromo.

a dimensão do espaço. Prover o serviço de separação e controle (face a maioria das TMA no Brasil serem classe D e C) de aeronaves comerciais que estão para decolar, pousar, ou simplesmente cruzar o espaço aéreo exigem o auxílio de tecnologias, conforme mencionam Oliveira e Alves (2008, p. 3):

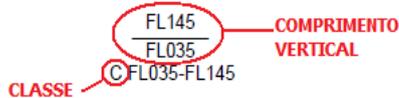
O nível de automação de um órgão de controle também interfere de maneira direta nas tarefas dos Controladores. Muitas tarefas são feitas automaticamente por meio de software como a transferência entre setores, correlação entre as etiquetas e os planos de vôo e outros. Estas características diminuem a carga de trabalho do Controlador e aumentam a capacidade de um setor.

Ainda, segundo Vismari (2007, p 26): “Os ATC são os indivíduos que compartilham com os pilotos a responsabilidade pela condição das aeronaves, de modo a garantir a segurança e a fluidez dos voos executados em regiões do espaço aéreo controlado”.

Novas ferramentas que visam à melhoria na tecnologia em uma área terminal estão surgindo rapidamente. O conceito do sistema CNS/ATM, através do uso de dispositivos predominantemente satelares, tende a trazer grandes benefícios aos controladores, pilotos e empresas, provendo maior capacidade, agilidade e segurança necessárias para o setor de transporte mais eficiente e eficaz no planeta.

2.2.1 A Terminal Porto Alegre

De forma particular, a Terminal Porto Alegre possui diferenças em relação à sua expansão comparando-a com grande parte das outras áreas TMA brasileiras. A fim de prover serviço de controle e separação às aeronaves que possuem como destino ou partida o Aeroporto Campo dos Bugres, em Caxias do Sul, a área de jurisdição do APP Porto Alegre foi redimensionada de modo que esta localidade se enquadre dentro dos limites jurisdicionados ao Controle de Aproximação Porto Alegre. Assim sendo, de acordo com a AIP Brasil (2010), o Quadro 3 nos mostra a seguinte definição:

<p>16) ÁREA TERMINAL PORTO ALEGRE</p> <p>Arcos de Círculos com centro em 29 59.76S/051 09.91W (VOR/DME POR) e raio de 40NM e 60 NM, limitados pelo segmento de reta unindo os pontos de coordenadas 29 26.76S/051 36.00W e 29 00.95S/051 19.33W e pelo segmento de reta unindo os pontos de coordenadas 29 37.56S/050 31.62W e 29 07.01S/ 050 36.56W.</p> 	APP PORTO ALEGRE	Controle Palegre PT-EN H24
--	---------------------	----------------------------------

Quadro 3 - Dimensões e Classificação da área Terminal Porto Alegre
Fonte: AIP Brasil (COMAER, 2010)

A Figura 3, a partir do que tem-se definido na *Aeronautical Information Publication* Brasil, expõe a TMA Porto Alegre da seguinte forma:



Figura 3 - Dimensão TMA Porto Alegre em Carta de Rota DECEA

Fonte: O autor (2010). Altura: 419 pixels. Largura: 378 pixels. 96 dpi. 59,3 Kb. Formato JPEG

Com comprimento vertical entre os níveis de voo 035 e 145, calculando o volume destes dois semi-cilindros existentes (tendo como base a fórmula: $\pi r^2 \cdot h$), tem-se um volume

aproximado de 67 mil km³ destinado às aeronaves sujeitas aos controladores de tráfego aéreo do APP de jurisdição. Dentro deste limite, a fim de se evitar, por exemplo, CFIT's⁹ e entradas em espaços aéreos condicionados¹⁰ (acima do FL035), é necessária a limitação de rota de aeronaves que voam sob condições IFR. Prover o controle de aviões que voam sobre aerovias, rotas de saídas (SID- *Standart Instrument Departure*) e rotas de chegadas (STAR- *Standart Terminal Arrival*), determinam a segurança necessária que os pilotos e controladores de tráfego aéreo necessitam para prover o serviço de controle e separação previsto. Até a data em que a pesquisa para a realização deste trabalho foi feita, 08 de novembro de 2010, o APP Porto Alegre vinha utilizando apenas comunicação em VHF (frequência 120,10 mhz) para prover as informações e ordens necessárias às aeronaves que voam sob seu espaço. A utilização de sistemas com base em satélites em uma Área Terminal tem como princípio reduzir o tempo das operações e prover uma margem com segurança e eficiência maiores do que as dos sistemas de comunicação e de navegação mais comuns, como NDB's e VOR's. Atualmente a TMA Porto Alegre vem-se adequando à tendência mundial de utilização de procedimentos que tem a origem no sistema GNSS, derivante do conceito de navegação do conceito CNS/ATM. Os aeródromos de Caxias do Sul e de Porto Alegre (Salgado Filho), já contam em suas publicações de cartas aeronáuticas, emitidas pelo DECEA, aproximações do tipo RNAV, provendo uma melhor eficiência no voo conforme será detalhado no capítulo 4 deste trabalho.

A Área Terminal de Porto Alegre atualmente conta com cerca de quatro controladores no APP trabalhando simultaneamente nos turnos da manhã e da tarde, e dois controladores durante noite e madrugada. Com exceção do turno anterior ao nascer do sol, entre meia noite e seis horas da manhã, aonde o fluxo de aeronaves é menor, por período operam mais de 40 voos que possuem o aeroporto Salgado Filho como destino/partida, enquanto que apenas três voos diários operam no aeródromo de Caxias do Sul. O Número "N"¹¹ na TMA Porto Alegre foi estipulado em dez aeronaves por controlador quando em Vigilância (APP apenas observa, com navegação por meios próprios do aeromóvel), seis aeronaves quando estas estão sob vetorização, e seis aviões quando o APP opera sem radar (informação verbal)¹². De acordo com dados obtidos por meio de site da INFRAERO, obtêm-se no Gráfico 2 os números de

⁹ CFIT: colisão de um aeromóvel que apresenta perfeitas condições de voo com o terreno por desorientação por parte da tripulação.

¹⁰ Espaços Aéreos Condicionados: Porção aérea que pode possuir acesso de aeronaves em condição restrita, proibida ou perigosa, sendo publicadas em AIP.

¹¹ Número (fator) "N": número de aeronaves que cada controlador pode assumir.

¹² Dados fornecidos por Giovani Cattelan, Controlador e Supervisor do APP Porto Alegre, 03 set. 2010.

operações de pouso e decolagem no Aeroporto Internacional Salgado Filho no dia 04 de novembro de 2010:

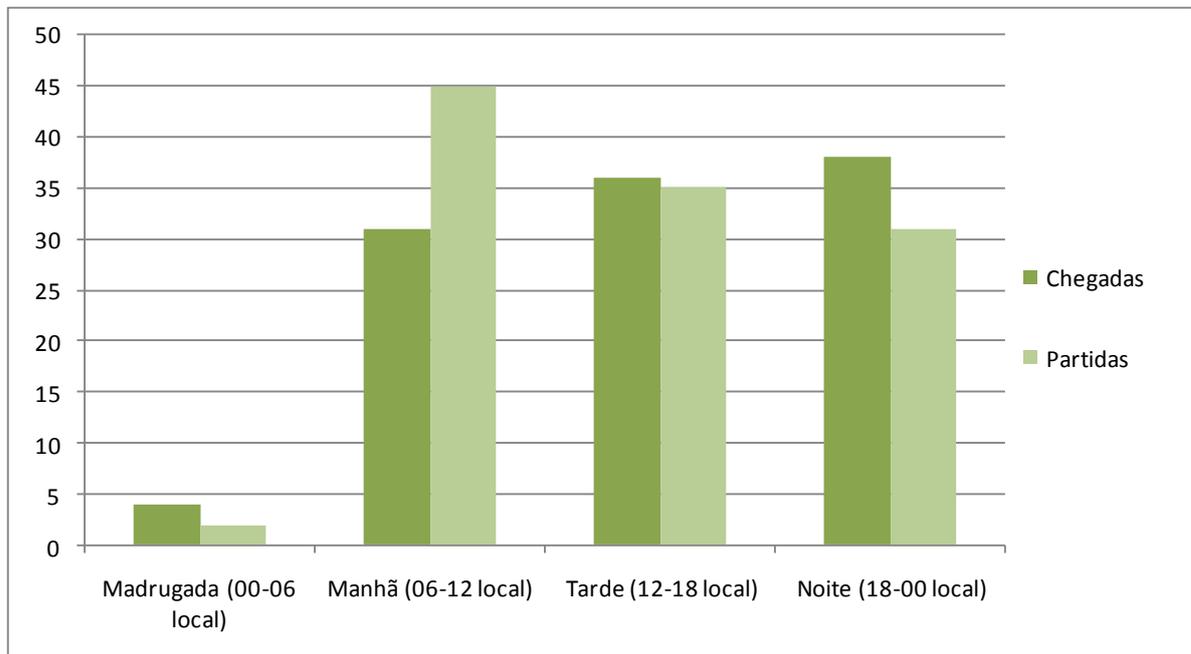


Gráfico 2 - Pousos e decolagens em SBPA no dia 04/11/2010
Fonte: INFRAERO (2010)

Tomando como verdade a situação mostrada acima em relação à maioria das operações diárias durante todo um ano, pode-se dizer que poucos controladores, em horários de pico, chegam a ser responsáveis por até 71 operações relativas somente à aeronaves pertencentes ao transporte aéreo regular, o que pode tornar a situação precária e propícia a desenvolvimento de doenças como o stress e a hipertensão. A segurança de voo, não menos importante, pode-se tornar um alvo com consequências incalculáveis da grande carga de trabalho que tais controladores estão expostos a sofrer diariamente.

Com o crescente aumento observado no fluxo de aeronaves na região desta área Terminal, as operações envolvendo principalmente aeronaves de pequeno porte em instrução foram prejudicadas. Durante os horários de alta densidade de aeronaves que possuem como destino ou partida o Aeroporto Internacional Salgado Filho, segundo o NOTAM¹³ (E1753/2010), a operação de aeronaves de instrução ficou restrita como exposto:

¹³ NOTAM: Documento aonde constam informações referente às operações de voo, informando restrições, cancelamentos ou modificações de qualquer estrutura aeronáutica, como facilidades ou sistemas relativos à comunicação, navegação, vigilância ou gerenciamento de tráfego aéreo.

UL 15/16 2012/0100 JUL 16 TIL JAN 13 MON/TUE TIL FRI/SAT 0100/0400
0900/1700 2000/0100 SAT 1200/1400 SUN 1200/1530 1930/2330 AD - PRB
VOO LOCAL NO CIRCUITO DE TFC, TREINAMENTO DE PROC IFR, DE
TGL OU DEMAIS TIPOS DE TREINAMENTO QUE INTERFERAM NO MOV
DO AD. OPS DENTRO DO HORARIO DA PROIBICAO PODERAO SER
REALIZADAS MEDIANTE COOR PREVIA COM O CGNA (TEL 21 2101-6390
EMAIL:GR2@CGNA.GOV.BR). A COOR DEVERA SER REALIZADA COM 24
HORAS DE ANTECEDENCIA REF: AIP-BRASIL AD 2.20). (DECEA, 2010).

A inibição de aeronaves que visam o treinamento em horários de pico ajuda a facilitar o controle e a separação de aeronaves do transporte aéreo regular. Pela tomada desta medida, fica clara a identificação de situação de alta demanda na área Terminal Porto Alegre. Esta medida reativa terá efeito apenas no começo. A previsão nacional é o de aumento gradual da frota de aeronaves por parte das companhias aéreas, sendo que com o passar do tempo, a tendência de o grande problema na TMA Porto Alegre ser o fluxo entre as próprias aeronaves de transporte regular, e não mais destas com aeronaves de pequeno porte. Ao invés de restringir o fluxo de aviões, é necessária a implantação de ferramentas que aumentem a capacidade do espaço aéreo. Com isso, dentre outras ações, pode-se estudar aumentar a capacidade do número “N” de cada controlador, sem, no entanto, prover o seu stress e a sua alta carga de trabalho que tal tipo de decisão costuma provocar. A tecnologia instalada deve acompanhar o desenvolvimento do transporte aéreo, cabendo aos órgãos prestadores de serviço de gerenciamento de tráfego aéreo e controle a adequação de ferramentas com o propósito proposto.

Este trabalho tem como objetivo mostrar a importância à adequação da TMA Porto Alegre aos sistemas que integram o conceito CNS/ATM. Meios de prover a comunicação, navegação e a vigilância com base em sistemas via satélites, e eventualmente comunicação em VHF e HF, fazem do gerenciamento do tráfego aéreo um elo mais eficiente e seguro do que era a poucos anos atrás (GALOTTI, 1997).

3 O SISTEMA CNS/ATM

O constante aumento do tráfego aéreo mundial requer o desenvolvimento de mecanismos que auxiliam a otimização do espaço aéreo a fim de possibilitar o aumento de sua capacidade, oportunizando um fluxo denso, contínuo e ordenado de aeronaves em todos os continentes. De forma semelhante ao panorama mundial, o Brasil, segundo a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), registrou um aumento de 73,66% na frota de aeronaves do transporte aéreo público regular em treze anos (1996 à 2009), passando para um total de 519 aviões homologados nesta categoria.

Preocupada com a situação do espaço aéreo em relação à quantidade de aeronaves que estatisticamente ocupariam os céus do planeta, a ICAO (*International Civil Aviation Organization*)¹⁴ questionou em 1983 a precariedade dos sistemas e procedimentos ligados à aviação e criou um Comitê especial de Sistemas de Navegação Aérea do Futuro (*FANS Committe*), aonde ficou determinada a criação e implantação de auxílios mais modernos e precisos, com base em satélites, que ajudariam o Gerenciamento do Tráfego Aéreo (*Air Traffic Management - ATM*) em uma escala global. Mais tarde, este sistema, ainda chamado de FANS, tornou-se o que hoje é conhecido como *CNS/ATM Systems*, com o conceito de uso de tecnologia digital e automatizada nas áreas de Comunicação, Navegação e Vigilância/Gestão de Tráfego Aéreo, com o objetivo de manter a segurança operacional em índices elevados. (GALOTTI, 1997).

O Sistema CNS/ATM, já em utilização em várias partes do mundo, inclusive em regiões brasileiras, torna muito mais precisa a navegação em relação aos sistemas de voo antigamente usados, como o Doppler ou Loran. Na essência a utilização de uma constelação de satélites (*Global Navigation Satellites System - GNSS*) permite que, de acordo com Siqueira (2005), os sistemas embarcados em uma aeronave definam uma posição com um erro lateral máximo de até 3,4 quilômetros quando em navegação de rota e de um limite de 740 metros quando voando em área terminal. Em fases de aproximação, ainda segundo Siqueira, este desvio chega a ser de apenas 16 metros, podendo ser reduzido, com o avanço da tecnologia dos aviônicos, já possível nos dias de hoje, para apenas poucos centímetros. A esta precisão na determinação de posição presente durante navegação, dá-se o nome de

¹⁴ Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO), criada em 7 de Dezembro de 1944 em Chicago, Estados Unidos. Possui a sua sede em Montreal, Canadá. Sua missão é desenvolver a aviação mundial, no âmbito do transporte aéreo, com práticas seguras e ordenadas. É uma agência especializada das Nações Unidas (UN).

Performance Requerida (*Required Navigation Performance - RNP*), aonde a aeronave deve cumprir requisitos de precisão preconizados pela ICAO em determinada região em 95% do tempo de voo. Com tal desempenho de precisão, pode-se viabilizar o uso de rotas diretas e com maior densidade de tráfego entre uma cidade e outra, eliminando a necessidade de voar-se entre fixos (VOR ou NDB), priorizando a segurança, rapidez e economia no processo (rotas RNAV). A esta precisão, o sistema GNSS ainda tem que se aliar a garantias de integridade, disponibilidade e continuidade (ICAO, 2000). A Figura 4 nos mostra uma idéia do significado do conceito de navegação RNP:

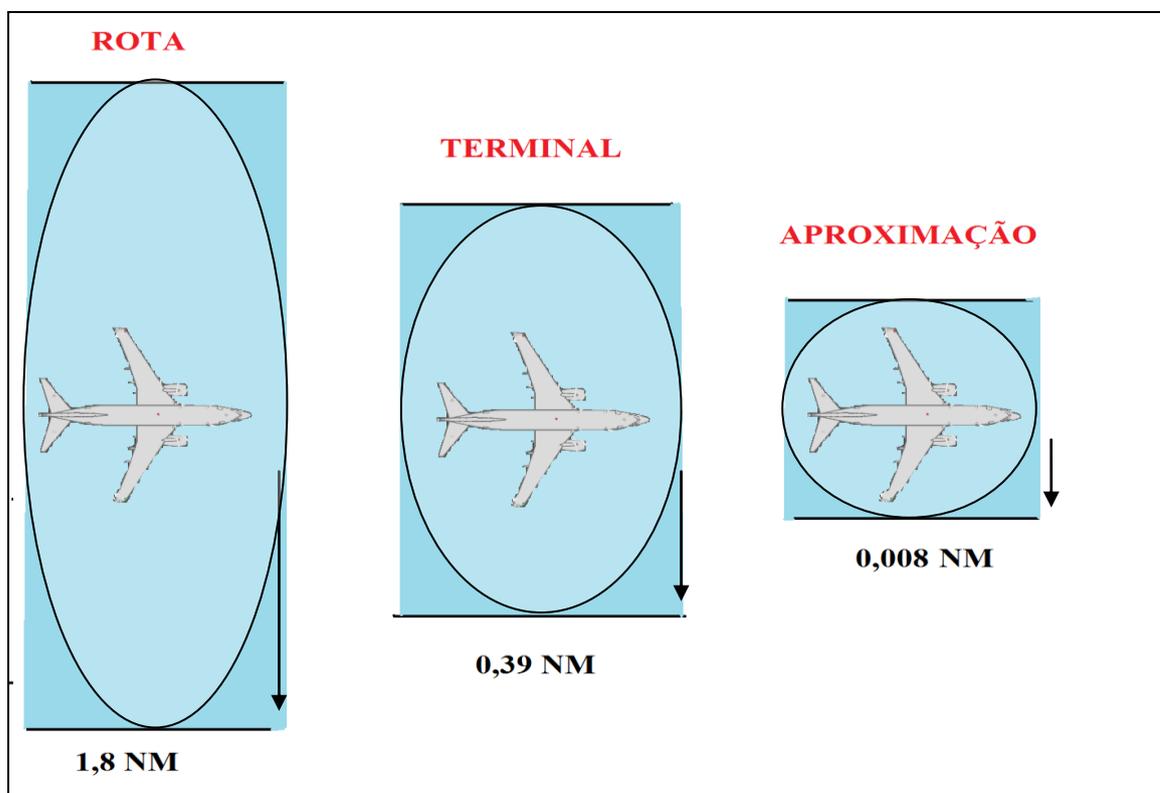


Figura 4 - Ilustração de desvio máximo de Performance de Navegação Requerida durante um voo
Fonte: SIQUEIRA, Cristiani de Araújo (2005)

Entretanto, como o próprio nome já diz, o Sistema CNS/ATM não diz respeito a apenas mecanismos que visam à Navegação Aérea. A este conceito, primordialmente apoiado por satélites, deve-se adicionar outras frentes de auxílios, como sistemas de Comunicação e Vigilância com base predominantemente digital. Usufruindo-se de aparelhos que visam à melhoria da qualidade, da segurança e da repetição da comunicação entre aeronave/controlador, independente da local, dia ou estação do ano, o sistema de gerenciamento de tráfego aéreo torna-se mais seguro e ágil, sendo capaz de comportar mais

aeronaves em um mesmo espaço aéreo, como a área Terminal, sendo a densidade de aviões restrita, na maioria das vezes, apenas pelo número “N”. Ferramentas como o ACARS, com fornecimento de dados através de enlaces em formatação digital mais avançada (*Datalink*), aliadas com o moderno sistema de vigilância ADS, explana as frentes do CNS/ATM. A seguir será mostrada, em diferentes capítulos, cada uma das frentes do Sistema, sendo após cada explanação, abordada a sua aplicação deste dentro da Área TMA Porto Alegre, avaliando os benefícios que tais conceitos podem trazer, bem como questionando a viabilidade econômica face à demanda sofrida por tal espaço aéreo.

4 FERRAMENTAS CNS/ATM COM APLICAÇÃO NA TMA PORTO ALEGRE

O sistema CNS/ATM ainda encontra-se em fase de implementação em todo o planeta. O Brasil, através de seu Programa de Implementação ATM Nacional (2009), busca atender às adequações previstas com a entrada de sistemas com tecnologia basicamente digital. Entretanto, grande parte do país, inclusive a área Terminal de Porto Alegre, ainda encontra-se com sistemas de comunicação, navegação e vigilância relativamente antigos, sobrecarregando o gerenciamento de tráfego aéreo, recaindo a responsabilidade aos controladores de voo. A seguir, através de divisão em várias seções, mostrar-se-á o objetivo de cada componente do CNS/ATM, explanando eventualmente o funcionamento de ferramentas atualmente utilizadas na TMA Porto Alegre. Da mesma forma, explanar-se-á mecanismos com tecnologia tendo base em satélites que possam vir a substituir os sistemas então empregados, beneficiando assim a segurança e a agilidade operacional que envolve as operações de saídas e chegadas de aeronaves, como é o caso da área Terminal de estudo.

4.1 COMUNICAÇÃO

A Comunicação Aeronáutica pode ser considerada a parte vital dos serviços ATS, por possuir a maior significância neste serviço fornecido. O objetivo visa fornecer todos os auxílios de telecomunicações necessários para prover uma estabilidade e/ou melhoria da regularidade e eficiência operacional de navegação aérea (GALOTTI, 1997). Com a implementação do Sistema CNS/ATM, tem-se a tendência de priorizar a comunicação com base em tecnologia via satélites, substituindo, em parte, os sistemas em uso embarcados atualmente, sendo eventualmente a transmissão em VHF ou HF utilizada. Em Área Terminal, esta nova tecnologia pode ajudar muito a redução de carga de trabalho por parte de controladores e pilotos, sendo, no entanto necessário estudar a demanda a qual determinada região propicia.

4.1.1 A comunicação em área terminal

Atualmente, na Terminal Porto Alegre e na grande totalidade das áreas controladas, utiliza-se basicamente a comunicação por voz com base em, exclusivamente, frequências VHF, tanto para a obtenção de informações em área terminal, quanto para prover o controle de tráfego aéreo. Mundialmente, esta transmissão de voz, com base em frequências muito altas, vem atendendo às expectativas previstas para tal função. A substituição por transmissão de informação digital na forma codificada dentro de áreas terminais poderá e está prevista para ocorrer, entretanto, a comunicação por voz em transmissão VHF ainda será essencial em situações aonde é necessária uma rápida decisão por parte de um controlador ou quando a carga de trabalho do mesmo torna-se muito além do que é previsto, sendo a voz uma ferramenta muito mais rápida e eficaz que qualquer outra modalidade, mais eficiente inclusive em relação ao envio de dados por forma digital¹⁵.

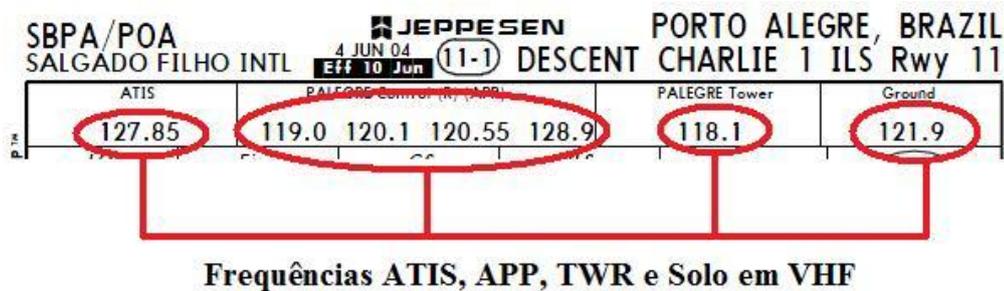


Figura 5 - Frequências VHF na TMA Porto Alegre mostrada sobre carta de procedimento Jeppesen
Fonte: O autor (2010)

Já prevendo possíveis congestionamentos e/ou falhas durante as comunicações entre controladores e aeronaves dentro da área TMA Porto Alegre, de acordo com o mostrado na Figura 5, quatro frequências em VHF diferentes relacionadas ao APP são expostas nas cartas de aproximação e saída dos aeródromos controlados dentro da região de estudo. Embora aparentemente a comunicação nesta Terminal não seja problemática, tendo poucos casos de falhas e interferências, prover meios de comunicação ainda mais seguros e confiáveis são os objetivos de todos que desejam possuir o menor índice possível de incidentes e/ou acidentes.

¹⁵ ICAO, 1988c, citado por GALOTTI, 1997.

A utilização da comunicação em VHF é utilizada mundialmente face a grande confiança e disponibilidade de canais de comunicação disponíveis. Conforme vem sendo estipulado, a saturação do tráfego aéreo, inclusive na região sul do Brasil, poderá causar congestionamento nas tentativas de comunicação entre ar-terra-ar, aumentando consideravelmente a carga de trabalho dos profissionais ligados ao meio aeronáutico, podendo na pior das hipóteses, colocar em risco uma operação. Em âmbito global, a utilização de frequências VHF é limitada devido as suas características de propagação, sendo a cobertura global impossível quando se pensa usar como referência apenas esta ferramenta. A utilização de sistemas interligados digitalmente por satélites possibilita um maior raio de propagação de informações, provendo uma confiança ainda maior da existente atualmente (GALOTTI, 1997).

Para o envio e recebimento de mensagens em formatação digital melhorada, interfaces embarcadas principalmente nas aeronaves, terão que ser instaladas. A eliminação da utilização de VHF, principalmente em área Terminal, não deixará de existir, entretanto esta servirá como auxílio a meios mais fáceis e discretos de comunicação, navegação e vigilância os quais tendem a prevalecer no futuro. A estes envios e recebimentos de dados em formatação mais segura, confiável e moderna, dá-se o nome de *Datalink*. A seguir, ferramentas de grande importância para manter o fluxo contínuo e ordenado na TMA Porto Alegre serão sugeridas e explicadas.

4.1.2 Ferramentas de comunicação

A Comunicação é a responsável por envio e recebimento de informações provenientes em qualquer parte do planeta. Com ela é possível na aviação, por exemplo, garantir a prevalência de consciência situacional sobre o andamento das operações aéreas por parte de pilotos e controladores de voo. Felizmente a globalização e o aumento da tecnologia possibilitaram o desenvolvimento de ferramentas facilitadoras de geração e transmissão de informações. A seguir cita-se o principal avanço relacionado ao Sistema CNS/ATM relativo à comunicação. Embora enquadrado nesta categoria, observaremos que qualquer dispositivo que se relaciona com o envio e recebimento de mensagens pode ser utilizado para inúmeras funções, tais como manter a vigilância (*Surveillance*) do fluxo de tráfego de aeronaves em um espaço aéreo específico ou prover o controle, em solo ou em ar, de aviões ou veículos

equipados com os sistemas necessários para se obter tais informações. A comunicação, por ser ampla, possibilita ao usuário usufruir dados de acordo com a necessidade atual, conforme visto a seguir.

4.1.2.1 Controller-Pilot Datalink Communications - CPDLC

A comunicação com base no Sistema CNS/ATM possui como parte integrante a Rede de Comunicações Aeronáuticas (*Aeronautical Telecommunications Network*), ATN. Constituída com o intuito de fornecer o enlace de dados entre aeronaves e estações de solo (*Ground Earth Station*), esta rede, é capaz de fornecer informações para qualquer endereço, em qualquer período e de qualquer lugar, exceto em regiões polares, seja para um órgão ATC, seja a uma aeronave que esteja em circunstâncias quaisquer. Com o aumento do tráfego aéreo, ferramentas que visam um melhor gerenciamento (ATM) são primordiais para obter-se um resultado produtivo esperado. Para total funcionamento deste auxílio, no entanto, é necessário um aumento na infraestrutura tanto embarcada como no solo, com o intuito de prover grande volume e agilidade de transferência de dados entre sistema de computadores. Podendo ou não utilizar o recurso integral de satélites, a transmissão de informações ATN pode ainda ser realizada por transferência de dados digitais¹⁶ em VHF ou em Radar de Vigilância Secundário modo S (conceito ADS, explanado no capítulo 4.3.2), constituindo o que é chamado de *Datalink*. Como resultado, tem-se maiores recursos, propiciando uma maior clareza e eficiência nas comunicações, a redução de carga de trabalho, e a vantagem de se comunicar com apenas 2 usuários (estação de solo e uma aeronave, por exemplo) em mensagens pré-formatadas (*ATN COMPREHENSIVE MANUAL*, 1999).

Como base de seu funcionamento, tem-se dois computadores, um conectado a uma estação de solo (GES) em um órgão ATC (através de um roteador solo/ar) e outro ao sistema de aviônica de uma aeronave (podendo o FMS¹⁷ ser uma interface) com uso exclusivo para envio e recebimento de informações aeronáuticas. Uma rede de quatro satélites geoestacionários são utilizados como meio de entrega de informações aos usuários

¹⁶ Transferência de dados digitais: Envio e recebimento de mensagens podendo ser, por exemplo, em VHF, em mensagens pré formatadas determinada através de uma plataforma americana denominada ARINC. O Sistema CNS/ATM utiliza ARINC que possibilita a codificação de mensagens mais seguras e eficientes até o usuário.

¹⁷ FMS: é o sistema de gerenciamento de voo da aeronave, responsável por obter e disponibilizar parâmetros do andamento de um voo

aeromóveis através de frequências em plataforma digital pré determinadas de 1620Mhz para recepção e 1530Mhz para transmissão. Às estações de solo, cabe a interpretação e distribuição das informações recebidas (no caso de informação enviada em TMA, ao APP). Caso necessário e desejável pode-se transferir dados para outros usuários do meio aéreo que desejam receber informações (tais como uma empresa aérea ou um serviço de imprensa) através de roteadores instalados nas estações de terra, suprindo assim a quem necessita de dados. Com este meio de comunicação direta e digital, tem-se o conceito de Enlace de Comunicação entre Controlador-Piloto (*Controller-Pilot Data Link Communications-CPDLC*), sendo este sistema capaz de realizar contato inicial com um órgão ATC qualquer, gerenciar as comunicações previstas, obter autorizações, além de realizar inspeções de transmissão de dados, conforme preconiza o FANS em seu Manual ATN (*Comprehensive ATN Manual, 1999*). Caso a transmissão de dados seja exclusivamente por voz, pode-se comunicar-se com o destinatário por meio de VHF, entretanto, com o novo conceito CNS/ATM, o enlace dos dados enviados segue uma formatação diferente da usual, por meio de uma estipulação mais recente e moderna de ARINC. A Figura 6 visa dar uma visão geral da estrutura e de um outro conceito:

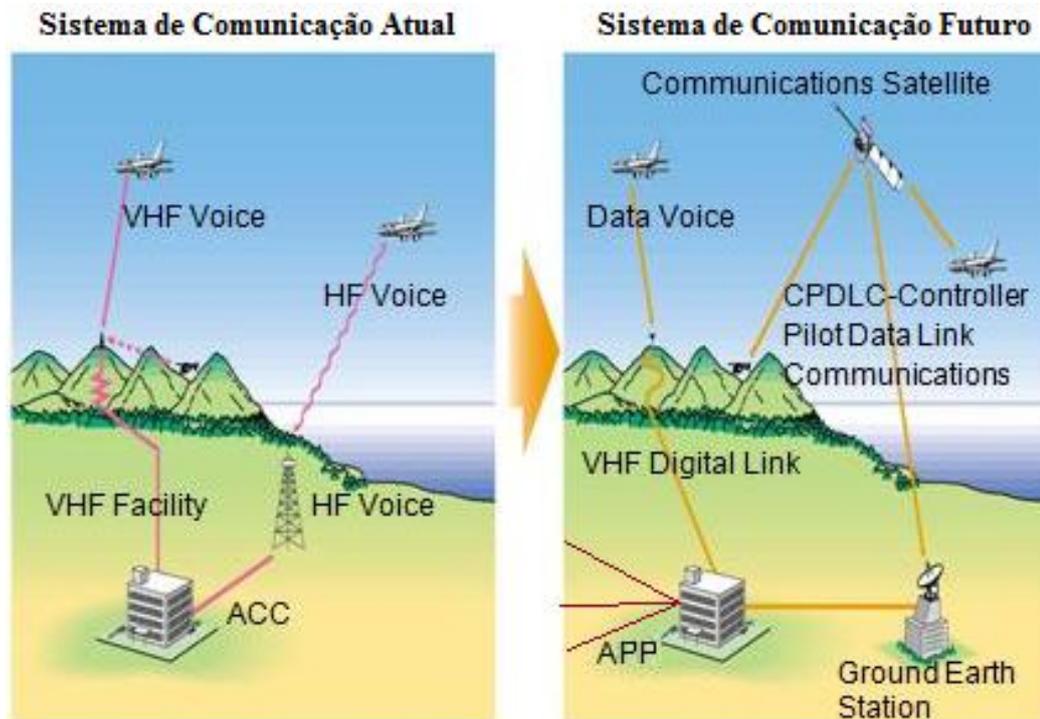


Figura 6 - O ATN provendo o CPDLC em meio VHF e Satélite

Fonte: (What is a CNS/ATM?). Altura: 301 pixels. Largura: 436 pixels. 89 dpi. 27,0 Kb. Formato JPEG Disponível em: <<http://www.caap.gov.ph/web/faqCNSATM.htm>>. Acesso em: 03 set. 2010.

A utilização de satélites para o envio e recebimento de informações, tanto de comunicações como de navegação e vigilância, é consideravelmente mais segura em relação aos meios de transmissão de informação utilizados atualmente em grande parte do Brasil e das companhias aéreas. Conforme abordado ainda no desenvolvimento deste trabalho, os sinais dos satélites oportunizam uma navegação com precisão em 4-D (tridimensional mais precisão de tempo) em tempo real, facilitando o gerenciamento das operações.

Embora classificado neste trabalho acadêmico como um componente de Comunicação do Sistema CNS, o CPDLC, pode ser empregado para vigilância e em algumas ocasiões, para navegação. A utilização da ferramenta ACARS (*Aircraft Communications Addressing and Reporting System*), responsável em enviar mensagens curtas e simples entre aeronave e estações de solo via rádio e satélite é considerada uma das partes centrais deste conceito, sendo de fundamental importância a sua explanação. Com o intuito de reduzir a carga de trabalho de pilotos, este aviônico cuja função é interagir com os sistemas embarcados em ar e os de terra, é composto por um computador de gerenciamento (*Management Unit*- MU) e um visor de controle e leitura de dados, (*Control Display Unit* – CDU), geralmente interligado, entre outros, ao sistema de Gerenciamento de Voo (FMS) da aeronave. Através de um formato pré-estipulado de dados ARINC - especificação 640, a MU gerencia, coleta, processa, formata, envia e recebe informações por meio de rádio VHF até uma rede de satélites própria do sistema cujo objetivo é facilitar o envio e recebimento de tais mensagens (rede SATCOM¹⁸). Em aeronaves do transporte aéreo regular, geralmente quando voando em espaços aéreos com cobertura VHF, este recurso pode ser usado. Para tanto, é utilizado o sistema VHF número 3 em uma faixa de frequência de 131,5Mhz selecionada automaticamente por meio da MU . A utilização deste recurso pode ser de forma automática, por demanda, emergência, contrato ou sob ação dos tripulantes (HONEYWELL, 2001). O interessante do CPDLC, através do ACARS é a variabilidade de informações possíveis a serem transmitidas dentro de sua cobertura global. Esta ferramenta é relacionada com quase todos os sistemas embarcados em uma aeronave, como por exemplo, a unidade de aquisição de dados de voo, (*Digital Flight Data Acquisition Unit* – DFDAU), responsável por coletar parâmetros de posição e velocidade (3D), entre tantos outros. Ferramentas que se relacionam ao CNS/ATM na área de navegação e vigilância também são diretamente relacionadas ao ACARS, como o ADS, forma aprimorada do conceito de sistema anti-colisão aérea- (*Traffic*

¹⁸ SATCOM: rede de quatro satélites geoestacionários localizados em um plano hipotético que contém a linha do Equador. Situado a 32.000km da superfície terrestre, é de origem britânica, sendo responsável por prover grande parte do serviço CPDLC em nível mundial.

Collision Avoidance System – TCAS), o qual será visto posteriormente. Com isso, tem-se do conceito da comunicação por enlace de dados digitais entre o piloto e o controlador a possibilidade de relacionar a ferramenta ACARS às mais diversas situações, cabendo à empresa aérea e à autoridade aeronáutica civil, por exemplo, determinar quais informações os usuários devem receber ou enviar. Com cerca de 220 caracteres, pode-se enviar mensagens com atraso de até um segundo com mais de 100 codificações diferentes para qualquer usuário (HONEWELL, 2001), tendo, portanto a facilidade de transferência de informações, cabendo aos interessados apenas a aprendizagem de decodificação das mensagens. As Figuras 7 e 8 apresentam uma idéia genérica do contexto de comunicações aeronáuticas dentro do conceito CNS/ATM:

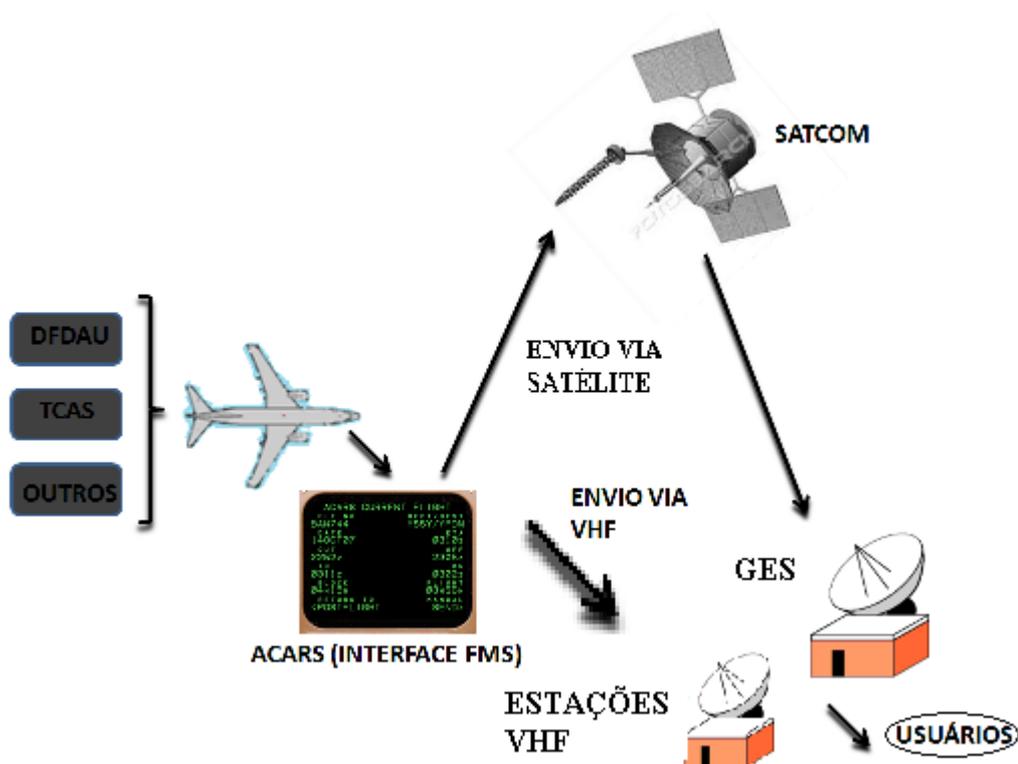


Figura 7 - Ilustração Simplificada de *Datalink* utilizando ACARS
Fonte: O autor (2010)



Figura 8 - ACARS acoplado ao FMS; Inicialização à página de mensagens
Fonte: O autor (2010)

De acordo com o plano mundial de implementação do sistema CNS/ATM, desenvolvido pela ICAO, em alguns anos todas as áreas do globo terrestre estarão operados por comunicação por enlace de dados digitais. O benefício que tal conceito trará para a Terminal Porto Alegre será dissertado a seguir.

4.1.2.1.1 Análise dos benefícios do CPDLC na TMA Porto Alegre

- **Facilidade:** a introdução do CPDLC, através da interface ACARS, permite reduzir a carga de trabalho de pilotos e aumento de segurança das operações enquanto dentro de suas jornadas de trabalho. Desenvolvido principalmente para beneficiar os tripulantes em um grau maior em relação aos controladores de voo, este enlace de dados direto entre piloto e controlador elimina a possibilidade de congestionamento de frequências por voz. A constituição de uma rede ATN, a fim de possibilitar o funcionamento desta ferramenta, é considerada fundamental para manter a segurança das operações em níveis operacionais aceitáveis. O grande aumento do tráfego aéreo causou a preocupação em desenvolver interfaces mais precisas e rápidas de comunicação, sendo o CPDLC a solução encontrada para manter uma continuidade na transmissão das comunicações aeronáuticas por mais um grande período (HONEYWELL, 2001). O ACARS, a bordo das aeronaves possibilita enviar, por exemplo, para estações de terra (transmissão

conhecida como *downlink*) praticamente qualquer informação relativa à aeronave e ao voo. Fabricantes aeronáuticos, sabendo da versatilidade deste sistema, trabalham continuamente para desenvolver enlace de informações relativos à performance da aeronave. Não necessariamente de extrema importância para um órgão ATC, mesmo em área Terminal, tais dados auxiliam aos operadores de um determinado equipamento a gerenciarem o desempenho de um voo em rota. A exemplo disto temos a norte-americana Boeing, que através do *Airplane Health Management* possibilita o envio de dados via *datalink* às estações de terra interessadas referentes à “comparações entre a performance de aeronaves de mesmo modelo, consumo de combustível, emissão de CO², alerta de anormalidades e dados referentes aos motores em voo” (BOEING, [2009], tradução nossa).

O controle de tráfego aéreo também é beneficiado com as facilidades do sistema CPDLC, através de envio (*uplink*) e recebimento (*downlink*) de mensagens via ACARS. Uma área Terminal se caracteriza, normalmente, por ser o ponto de início ou término de um voo. Durante a fase de inicialização de uma operação aérea, tem-se a comunicação direta entre órgão ATC e aeronave por meio de informações relativas à informações nesta área (ATIS- *Automatic Terminal Information Service*) e através de autorizações de rota conforme plano de voo apresentado. Atualmente a TMA Porto Alegre se utiliza de comunicação em voz via VHF para se obter tais mensagens. O conceito de comunicação por enlace de forma direta sugere a eliminação deste tipo de transmissão de informações, substituindo-as por uma forma digitalmente codificada via ACAR/SATCOM ou VHF. Assim, introduz-se o conceito de D-ATIS (*Digital ATIS*), aonde uma mensagem semelhante ao ATIS convencional é solicitada por meio da CDU do sistema de comunicação e reporte da aeronave, e entregue ao usuário (no caso, ao piloto da aeronave) digitalmente via texto, conforme mostra a Figura 9. Assim, tem-se a eliminação da necessidade de sintonizar uma frequência VHF e obter tais informações, sendo estas, suscetíveis a erros de compreensão.



Figura 9 - D-ATIS em CDU do FMS obtido via ACARS

Fonte: (Q Airways D-ATIS). Altura: 600 pixels. Largura: 800 pixels. 89 dpi. 73,8 Kb. Formato JPEG.

Disponível em: <<http://forums.jetcareers.com/technical-talk/14803-q-airways-d-at-is.html>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

Da mesma maneira, as autorizações de tráfego (*clearances*) e táxi também podem ser recebidas e enviada via sistema CPDLC. Com isso, controladores de tráfego aéreo tendem a deixar de utilizar a comunicação via voz, fazendo o uso de uma interface moderna que possibilita a transferência de informações de forma direta, precisa e praticamente imune ao erro (GALOTTI, 1997). Com apenas alguns toques em um *display*, tem-se a possibilidade de receber toda uma autorização de tráfego até a chegada em um aeroporto de destino, tornando o trabalho de comunicação entre pilotos e controladores muito mais eficiente e prático de ser realizado.

- **Custo:** a implementação do CPDLC necessita toda uma reformulação na tecnologia necessária a fim de obter-se o resultado esperado com esta ferramenta. Apesar do ACARS não ter sua utilização padronizada pela ICAO, vários usuários vêm utilizando este sistema capaz de prover de forma sucinta o que se fazia antes via voz (*ATN Comprehensive Manual*, 1999). Como a grande parte dos fabricantes aeronáuticos já acopla como item de série o ACARS a bordo de suas aeronaves produzidas, cabe a análise de custo referente à implementação de uma rede ATN em determinado território (no caso, região da TMA Porto Alegre) e às assinaturas que determinada companhia aérea deve ter a fim de usar o serviço que está disponível (BOEING, [2009]). Embora inicialmente esta tecnologia apresente um alto custo, principalmente para operadores, a tendência futura que tal equipamento demonstra nos mostra uma considerável redução operacional por etapa de voo, pois usuários terrestres, como um órgão ATC ou a área de Engenharia e Manutenção de uma empresa, conseguem receber de forma automática, informações em tempo real relativas à performance de um determinado

equipamento, possibilitando, assim, a determinação de medidas pró-ativas quanto ao andamento de um voo. Por parte dos controladores de voo, após a implementação completa de uma rede ATN, resta treinar os indivíduos para utilizarem uma interface diferente da que habitualmente se utiliza. A modernização de equipamentos, com o intuito de adaptação à nova tecnologia, também é necessária, conforme será mostrado ainda neste trabalho.

4.2 NAVEGAÇÃO

Consistindo em determinar um rumo e voar nesta direção até alcançar seu destino, a Navegação Aeronáutica por anos baseou-se em contato visual com o meio terrestre, meio o qual é impossível de ser utilizado atualmente para a aviação de grande porte. A fim de avançar de acordo com as necessidades decorrentes do aumento do tráfego aéreo, novos meios de prover uma viagem segura e mais confiável foram sendo desenvolvidos. A Guerra Fria auxiliou de forma benéfica para o desenvolvimento do conceito primordial de navegação segundo o CNS/ATM. A produção e operação de satélites com o intuito de utilização civil por parte da extinta União Soviética (GLONASS) e dos Estados Unidos (GPS) possibilitaram que meios muito mais precisos e seguros pudessem ser implantados em âmbito de aviação comercial, conforme Galotti (1997). A ICAO, através de um contrato formal e gratuito, adotou, pelo menos por enquanto, apenas a utilização do sistema GPS americano para prover a navegação GNSS preconizada pelo Sistema CNS/ATM. Constituído por 24 satélites distribuídos em seis órbitas inclinadas 55° na linha do Equador e que realizam uma revolução na Terra a cada doze horas (Segmento Espacial), funcionando com confiabilidade até as latitudes próximas a 70° N e 70° S, estes levam as informações, em formatação digital, para os Segmentos de Controle (estações terrestres espalhadas ao redor da Zona do Equador), aonde estes monitoram as órbitas dos satélites e sincronização de tempo dos mesmos. Por fim, um sistema receptor, o qual pode ser embarcado em qualquer veículo, como aeronaves, decodifica e processa os sinais emitidos por pelo menos três satélites, tendo como resposta informações de sua Latitude, Longitude, Altitude e até mesmo informações relativas à hora GMT, quando utilizando um número maior de satélites (GPS, [entre 1995 e 2005]).

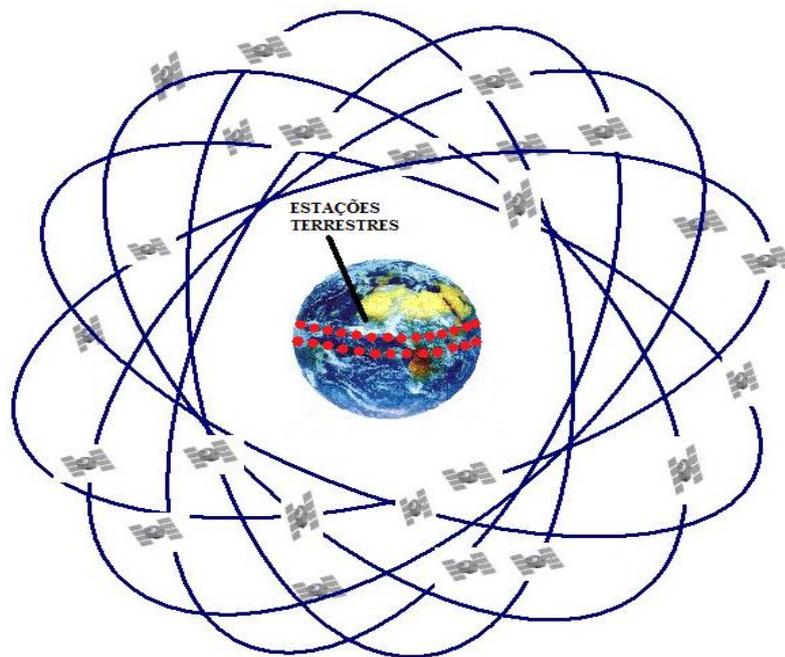


Figura 10 - O Sistema GPS com 24 satélites e estações terrestres na Zona Equatorial

Fonte: (Sistema de Posicionamento Global). Altura: 603 pixels. Largura: 603 pixels. 96 dpi. 66,3 Kb. Formato JPEG. Disponível em: <<http://informaticon.com.br/site/mod/resource/view.php?id=342>>. Acesso em 03 set. 2010.

4.2.1 A navegação em área terminal

Atualmente dentro da Área Terminal Porto Alegre, o uso de cartas do tipo STAR (*Standart Terminal Arrival*) por parte das aeronaves comerciais que possuem como destino o Aeroporto Internacional Salgado Filho, tem sido utilizado em quase sua totalidade. Com isso, a carga de trabalho de pilotos e controladores reduz muito em relação a outros procedimentos, tais como vetorações. A não necessidade de manter contato por meio de voz em grande parte de uma STAR provoca um aumento de consciência situacional do piloto e do órgão ATC, face à redução de tarefas a serem realizadas em um período de tempo (carga de trabalho), embora o balizamento de fixos seja predominantemente com base em VOR e NDB. A essas chegadas, anexam-se procedimentos para pouso nas pistas (cabeceiras 11 e 29). Na primeira, temos usualmente o procedimento ILS Z, enquanto que nesta segunda, utiliza-se, quase em grande maioria das companhias aéreas, a RNAV, sendo eventualmente o VOR RWY 29 o meio de aproximação realizado. Para decolagem do Salgado Filho, são utilizadas as SID (*Standart Instrument Departure*), balizadas frequentemente por auxílios VOR ou NDB.

Conforme pode ser visto na Figura 11, diferente do que é proposto no aeroporto de Porto Alegre, o Aeródromo Campo dos Bugres, em Caxias do Sul, não possui qualquer STAR e ILS, sendo o procedimento mais utilizado para aeronaves do transporte aéreo regular o RNAV para ambas as cabeceiras (15 e 33). Em caso de decolagem, SID's com base em radiofarol ou VOR também são utilizadas.

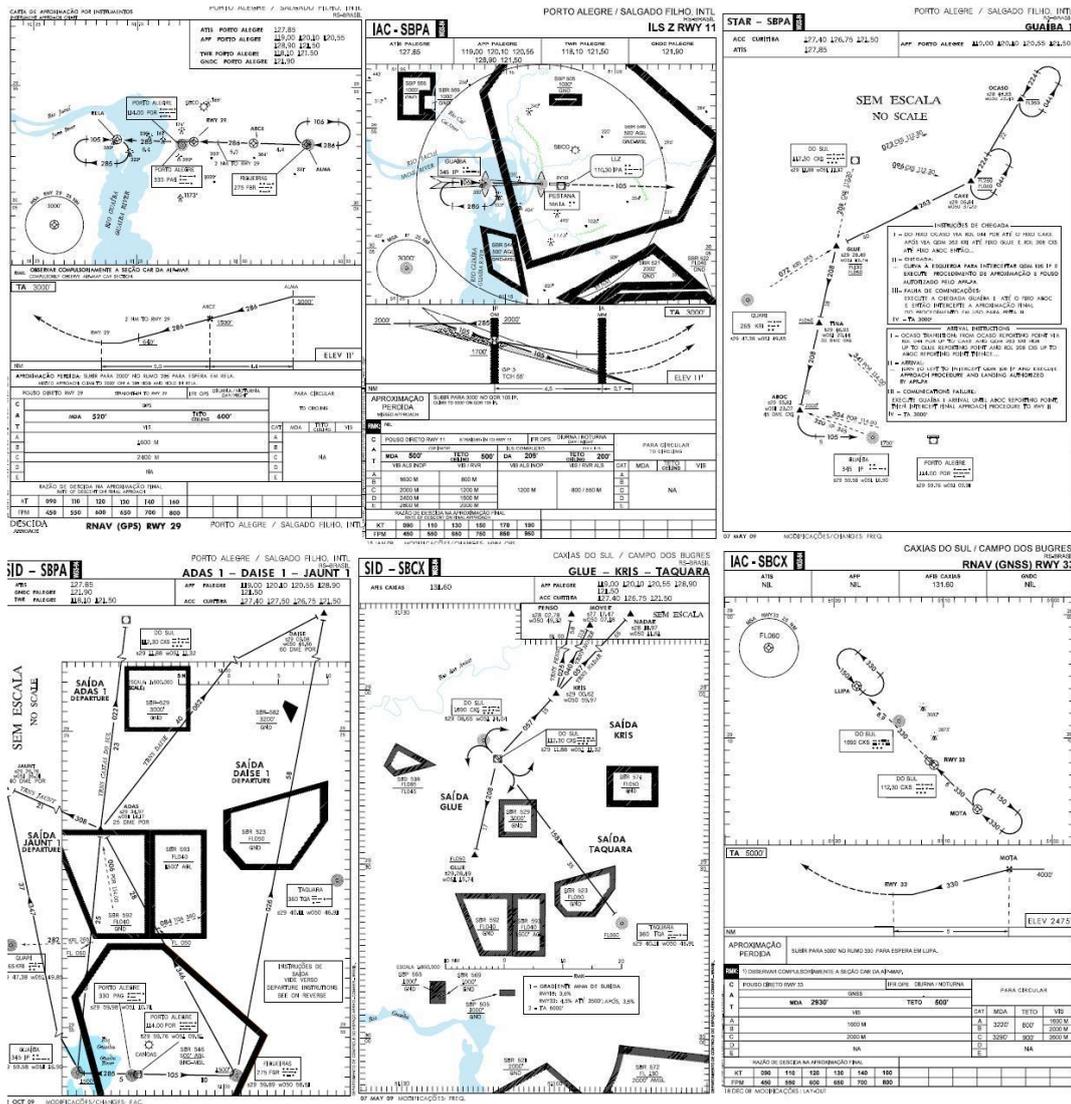


Figura 11 - Cartas RNAV Caxias, ILS P. Alegre, STAR P. Alegre, SID P. Alegre, SID Caxias e RNAV Caxias
Fonte: (Cartas Aeronáuticas). Altura: 1238 pixels. Largura: 1387 pixels. 70,4 dpi. 330, Kb. Formato JPEG.
Disponível em: <<http://www.aisweb.aer.mil.br/aisweb/>>. Acesso em 04 set. 2010.

Exceto pelos procedimentos RNAV, além de rotas, baseados predominantemente por uma tecnologia com base em satélites, conforme será visto no próximo capítulo, a TMA Porto Alegre não utiliza muitos recursos do Sistema CNS/ATM. A implementação total deste

conceito possibilitará um alívio na capacidade dos aeroportos, face a possibilidade de utilização de pistas auxiliares. A implementação digital, segundo Oliveira e Alves (2008, p. 4):

É importante destacar que com a efetiva implantação do conceito CNS/ATM (Comunicação, Navegação, Vigilância/Gerenciamento de Tráfego Aéreo), a dinâmica da atividade ATM será alterada, sendo esperados a diminuição de carga de trabalho e o conseqüente aumento da capacidade de controle [...].

A seguir, ferramentas que, aliadas com o conceito de comunicação digital, facilitam e melhoram o fluxo das operações serão mostradas, com o intuito de prover melhorias dentro da área Terminal Porto Alegre.

4.2.2 Ferramentas de navegação

Por ser altamente preciso e eficaz, voar de acordo com o GNSS exige por parte das aeronaves que as mesmas possuam um sistema capaz de detectar e alertar possíveis falhas de satélites do GPS (FAA, 2006). O ABAS (*Aircraft-Based Augmentation System*) usa como uma das técnicas mais disseminadas existentes o Sistema de Monitoramento Autônomo de Integridade (*Receiver Autonomous Integrity Monitoring - RAIM*). A este cabe a função de, cruzando informações recebidas e processadas de cinco satélites não utilizados para a definição de posição da aeronave e a correção da hora GMT, verifica-se a disponibilidade e a integridade dos mesmos. A fim de identificar e remover um satélite com problemas em determinar posições, um sexto equipamento espacial é necessário para que o RAIM funcione de acordo com o que é preconizado. De acordo com Siqueira (2009, p. 29), atualmente sistemas mais avançados tecnologicamente conseguem prever com antecedência de até quinze minutos a indisponibilidade com o sistema RAIM. Caso isso aconteça, caberá ao piloto retomar o voo por instrumentos básicos, navegando por auxílios rádios e distâncias DME. Com isso, mostra-se que embora a tecnologia digital possa vir a ser usada como meio primário de navegação, não se deve eliminar os meios primários de voo por instrumentos. A utilização de ferramentas do Sistema CNS/ATM, ao serem aplicadas na área Terminal Porto Alegre, irão auxiliar no trabalho de controle aéreo e de solo, mas o “*backup*” torna-se fundamental para prover a segurança. A seguir, conceitos que podem vir a auxiliar o fluxo de aeronaves dentro da TMA em estudo.

4.2.2.1 Performance-Based Navigation - PBN

A Navegação Baseada em Performance (*Performance-Based Navigation*) tem sido considerada por muitos, como o centro da navegação do sistema CNS/ATM. Para entender realmente o significado deste conceito, é necessária uma breve introdução à Navegação de Área (RNAV).

Em algumas regiões e dependendo dos sistemas de navegação disponíveis em uma aeronave, ainda se voa tendo auxílios em solo como referências. A navegação RNAV, conforme mostra a figura 12, possibilita a eliminação de tais fixos (VOR's, NDB's) na rota planejada, transformando assim uma trajetória de voo muitas vezes maior do que a distância verdadeira entre dois pontos, em um voo praticamente em linha reta, sendo esta orientada através de pontos virtuais inseridos através de tecnologia digital com base em satélites. O RNP, explicado anteriormente, garante a precisão de uma Navegação por Área, sendo mais restrito em locais mais densos, a fim de possibilitar um maior número de aeronaves em determinado espaço aéreo, como uma área Terminal, e menos restrito em locais aonde o fluxo de aeronaves é menor.

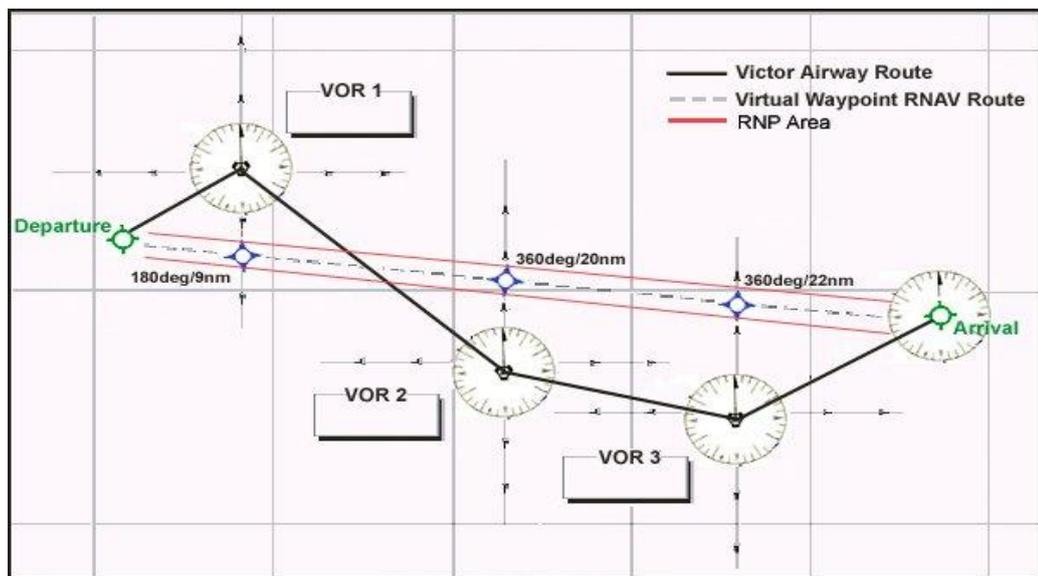


Figura 12 - Navegação Convencional versus Navegação de Área (RNAV)
 Fonte: (RNAV). Altura: 378 pixels. Largura: 600 pixels. 65,7 dpi. 31,3, Kb. Formato JPEG
 Disponível em: <<http://www.atcmonitor.com/rnav.jpg/>>. Acesso em: 14 set. 2010.

A Navegação Baseada em Performance mescla conceitos de RNP e RNAV a fim de prover a melhoria na trajetória de aeronaves. De acordo com a Boeing (2008, p. 2): “*PBN comprises RNAV and RNP specifications to enable airspace designers to develop and implement new automated flight paths that increase airspace efficiency and optimize airspace use*”¹⁹. Em outras palavras, pode-se dizer que o RNP está para os aviônicos de uma aeronave enquanto que o PBN está para a restrição de um determinado espaço aéreo, sistema; para voar de acordo com o que o PBN preconiza, é necessária uma adequação da aeronave e seus respectivos sistemas de navegação que garantam a precisão em grande parte do tempo de voo (RNP), podendo então voar em rotas RNAV de acordo com o que o PBN exige. Com este sistema em funcionamento, será possível realizar operações em uma frequência bem maior aonde existe uma proximidade entre duas ou mais aeronaves, como ocorre na fase de aproximação em área TMA. O grau de precisão requerido pelo PBN possibilita diminuir o espaçamento entre aeronaves, cabendo apenas ao sistema embarcado a bordo destes veículos, a determinação de um RNP a fim de se cumprir o que é requerido.

4.2.2.1.1 Análise dos benefícios do PBN na TMA Porto Alegre

Considerando a utilização do conceito de PBN na Terminal de enfoque, pode-se citar inúmeras vantagens relativas às facilidades que tal sistema pode prover, dentre as quais iremos expor as principais:

- **Segurança:** A precisão com base em satélites garante delimitações em torno dos três eixos (x,y,z). A utilização da Navegação Baseada em Performance (*Performance-Based Navigation – PBN*) possibilita, de acordo com os conceitos RNP e RNAV a procedimentos de saídas e chegadas mais eficazes do que os definidos por auxílios convencionais, os quais baseiam-se na grande maioria apenas em QDM’s, QDR’s, Radiais e restrições de altitudes (BOEING, 2009). A Área TMA Porto Alegre caracteriza-se por possuir elevações próximas às suas pistas de pouso, aeródromos controlados relativamente próximos (Salgado Filho e Canoas) e *SID’S* e *STAR’S* baseadas principalmente por VOR’s e radiofaróis (FGR, IP, entre outros). A estes últimos cabe a preocupação maior. A região sul do Brasil é o local de entrada das frentes frias. Caracterizadas por apresentarem altas atividades de descargas elétricas, este

¹⁹ Tradução: PBN utiliza especificações de RNAV e RNP para possibilitar o desenvolvimento e implantação de novas trajetórias automatizadas em voo que aumentam a eficiência e a utilização do espaço aéreo.

fenômeno pode vir a causar distorções no sinal destes auxílios que trabalham na faixa de LF (baixa frequência). O chamado “efeito de montanha” também é prejudicial aos radiofaróis, face às interferências causadas por elevações nas proximidades. Com isso, aproximações e saídas baseadas nestes auxílios tornam-se suscetíveis a falha e/ou indicações errôneas. De acordo com a Figura 13, a situação é ainda mais grave na região da serra, aonde se encontra o aeroporto Campo dos Bugres, em Caxias do Sul, pois as grandes e contínuas elevações prejudicam a segurança das operações naquele campo de pouso.

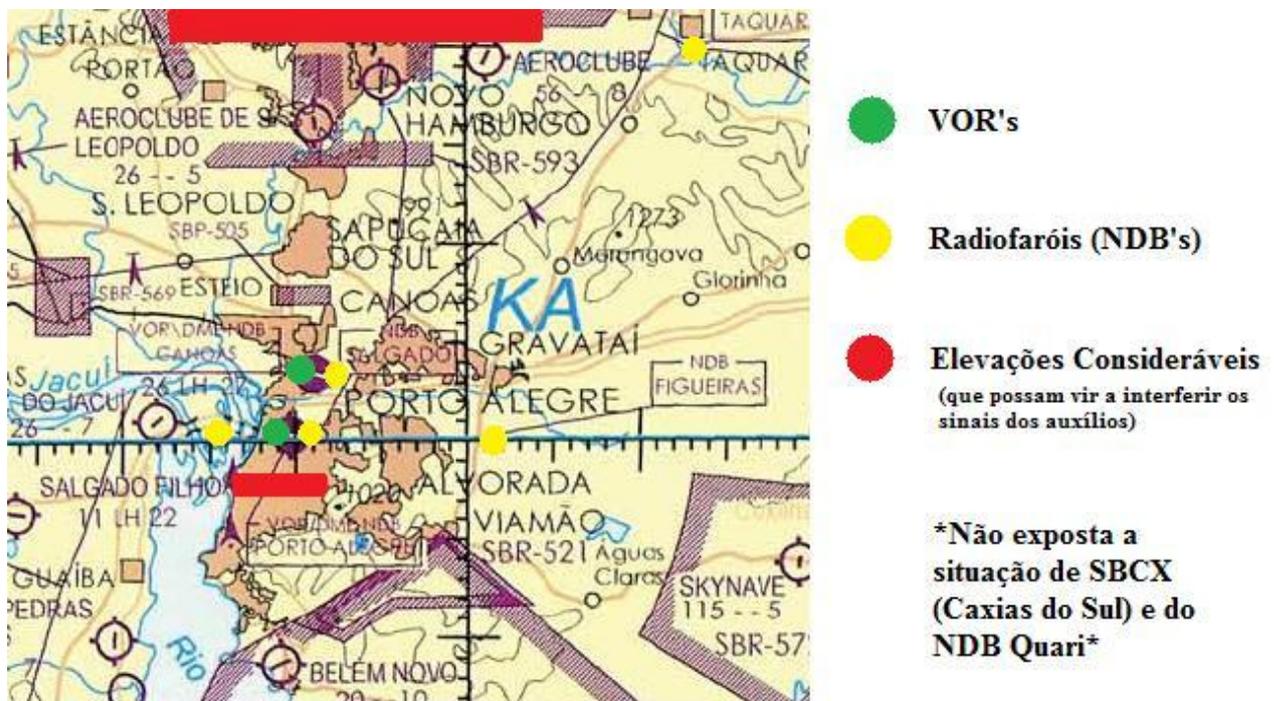


Figura 13 - Rádios-auxílios elevações importantes na região de Porto Alegre mostradas em WAC
 Fonte: O autor (2010).

Entre outros motivos, os aeroportos Salgado Filho e Campos dos Bugres já utilizam em seus procedimentos de aproximação a tecnologia com base em satélites. Os procedimentos RNAV, conforme serão vistos, garantem uma maior precisão e economia, não sendo suscetíveis a falhas causadas por meteorologia ou elevações.

A implementação do voo com base no conceito PBN é considerada altamente segura. Desde a efetivação do conceito RNP e RNAV, até o término deste trabalho, não havia registros de acidentes associados com o uso destes procedimentos. Esta tecnologia contribui para a diminuição de erros operacionais por parte de uma tripulação, visto que, segundo pesquisas, 60% dos casos de CFIT ocorrem durante procedimentos de não precisão e/ou com base em auxílios convencionais de navegação (BOEING, 2009). Com isso, atende-se o que

foi preconizado pelo comitê FANS, auxiliar a navegação aérea de acordo com o aumento do tráfego aéreo sem ao entanto prejudicar a segurança das operações (GALOTTI, 1997).

- Eficiência: a Navegação Baseada em Performance possibilita um voo mais eficiente face à não utilização de equipamentos convencionais de auxílio à navegação instalados em terra. A predominância dos equipamentos baseados em satélites possibilita às aeronaves a navegarem independentemente de obstáculos que possam vir a causar o “efeito-montanha”, condições meteorológicas adversas ou até mesmo um aumento no fluxo de tráfego aéreo. Com a sua implementação, o PBN melhora a confiabilidade da navegação, podendo ser utilizado inúmeras vezes. Com praticamente zero acidentes utilizando este sistema, o *Performance-Based Navigation* torna-se ideal quanto sua confiabilidade perante índices de repetição e previsão. Com isso, pode-se aumentar o número das operações através de um fluxo contínuo, suave e ordenado de aeronaves (BOEING, 2009).

O Brasil, por se tratar de um país em constante crescimento, necessita de sistemas que viabilizam uma operação segura na medida em que o fluxo de aeronaves vem aumentando. A região Sul do país é um importante centro de entrada de aeronaves que visam, principalmente, destinos e procedências internacionais, devido às fronteiras com países da América do Sul. Para prover um aumento da segurança e melhorar a eficiência das operações, a TMA Porto Alegre já adota procedimentos de chegada (IAC) RNAV, aonde por meio de um sistema embarcado em uma aeronave, pode-se realizar um procedimento com base exclusiva em satélites, através de pontos (fixos) com base em latitude e longitude pré-estabelecidos em cartas de procedimento e inseridos, por meio de atualizações a cada 28 dias, em um *database* do avião. Para melhorar ainda mais a precisão este tipo de procedimento consegue, devido à versatilidade que o sistema baseado em satélites consegue prover, calcular uma rampa de planeio de forma semelhante a um pouso por precisão (ILS), embora este tipo de procedimento ainda não seja considerado de precisão. A eficiência no tempo e na segurança são comprovadas conforme Figura 14:

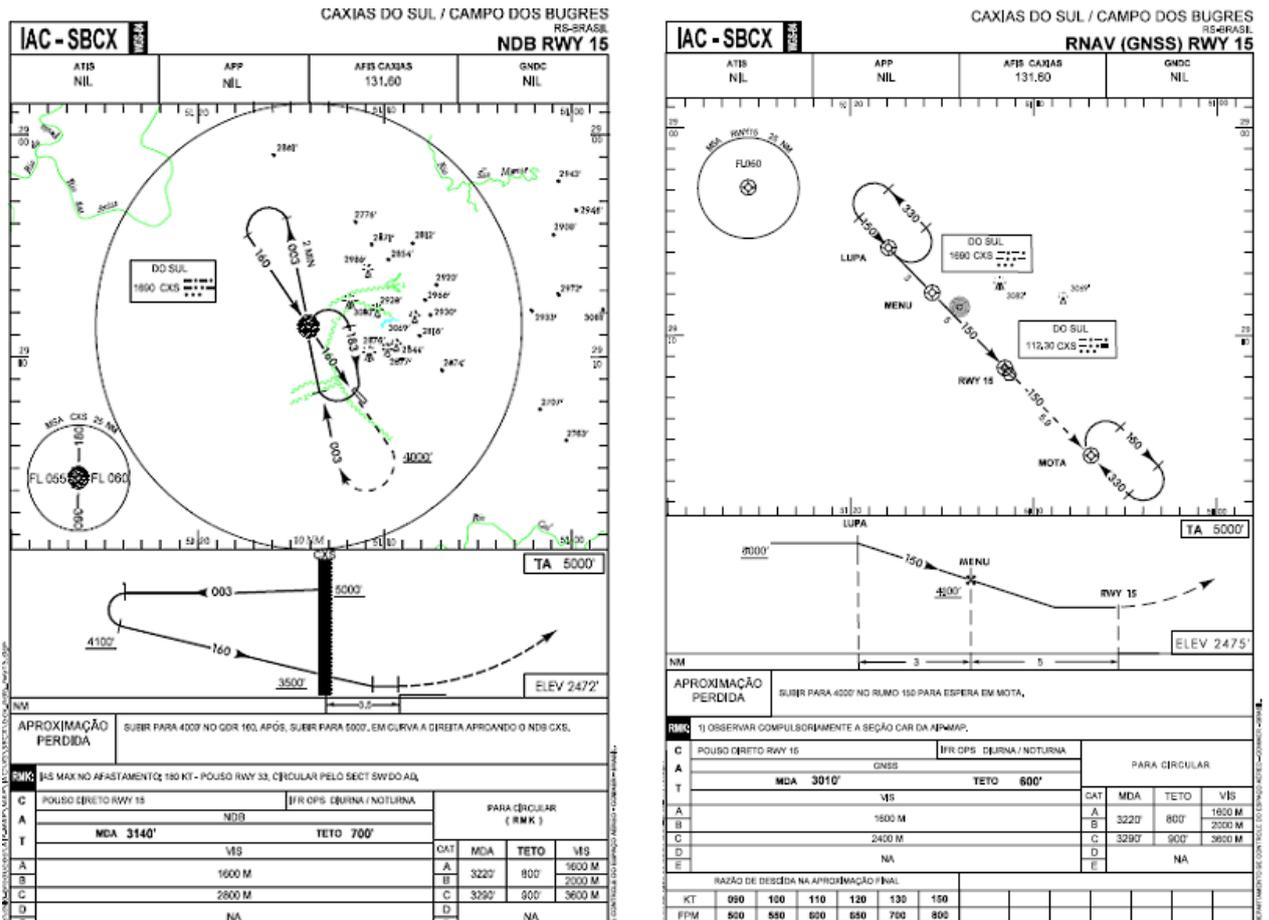


Figura 14 - Cartas de Aproximação NDB e RNAV pista 15 em SBCX
 Fonte: (Cartas Aeronáuticas). Altura: 1238 pixels. Largura: 1387 pixels. 70,4 dpi. 330, Kb. Formato JPEG
 Disponível em: <http://www.aisweb.aer.mil.br/aisweb/>. Acesso em 04 out. 2010.

Considerada uma parte do conceito PBN, o procedimento RNAV, conforme visto acima proporciona muitas vantagens, tais como uma redução no tempo até o pouso, a diminuição de ações que aumentam o grau de risco, como curvas cronometradas em descida, principalmente em regiões montanhosas como Caxias do Sul, e ainda a diminuição dos mínimos meteorológicos para poder operar em determinado aeródromo. A não utilização de rádio-farol (como é o caso do procedimento NDB RWY 15, mostrado acima) como auxílio primário, o que pode ser suscetível a ações da meteorologia, garante uma margem maior de precisão durante o procedimento. A utilização de satélites (GPS) como meio primário para uma aproximação possibilita, por exemplo, em relação a um VOR, uma precisão lateral até quatro vezes maior.

- Custo: pelo fato de o PBN ser “[...] visto como a solução que irá melhorar o conceito de eficiência das operações no futuro” (BOEING, ([2009]a, p. 1, tradução nossa), atualmente grande parte das aeronaves produzidas com âmbito de venda mundial já estão contando com

equipamentos capazes de voar de acordo com o que é preconizado pela Navegação Baseada em Performance. Novamente, segundo a Boeing ([2009]b, p. 2):

Boeing has been steadily increasing the RNAV and RNP capabilities of its commercial airplane fleet. Every Boeing commercial airplane currently produced, including the 787, incorporates RNP capability. [...] Operators should also provide as much information as possible to their operations departments and crews, develop training curriculum and scenarios, and review standart crew procedures.²⁰

Com isso, o principal custo com a adaptação ao sistema que integra o PBN será com os fabricantes das aeronaves e em decorrência com seus operadores. Ao espaço aéreo brasileiro, em especial a área Terminal Porto Alegre, cabe exclusivamente, por meio do DECEA, a adaptação de rotas, com limitações verticais e laterais de acordo com a perspectiva de crescimento de tráfego aéreo. Para não excluir totalmente o custo de implantação deste meio de navegação da responsabilidade da TMA Porto Alegre, seria plausível fornecer cursos relativos a esta “navegação do futuro” para controladores de vôo. A fim de melhorar ainda mais a eficiência nas operações, esta área Terminal ainda poderia investir em outras ferramentas, conforme visto a seguir

4.2.2.2 GROUND BASED AUGMENTATION SYSTEM - GBAS

Considerado um elemento do sistema GNSS, o Sistema de Aumento de Precisão Baseado no Solo (GBAS) constitui uma importante ferramenta a ser utilizada em áreas terminais. Com esta técnica, pode-se operar com intenções de pouso em condições meteorológicas adversas em qualquer aeródromo. Para seu funcionamento, o GBAS deve ser constituído por equipamentos de solo, através de “pseudo-satélites” (*Hardware*) e aviônicos embarcados nas aeronaves (*Software*). A fim de permitir a total funcionalidade do equipamento, este conceito envolve transmissões por enlace de dados digitais em VHF (explicado anteriormente) em combinação com informações trocadas constantemente entre aeronave e satélites (GNSS). Com isso, o segmento espacial mede o grau de precisão e

²⁰ A Boeing vem constantemente aumentando as capacidades RNP e RNAV de sua frota de aeronaves. Toda aeronave Boeing produzida, incluindo o 787, incorpora a capacidade RNP. Operadores devem prover a informação necessária e possível para seus departamentos de operações e tripulações, desenvolvendo um currículo de treinamento e cenários, e revisão de procedimentos padrões.

correção necessário em um pouso, sendo as informações reativas, com o intuito de corrigir, enviadas em VHF por meio de estações de terra para os aviônicos das aeronaves. Com a intenção de melhorar a precisão e a integridade dos sinais, pseudo-satélites (PS's) são instalados no solo, conforme mostra a Figura 15. Em alguns sistemas GBAS, próximos ou no solo, atuando simultaneamente com o GNSS (CHUJO, 2007). Analogicamente, pode-se comparar este sistema de aproximação para pouso com um Sistema de Pouso por Instrumentos (*Instrument Landing System – ILS*), aonde se tem por meio de uma indicação no painel de uma aeronave, informações em relação à rampa de pouso ideal nos quesitos de distância vertical e horizontal.

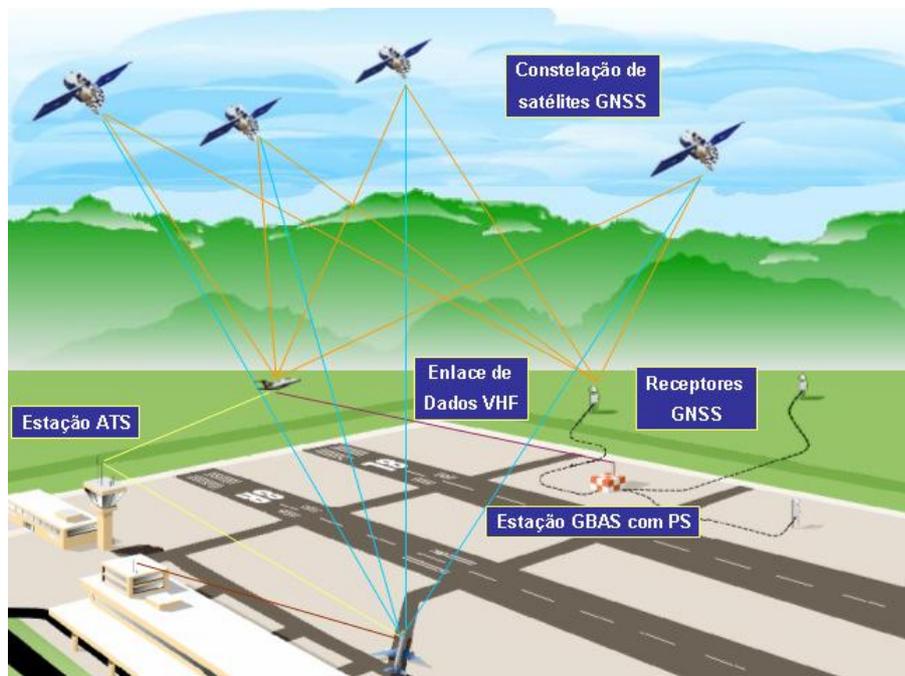


Figura 15 - Configuração GBAS: cobertura local para operações de precisão
Fonte: Chujo (2007, p. 103).

De acordo com a Eurocontrol (2002), o GBAS pode ser utilizado para qualquer fim em uma área Terminal, possuindo como grande vantagem a capacidade de orientar uma aeronave para o pouso em condições equivalentes a operações ILS CAT II e III em qualquer aeródromo inserido em um raio de vinte a trinta milhas náuticas em relação ao equipamento instalado em terra. Atualmente, o único sistema GBAS existente é o americano LAAS (*Local Area Augmentation System*), o qual utiliza sinais de satélites da constelação GPS.

4.2.2.2.1 Análise dos benefícios do GBAS na TMA Porto Alegre

Considerando a implementação do sistema GBAS na Terminal de enfoque, pode-se citar inúmeras vantagens relativas às facilidades que tal sistema pode prover, dentre as quais iremos expor as principais:

- Alcance: O Sistema de Aumentação Baseado em Solo, conforme mencionado pode prover atuação em procedimentos em um raio de até 30 NM. Pressupondo que o segmento de solo fique posicionado no Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre, e que as aeronaves de transporte aéreo regular possuam os aviônicos necessários para a utilização desta ferramenta, existe a possibilidade de utilizar os seguintes campos de pouso, de acordo com a Tabela 1 (desconsiderando a existência de pistas duvidosas que se encontram em WAC²¹):

Tabela 1 - Aeródromos dentro do raio de atuação GBAS

PISTA DE POUSO	DISTÂNCIA EM RELAÇÃO À SBPA
BASE AÉREA DE CANOAS	03 NM
AERoclUBE DE ELDORADO DO SUL	15 NM
AERoclUBE DE MONTENEGRO	24 NM
AERoclUBE DO RIO GRANDE DO SUL	12 NM
AERoclUBE DE NOVO HAMBURGO	18 NM
FAZENDA ASTRAL	14 NM

Fonte: DECEA, *World Aeronautical Chart*. (2002, 3ª edição).

A instalação de um sistema GBAS possibilita, portanto, a utilização de sistemas de aproximação digital em seis campos de pousos distintos em um raio de até vinte e quatro milhas náuticas, independente da cabeceira a ser utilizada. Obviamente, questões relativas à infra estrutura de tais pistas são um ponto preponderante na decisão de operação de precisão. Adequar-se para operações IFR é o grande empecilho da maioria dos aeródromos citados, não cabendo, entretanto, aprofundar este tema no respectivo trabalho acadêmico.

²¹ *World Aeronautical Chart*: carta que apresenta referências visuais de uma determinada região.

Com cinco pistas a mais para poder operar com restrições visuais (exclui-se a base aérea de Canoas, por ser de exclusiva operação militar), pode-se propor a expansão de operações, principalmente de aeronaves menores, nestes campos secundários. Com isso, libera-se o fluxo de aeronaves que operam em SBPA, possibilitando o descongestionamento e a liberação de slots no aeroporto mais movimentado da área Terminal Porto Alegre.

- **Meteorologia:** A região de Porto Alegre, por se localizar no extremo sul do país tende, segundo Dal Piva e Fedorova (1999) a possuir grandes circulações anticiclônicas (alta pressão) em todas as estações do ano, com exceção do inverno. Tal condição é muito favorável para a formação de nevoeiros, em especial o de radiação. Caracterizado por formar-se através de condensação devido o encontro de um ar mais frio com um mais quente, este nevoeiro tem sido freqüentemente registrado desde o início das operações aéreas na Área Terminal Porto Alegre. Durante o mês de Maio de 2010, segundo a INFRAERO, o aeroporto Salgado Filho chegou a ficar fechado por um total de vinte e cinco horas nos primeiros quatorze dias do mês por falta de recursos que possibilitariam as operações sob baixa visibilidade e baixo (ou nenhum) teto no aeroporto. A implementação do GBAS na região sul possibilitaria procedimentos similares aos ILS categoria II e até III-C. De acordo com a Tabela 2, os nevoeiros não seriam mais problemas para pousos em aeródromos na região de Porto Alegre, face a possibilidade de operações em condições de voo cem por cento instrumentos.

Tabela 2 - Mínimos ILS (ICAO) e possibilidade de substituição por GBAS

ILS	TETO MÍNIMO	VISIBILIDADE MÍNIMA	SUBSTITUIR POR GBAS?
CAT.I	200 ft.	800 m.	SIM
CAT.II	100 ft.	350 m.	SIM
CAT.III C	ZERO	ZERO	SIM

Fonte: Jeppesen, *Airway Manual Services*. (2000, p. 07).

A meteorologia é considerada um fator decisivo no gerenciamento das operações nos aeroportos de Porto Alegre e Caxias do Sul. A possibilidade de reduzir transtornos operacionais com a aquisição de sistemas que permitam a segurança das operações quando em situações de visibilidade e teto críticas iria permitir a continuidade normal das operações

aéreas, possibilitando assim a continuidade de serviços prestados, tais como o transporte de passageiros, carga e o correio aéreo nacional.

- **Custo:** O Sistema de Aumentação Baseado em Solo, além de prover uma ampla cobertura nas operações proximais em um aeródromo quando em operações restritas de visibilidade e teto, permite a aquisição com um custo relativamente mais barato em relação à implantação de um sistema de pouso por instrumentos. Para obter-se o funcionamento completo de um ILS Categoria I, gasta-se cerca de 55% a mais em relação a aquisição e instalação completa de um sistema GBAS que opere em condições meteorológicas similares às operadas pelo outro sistema, conforme a Tabela 3. Embora esta não conste o preço de implementação de pseudo-satélites de solo, a fim de aumentar a precisão do sistema, estima-se um gasto a mais de até US\$ 50.000²² para a instalação desta ferramenta em um GBAS.

Tabela 3 - Indicativo de custo total com instalação ILS X GBAS

COMPONENTE	ILS CAT I (€)	GBAS (€)
Estação Terrestre	471.000	313.000
Instalação	236.000	30.000
Iluminação	471.000	471.000
Inspeção de Voo	134.000	25.000
Procedimentos	20.000	20.000
Total	1.332.000	859.000

Fonte: EUROCONTROL, 2003. **Tecnologias de Navegação Aérea por GNSS e DGNSS para Operação CNS/ATM: Aplicações para o Brasil.** São José dos Campos: Chujo, 2007, 19 p.

A possibilidade de operação em diversas pistas a partir da instalação de um único sistema faz do GBAS uma ferramenta altamente eficiente e de ótimo custo-benefício. Atualmente o aeroporto Salgado Filho vem passando por uma reforma a fim de suprir a alta demanda de tráfego aéreo, a qual tende a crescer constantemente nos próximos anos. Para esta reforma, cujo objetivo é atender apenas uma das cabeceiras da pista, está prevista a instalação do Sistema de Aproximação por Instrumento Categoria II. Com um custo menor, poder-se-ia

²² EUROCONTROL (2003 apud CHUJO, 2007).

cogitar a implementação de um GBAS equivalente e que teria facilmente a abrangência nos demais aeroportos da região. Portanto, esta ferramenta que possui o conceito CNS/ATM como base, iria ser fundamental para suprir e desenvolver ainda mais o tráfego aéreo na região sul do país. De forma alternativa, ainda mais barata, pode-se utilizar um sistema conhecido como SBAS, capaz de realizar procedimentos de precisão similar ao ILS CAT I, porém em apenas um campo de pouso.

4.3 VIGILÂNCIA

Conforme já explicado em capítulos anteriores, as aeronaves de transporte aéreo regular teoricamente sempre estão dentro de espaços aéreos monitorados por um respectivo órgão ATC, seja um APP, um ACC ou uma TWR. Cabe aos controladores de tráfego aéreo prover um cuidado com cada operação que sobrevoa seu espaço jurisdicionado. A este cuidado, dá-se o nome de Vigilância. Com isso, pode-se monitorar qualquer voo, observado se o mesmo está realizando, por exemplo, o que está previsto em seu plano de voo. Vismari (2007, p. 26) define: “[...] vigilância tem a função de fornecer aos controladores as posições, velocidades, e direções atuais dos voos das aeronaves [...], além de estimativas sob suas posições futuras”.

A vigilância pode ser considerada uma frente que visa à segurança das operações durante a navegação; em conjunto com a comunicação, consegue-se prover um controle de tráfego aéreo adequado ao que é preconizado pela ICAO.

4.3.1 A vigilância em área terminal

No Brasil, utilizam-se duas frentes de vigilância. A primeira, conhecida por “Vigilância Convencional”, constitui-se de o piloto de uma aeronave qualquer, comunicar-se com o controlador de tráfego aéreo, reportando dados tais como posição, nível de voo, tempo estimado, entre outros. Esta radiocomunicação possibilita ao órgão ATC a visualização mental da trajetória de um voo. Com isso, consegue-se manter a vigilância sobre as aeronaves sob responsabilidade de um controlador (VISMARI, 2007). Em se tratando da área Terminal

Porto Alegre, um controlador do APP Porto Alegre que deseje saber informações de uma aeronave, solicita por meio de comunicação em VHF. O piloto, em resposta, informa tais dados solicitado, mantendo assim o que é preconizado pelo Comando da Aeronáutica em relação ao serviço de Controle de Tráfego Aéreo: a comunicação bilateral constante. (COMANDO DA AERONÁUTICA, 2003).

A outra frente de vigilância utilizada em grande parte do território nacional, em UTA's, CTA's ou TMA's, constitui-se na chamada "Vigilância Não-Convencional". Independente da obrigatoriedade de comunicação bilateral enquanto se voa, este sistema de monitoramento na área Terminal Porto Alegre utiliza, por exemplo, o emprego de radares para obter a informação de aeronaves que voam sob jurisdição do APP Porto Alegre. Divididos em dois segmentos, os radares na TMA de nosso enfoque são classificados e definidos em: Primário (PSR) e Secundário (SSR), sendo brevemente explanados abaixo.

Com o primeiro, conforme Figura 15, tem-se a vigilância das aeronaves por meio de emissão de sinais eletromagnéticos através de um aparelho de superfície (radar) que contém um oscilador de frequência, um modulador e um transmissor. Estes sinais, quando estão prontos para serem transmitidos, são enviados até uma antena, em geral, parabólica, aonde ocorre a irradiação deste sinal na forma de um cone. Ao captar um alvo, geralmente com massa metálica, este sinal é então refletido novamente para o radar de superfície, aonde por meio de conversores, pode-se observar através de um visor, o aparecimento de um ponto, caracterizando um objeto voando em uma área de alcance do aparelho (VISMARI, 2007).

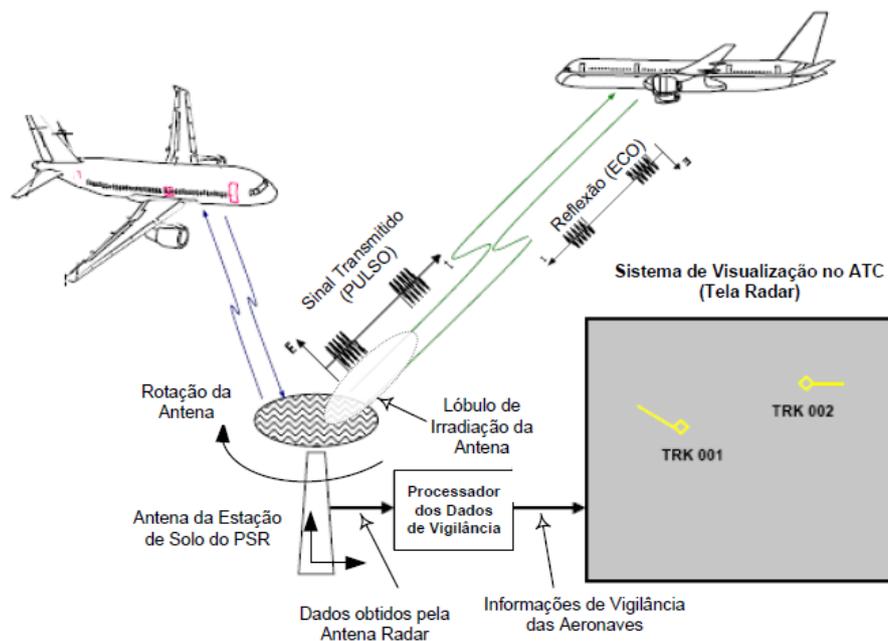


Figura 16 - Esquema Funcional de um Radar Primário (PSR)

Fonte: Vismari (2007, p. 41).

O SSR (*Secondary Surveillance Radar*), diferentemente do PSR, consegue além de visualizar um determinado alvo através de uma tela, identificar o mesmo, através de informações codificadas de interrogação e de respostas por meio de aparelhos transmissor-receptore instalado no solo e receptor-transmissor embarcado nas aeronaves denominado *Transponder*. Em solo, existe uma antena direcional, acoplada ao radar primário, que da mesma forma do sistema embarcado em ar, envia e recebe informações. A esta troca de dados, consegue-se receber informações únicas de aeronaves, além do alvo já mostrado pelo PSR, como identificação de aeronave e nível de voo, sendo este último quando o transponder possui o modo “C”, conforme será visto na Figura 17 (GALOTTI, 1997).

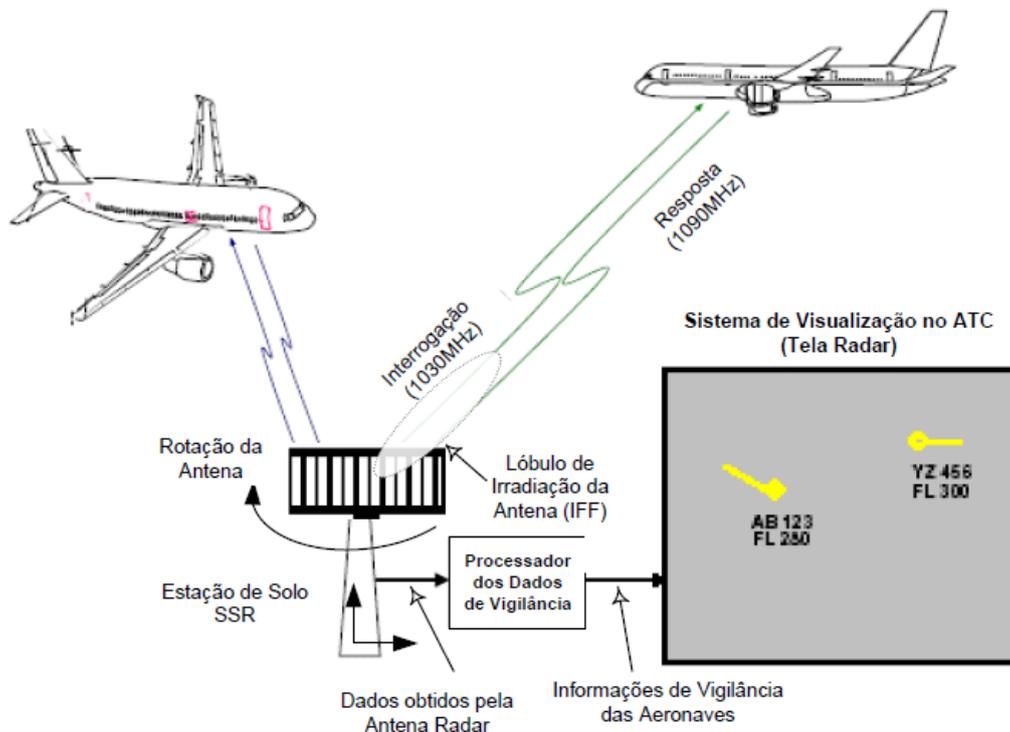


Figura 17 - Esquema Funcional de um Radar Secundário (SSR)
 Fonte: Vismari (2007, p. 43).

A Área Terminal Porto Alegre vem utilizando estas duas ferramentas há anos. Com o avanço da tecnologia, as aeronaves possuem cada vez mais sistemas digitais de alta confiabilidade embarcados. Com isso, pode-se usufruir de mecanismos mais modernos, precisos e seguros em relação à vigilância. O monitoramento digital terrestre, em pátios e áreas de táxi de um aeroporto, vem acompanhando a constante evolução desta frente que constitui ferramentas do sistema CNS/ATM. A seguir, será observado como a utilização de

tecnologia com base em satélites pode prover uma melhoria operacional por parte de pilotos e controladores na área Terminal Porto Alegre.

4.3.2 Ferramentas de vigilância

O conceito CNS/ATM envolve uma modernização com base em sistemas digitais nas mais diversas frentes. Por fazer parte deste sistema, da mesma forma que a comunicação e a navegação vêm aprimorando suas ferramentas, a vigilância deve evoluir numa progressão igual ou equivalente às outras frentes. A alta tecnologia do monitoramento, principalmente, é fundamental para prover um descongestionamento de frequências e de gerenciamento do tráfego aéreo. Com isso, cabe ao piloto como tarefa apenas a navegação e seu respectivo gerenciamento, sendo equivalente a mesma função ao controlador do tráfego aéreo. A vigilância no sistema CNS tende a deixar de ser tarefa delegada ao homem, cabendo à tecnologia através da automação desta função este dever.

4.3.2.1 Automatic Dependent Surveillance Broadcast - ADS-B

A Vigilância Dependente Automática- Radiofusão (*Automatic Dependent Surveillance- Broadcast* – ADS-B) consiste em uma nova tecnologia capaz de auxiliar a modernizar o sistema de transporte aéreo. Chujo (2007, p. 112) assim define:

ADS-B é um acrônimo que tem o seguinte significado:

- Automatic - está sempre ligado e não requer intervenção de operador.
- Dependent - depende de sinais GNSS de acurácia para fornecer dados de posição.
- Surveillance - fornece dados de vigilância para controladores em solo e outras aeronaves.
- Broadcast - transmite sinal em intervalos regulares para qualquer aeronave ou estação devidamente equipada com ADS-B.

Com o objetivo de, entre outros, facilitar a transferência de informações entre aeronaves, este sistema transporta para a vigilância aérea a precisão e a confiabilidade dos satélites (BOEING, [entre 2005 e 2010]). Baseado em enlace de dados digitais pré-formatados

(*datalink*, já citado anteriormente), diversas informações, tais como mensagens de posição, informações de rota e meteorologia podem ser enviadas e recebidas entre aeronaves e estações de terra, tais como órgãos ATC ou a quem desejar, em tempo real. Assim, substitui-se o método atual de vigilância aérea, colocando em serviço um sistema muito mais avançado e que, segundo Galotti (2007, p. 150, tradução nossa) “é capaz de monitorar todas as etapas do voo, garantir uma separação segura entre aeronaves e ainda responder de forma imediata as solicitações enviadas pelos usuários”.

Diferentemente de um conceito ADS mais antigo (ADS-C), aonde a transmissão de informações dava-se exclusivamente por contrato (reportes de mensagens automaticamente enviados em tempo pré-determinados), através de demanda (mensagens quando necessário), evento (quando solicitado), período ou emergência, o ADS-B, de acordo com Vismari (2007) consegue prover a segurança necessária para viabilizar o fluxo de aeronaves por meio de mensagens em radiofusão periódicas e ainda por contrato para qualquer estação de ar ou solo equipada com o sistema receptor. A não utilização por contrato determina o envio de informações a usuários desconhecidos, gerando assim um campo maior de informação disseminada, sendo este meio o principal para atuar em conjunto com o gerenciamento de tráfego aéreo. A TMA Porto Alegre, conforme será visto poderá usufruir deste sistema como uma medida preditiva ao aumento do tráfego de aeronaves que é estimado para os próximos anos.

Composto por combinações de satélites, receptores e transmissores em terra e embarcados a bordo de aeronaves, tal sistema comunica-se entre si através de faixa de enlace de dados digitais nas frequências de 1090Mhz para envio e 1030Mhz para recebimento. Os respectivos sinais saem de forma contínua de uma aeronave qualquer que disponha de um aparelho denominado Transponder Modo-“S”. Este tipo de aparelho consiste em um transmissor-receptor com capacidade de comunicação via *Datalink*, através de envio de sinais (pulsos) pré-formatados capazes de identificar e interrogar o nível de voo de uma aeronave e sua respectiva identificação durante o voo para receptores que se encontram na terra (em um órgão de ATC, por exemplo) e ar (outras aeronaves). Ao primeiro tem-se, portanto, as informações de vigilância referente aos tráfegos. A grande inovação está na comunicação direta ar-ar entre aeronaves. Diferentemente do serviço de vigilância atual que vem sendo utilizado na região brasileira, o ADS-B consegue enviar diretamente, em um raio de até 100 milhas náuticas (sendo 40NM o habitual), informações sobre posição lateral (latitude e longitude), altitude e número do voo para qualquer aeronave que disponha do receptor embarcado, diminuindo assim a interação e o conseqüente congestionamento causado nas frequências pelas comunicações entre controlador de voo e aeronave. Ao usuário receptor,

tem-se a informação do tráfego através de uma interface conhecida como CDTI (*Cockpit Display of Traffic Information*). Usualmente, conhece-se o CDTI como ACARS, já mencionado em capítulo anterior. A precisão em determinação de tempo, hora GMT, das aeronaves que possuem o sistema GNSS a bordo garante ainda as informações pertinentes quanto à velocidade do outro tráfego (BOEING, 2010).

De acordo com o que foi mencionado anteriormente neste trabalho e acrescentando informações relativas ao *website* da *ADS Technologies* ([200-]), empresa especializada na fabricação destes sistemas, tem-se no ADS-B a função de comunicação ar-ar entre aeronaves, possibilitando a transmissão de inúmeras informações como identificador de voo, posição, hora, explorador da aeronave e a categoria do emissor, velocidade terrestre, velocidade no ar, manobras imediatas da aeronave, raio de giro, tipo da aeronave e de eventos ou ações esporádicas da hora. Esta diversidade de dados só é possível através de dispositivos acoplados ao equipamento conhecidos como UAT (transmissor de sinais digitais), FIS-B (responsável por captação de informações meteorológicas e pré-definidas da região de voo da aeronave) e TIS-B (responsável pela informação de tráfego nas proximidades). A estes equipamentos, tem-se o que é previsto para o funcionamento completo desta frente de vigilância. Similar ao funcionamento de um TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*), o ADS se difere deste e se torna mais complexo e eficaz por fazer uso de uma interface de comunicação embarcada nas aeronaves, porém ainda provendo informação referente a tráfego nas proximidades, emitindo, quando possível, avisos de manobras evasivas verticais necessárias para evitar a colisão aérea. O ACARS basicamente possibilita a aquisição de informações que o sistema de anti colisão de bordo das aeronaves fornece e disponibiliza a usuários pré-determinados ou, conforme já explanado, à quem estiver dentro do raio de alcance, sem possuir o controlador de voo como intermediador.

A fim de prover o total funcionamento do ADS-B, tanto os componentes embarcados em ar quanto os de solo necessitam de instalação completa. Quanto ao primeiro, antenas associadas ao sistema americano GPS devem ser instaladas com o intuito de receber informações dos satélites relativas à velocidade e posição. Com estes dados, o *transponder* modo “S” da aeronave disponibiliza sinais para antenas ATC posicionadas em solo sobre essas informações. Ainda relacionado a equipamentos embarcados nas aeronaves, o ADS-B para disponibilizar informações de tráfego, utiliza associação de antenas do sistema de *Airborne Collision Avoidance System/ Traffic Alert and Collision Avoidance System* (ACAS/TCAS). Essas informações então são processadas e enviadas aos CDTI das outras aeronaves (BOEING, 2010). Segundo Chujo (2007, p. 21):

Para manter a comunicação entre piloto e controlador de tráfego aéreo, a aeronave deve ser equipada com [...]:
 “ADS-B *Out*”: Permite identificação e transmissão de parâmetros de navegação para uma estação ou rede de estações em solo; e
 “ADS-B *In*”: O piloto visualiza a informação de tráfego fornecida por centros ATC [...] do CDTI (*Cockpit Display of Traffic Information*).

Quanto aos componentes de solo, o sistema de ATC deve possuir um receptor (antena que permita um máximo alcance horizontal), um decodificador de sinais, alimentação elétrica e um sistema de comunicação (BOEING, 2010). A Figura 18 exemplifica a explicação, não mostrando, no entanto, a comunicação de dados do avião para os satélites e o subseqüente envio para o receptor ADS-B em solo, indispensável para cobertura em regiões polares e oceânicas..

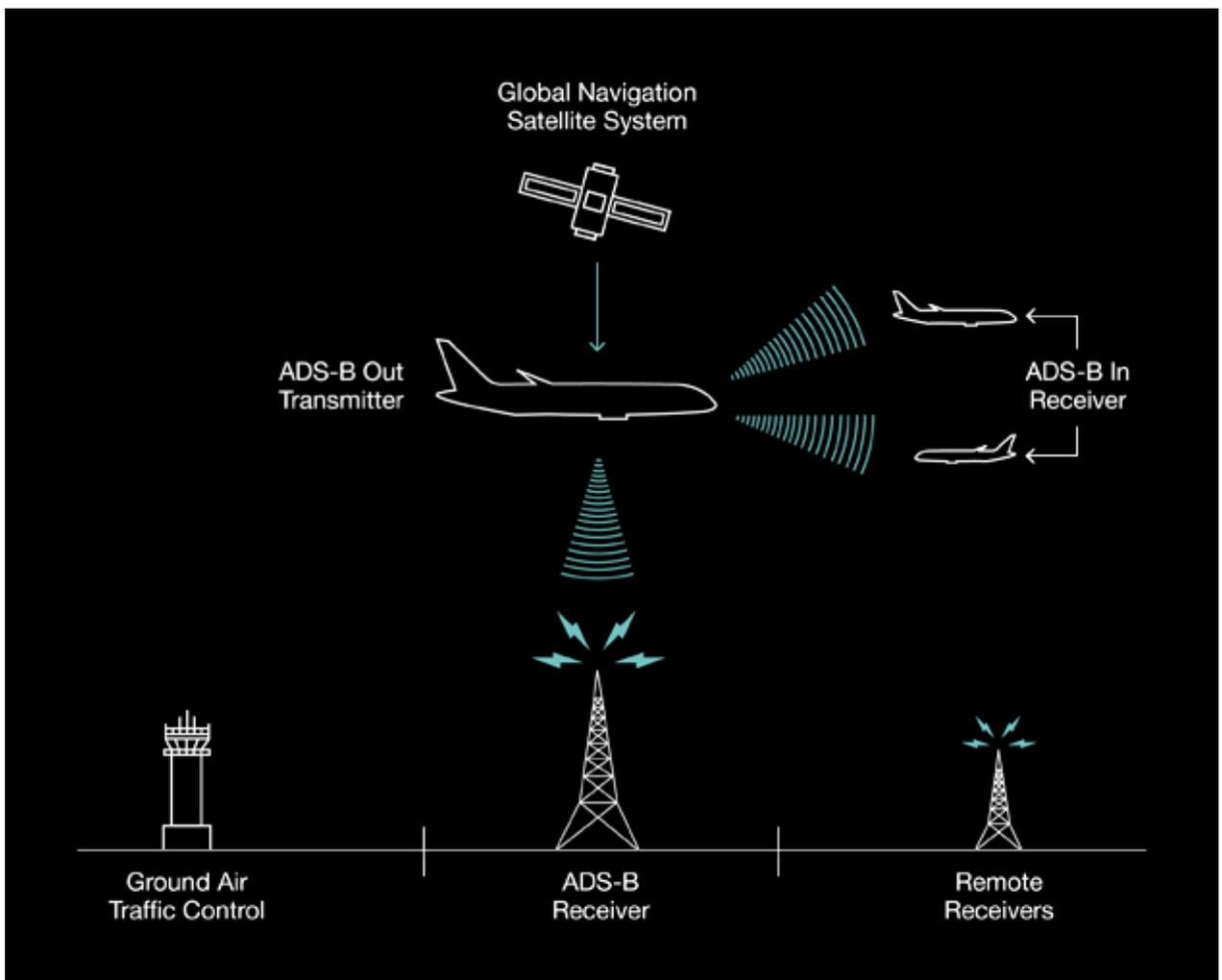


Figura 18 - Esquema do ADS-B

Fonte: (ADS-B- Boeing, 2010). Altura: 630 pixels. Largura: 513 pixels. 70,4 dpi. 155,2 Kb. Formato GIF.

Disponível em: < http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_02_10/2/>. Acesso em: 05 out. 2010.

4.3.2.1.1 Análise dos benefícios do ADS-B na TMA Porto Alegre

A eliminação de um contato direto entre controlador de voo e pilotos possibilitará inúmeras vantagens. A utilização deste sistema para prover um controle em solo, face a disponibilidade de funcionamento integral do ADS em baixas altitudes, também é possível (A-SMGCS), conforme será mencionado no próximo sub-capítulo. A seguir estão listados alguns dos principais benefícios que o ADS-B poderá prover na área Terminal Porto Alegre:

- **Segurança:** como qualquer ferramenta do conceito CNS/ATM, o ADS-B propõe aumentar a eficiência e a capacidade do uso do espaço aéreo, mantendo ou melhorando, no entanto, a segurança durante as operações. A rápida atualização em informações permite aos usuários que estejam dentro de uma área terminal a perceberem qualquer mudança relativa ao trajeto de uma determinada aeronave que possua o ADS-B instalado em até 5 segundos, sendo a probabilidade de atualização do sistema, de 98% em relação a este período (VISMARI, 2007).

Por se tratar de praticamente um sistema exclusivo destinado para comunicação entre aeronaves, o papel do controlador de voo passa a ser quase que integralmente de apenas monitorar em uma tela de radar as ações das aeronaves. A área TMA Porto Alegre, portanto, terá benefícios em relação às aeronaves que sobrevoarem seu espaço aéreo jurisdicionado e não em relação às mudanças previstas nesta região. A consciência situacional da tripulação de um voo perante outra(s) aeronave(s) que circundam a mesma região, bem como a rapidez quanto à percepção de tráfego, sem o auxílio do controlador de voo, possibilitam a formulação de pensamentos mais velozes em relação às possíveis decisões de mudança de trajetória. Com isso, tem-se uma informação mais precisa destinada a varias aeronaves, sem o atraso comum de 6 a 12 segundos que um radar secundário leva em média para fazer uma varredura de 360° em uma determinada região, como a TMA Porto Alegre (BOEING, 2010).

Radares de Vigilância (SSR)- <i>scan</i> em 12s	ADS-B- <i>scan</i> em 5s em TMA
.Identificação e Altitude	.Posição 4-D, identificação, velocidade, altitude, tipo de manobra (subindo, descendo, virando) e intenção de voo

Quadro 4 - Comparativo SSR *versus* ADS-B- Funções

Fonte: Chujo, Amália. **Tecnologias de Navegação Aérea por GNSS e DGNSS para operação CNS/ATM: aplicações para o Brasil.** (2007, p. 25).

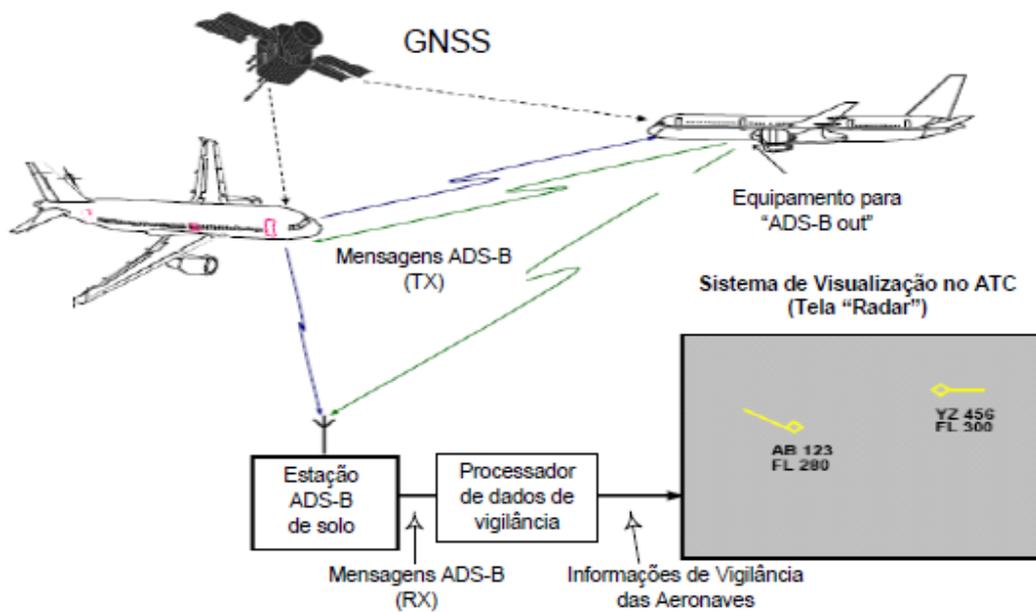


Figura 19 - Esquema Funcional de um Sistema ADS-B para ATC
 Fonte: Vismari (2007, p. 65).

- Capacidade: a segurança desta ferramenta possibilita às aeronaves que embarcam este sistema a receberem informações de imediato quanto a outros tráfegos. Com isso, pode-se reduzir a separação vertical e horizontal mínima das aeronaves, face um maior intervalo de tempo disponível em relação a um SSR para prover ações evasivas. Em uma área Terminal como a Porto Alegre, o aumento da capacidade de tráfego é consequência conforme o que se observa na tendência mundial. O maior número de aeronaves exige das regiões de aproximação a adaptação ao intenso fluxo de aeronaves. Com tal precisão, o ADS-B pode prover aos usuários a separação em 5NM em espaço aéreo não-radar e menos de 3NM de separação entre tráfego quando o controlador de voo possui a visualização de seu espaço (BOEING, 2010). Com a junção de procedimentos RNAV em área terminal, consegue-se agilizar o tempo previsto para pouso em aeronaves. A tecnologia via satélite frequentemente permite aproximações diretas²³ com uma pequena margem de separação. Em se tratando de aproximação no aeroporto Salgado Filho, pode-se, ao invés de manter uma separação de aproximadamente 5 milhas náuticas (equivalente à distância da cabeceira da pista 11 ao radiofarol IP), consegue-se reduzir esta separação para praticamente a metade da distância adotada atualmente.

²³ Aproximações em que uma aeronave permaneça, no máximo, 30° em relação à trajetória da pista.

O grande problema atual da implementação deste sistema é em relação à infraestrutura aeroportuária; o Rio grande do Sul, bem como a totalidade do país, não possui condições de suportar o tráfego atual e o estimado para os próximos 4 anos. Uma pesquisa realizada pelo setor de *Safety* da Gol Linhas Aéreas Inteligentes, avaliou, por exemplo, como situação crítica os aeroportos Salgado Filho e Campos dos Bugres (Caxias do Sul). O aumento da capacidade de tráfego aéreo na terminal encontra obstáculos em outros fatores aeroportuários, tais como a alta inconformidade com pistas de pousos, de táxi e procedimentos de saída e chegada que também determinaram a alta probabilidade de acidentes e CFIT nessas regiões (AERO MAGAZINE, 2009). Ferramentas do CNS/ATM sozinhas não terão a capacidade de resolver completamente o problema aeroviário brasileiro. O aumento da capacidade dos aeroportos, inclusive da região Sul do país, possibilitarão um maior conforto em relação a slots e acomodações das aeronaves do transporte aéreo regular, principalmente.

- Custo: após pesquisa, Chujo (2007, p. 113) afirma que “o custo do ADS-B é menor do que o do radar convencional de vigilância e ainda permite maior qualidade de vigilância tanto em solo quanto no espaço aéreo”. As tecnologias mais avançadas vêm se mostrando com um alto investimento para os seus desenvolvimentos, entretanto possuem um menor custo de aquisição quando já prontas para as suas utilizações. Dunstone (2007 apud VISMARI, 2007) informa que dependendo da situação da estrutura terrestre de um determinado país, tais como a quantidade de torres de comunicação e o nível de comunicação digital já implantada, o custo da instalação do ADS-B pode diminuir de valor. Obviamente que antes de cada aquisição por parte do Governo Federal brasileiro, através do DECEA, deve-se realizar um estudo agregando valores de implementação de determinado sistema. A seguir, a Tabela 4 mostra um estudo estimado do custo de aquisição e instalação do ADS-B para o território australiano (rota, área TMA e superfície) comparando-o com o custo do SSR hoje utilizado como meio primário de vigilância (valores convertidos para moeda brasileira, aonde AU\$ 1,00= R\$ 1,65). Valores não referentes aos equipamentos instalados nas aeronaves.

Tabela 4 - Comparativo SSR *versus* ADS-B- Custo

Radares de Vigilância (SSR)	ADS-B
.R\$ 9.900.000,00	.R\$ 627.000,00

Fonte: DUNSTONE, 2007. **Vigilância Dependente Automática no Controle de Tráfego Aéreo: Avaliação de risco baseada em modelagem em redes de Petri Fluidas e Estocástica.** São Paulo: Vismari, 2007, 115 p.

O continente australiano possui aproximadamente 7,7 milhões de quilômetros quadrados, enquanto que a área TMA Porto Alegre, conforme visto anteriormente, apresenta cerca de 67 mil km². Com isso, tem-se a proporção aproximada de 1:110. Considerando a região desta Terminal semelhante ao que é encontrado em solo australiano no quesito de infra estrutura, pode-se criar uma tabela, como a abaixo, com valor proporcional relativos às instalações de SSR e ADS-B na área de interesse, sem levar em consideração o equipamento instalado nas aeronaves:

Tabela 5 - Comparativo SSR *versus* ADS-B- Custo na TMA Porto Alegre

Radares de Vigilância (SSR)	ADS-B
.R\$ 90.000,00	.R\$ 5.500,00

Fonte: O Autor (2010).

Obviamente que os valores acima são suposições baseadas em dados oficiais do governo australiano. A realidade encontrada no Rio Grande do Sul, e no território brasileiro inteiro, é muito diferente e inferior ao que se espera. Entretanto, com estes dados, fica a informação relativa ao custo de implantação do ADS-B. Esta ferramenta além de ser muito mais eficiente e segura, possibilita um menor custo de aquisição, operação e manutenção.

4.3.2.2 Sistema Avançado de Orientação e Controle de Movimento de Superfície - A-SMGCS

O constante aumento do tráfego aéreo implica em reduzir a separação de aeronaves em um mesmo espaço, sendo o sistema CNS/ATM uma ferramenta que auxilia a concretização desta meta. Como consequência do aumento no número de aeronaves, tem-se, obviamente, um aumento na demanda dos aeroportos. Com um alto movimento em superfície por parte dasos veículos, a probabilidade de *runway incursion*²⁴, desorientação durante táxi e outros problemas agravados por um aumento na capacidade dos aeródromos, torna-se elevada, sendo ferramentas conhecidas por *Surface Movement Radar* (SMR) responsáveis por visualizar o movimento em grandes aeroportos atualmente (EUROCONTROL, 2006a).

Embora o SMR ainda venha sendo amplamente utilizado em escala global, este sistema apresenta inúmeras limitações. O Sistema Avançado de Orientação e Controle de

²⁴ Risco potencial de colisão envolvendo dois veículos que tenham intenção de voo, aonde uma aeronave, inadvertidamente, ingressa em uma pista de pouso ou de táxi sem autorização.

Movimento de Superfície (A-SMGCS) está sendo desenvolvido e implantado com o intuito de auxiliar as movimentações em solo das aeronaves, tendo como base a utilização de tecnologia predominantemente digital. Funcionando de forma igual a um sistema ADS-B, este meio de monitoramento por parte de controladores de solo necessita que aeronaves, ou até mesmo meios de transporte terrestres, enviem informações através de um Transponder Modo S embarcado nestes veículos. Com dados recebidos através deste aviônico, a informação se interroga com um equipamento instalado em conjunto a um SMR, similar a uma antena de radar secundário, aonde através de conversão de sinais, o órgão ATC consegue visualizar na tela de um radar de superfície todo o movimento e as informações de tráfego em um respectivo aeródromo, o qual é mostrado no visor. Pode-se ainda obter a visualização dos tráfegos em solo com base no envio e recebimento de dados via *datalink* e/ou informações baseadas em ADS “*In*” e ADS “*Out*” entre aeronave e estação de terra (GALOTTI, 1997). Com isso o controlador de solo consegue dispor de visualização semelhante a que um APP ou ACC possui nas telas de radar enquanto uma aeronave realiza um voo, tendo as informações da companhia aérea da aeronave, velocidade de deslocamento durante o táxi, tipo de equipamento, entre outros.

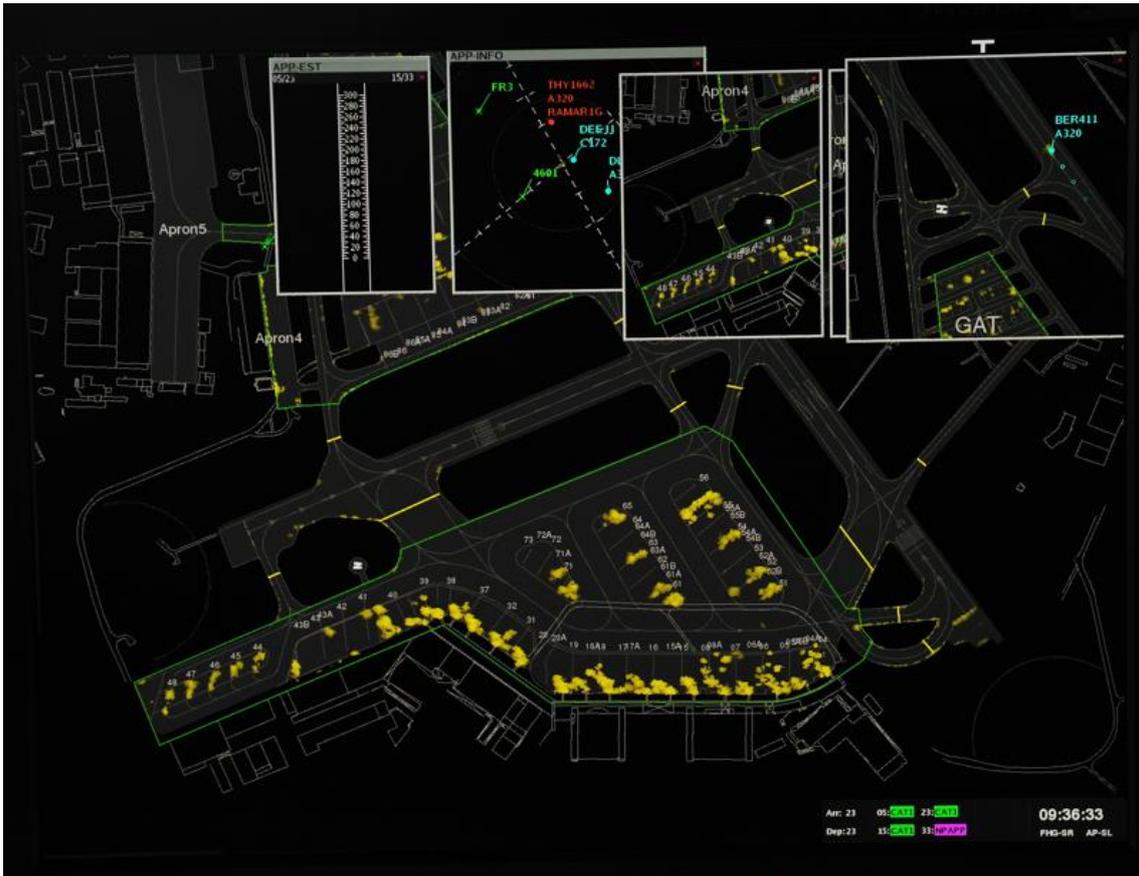


Figura 20 - Visualização do Sistema A-SMGCS em um visor de SMR

Fonte: (A-SMGCS Hamburg Airport). Altura: 800 pixels. Largura: 617 pixels. 65,7 dpi. 344,0 Kb. Formato JPEG.

Disponível em: < <http://www.aviation-friends-hamburg-forum.de/showthread.php?tid=2136>>. Acesso em: 22 set. 2010.

Dividido em 4 níveis de operação, o Sistema Avançado de Orientação e Controle de Movimento de Superfície permite, de acordo com a Eurocontrol ([2006]) “*improve [...] procedures and practices in the face of increasing traffic levels, airport complexity and the need to maintain the highest level of service at all times*”²⁵. Independentemente das condições meteorológicas que circundam um campo de pouso, este sistema consegue visualizar todas as áreas de movimento de um aeroporto. O primeiro estágio do sistema representa a vigilância, com o intuito de manter o controlador com uma consciência situacional elevada sobre tal operação. Já o segundo nível do A-SMGCS disponibiliza funções de alerta e predições relativas a um veículo que está ou possa vir a adentrar sob condições de incursões de pista, ingresso em áreas proibidas ou qualquer outra situação que possa colocar em risco as operações de táxi. Os dois últimos estágios desta ferramenta, ainda não desenvolvidos

²⁵ Melhora procedimentos e praticas de acordo com os níveis de tráfego, complexidade de aeroportos e a necessidade de manter o maior período de serviços por todo o tempo.

completamente, irão possibilitar táxis mais eficientes e rápidos, em face de comunicação automática entre transponder e interrogador. Com isso, o sistema embarcado a bordo receberá informações sobre a melhor rota e seus respectivos obstáculos e tráfegos até uma pista de decolagem ou uma posição de estacionamento, diminuindo assim a carga de trabalho e conseqüentes falhas humanas durante as autorizações de táxi por parte de controladores, tempos de espera ou movimentação em solo, tão prejudiciais ao meio ambiente, e aumentando a disponibilidade ocupacional do aeroporto e a satisfação do passageiro.

4.3.2.2.1 Análise dos benefícios do A-SMGCS na TMA Porto Alegre

Embora o A-SMGCS ainda seja tratado como um equipamento em fase de desenvolvimento, seus benefícios já são amplamente conhecidos. Conforme já mencionado anteriormente, a região do aeroporto Salgado Filho é caracterizada por registrar com certa frequência a existência de nevoeiros. Em adição, este campo de pouso, diferente de outras pistas localizadas dentro desta área TMA como os aeródromos de Canoas e Caxias do Sul, se caracteriza por possuir “pontos cegos” em relação ao controlador da frequência GND e TWR. A utilização de uma ferramenta que possibilita a visualização de aeronaves em situações adversas, independentemente da condição meteorológica ou da posição em que as mesmas se encontram, iria contribuir para o andamento contínuo e seguro das operações de táxi no aeroporto de Porto Alegre. O crescimento na demanda do transporte aéreo implica em maior carga de trabalho por parte de, principalmente, controladores de voo. A chance de acidentes devido a incursões e/ou outras situações anormais durante táxi aumenta, pois a tendência é a existência de um número de aeronaves maior, enquanto que o espaço disponível, por enquanto, continua a ser o mesmo. A Figura 21 esboça uma planta simplificada do aeródromo de Porto Alegre, aonde podem ser vistos os “pontos cegos”:

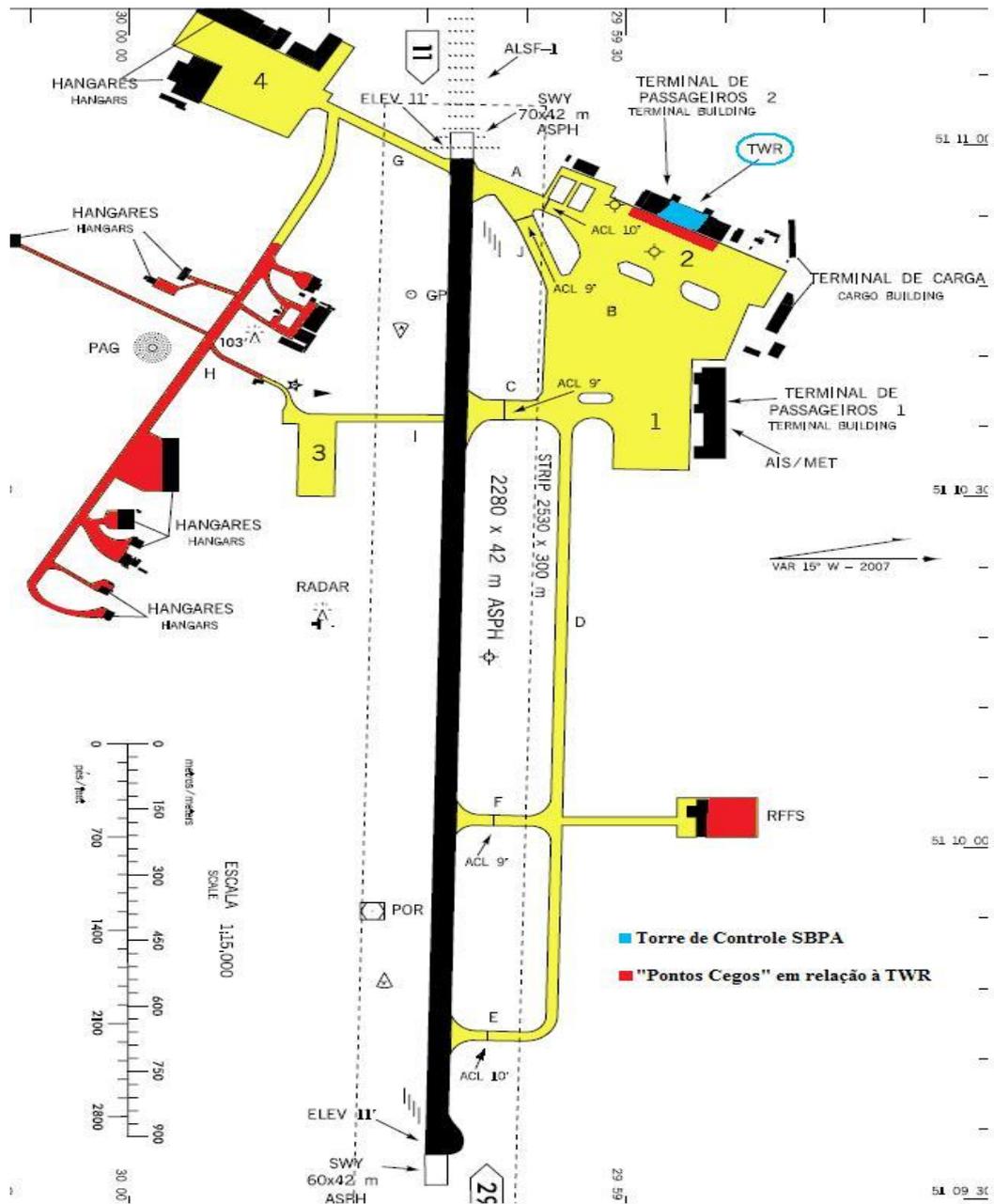


Figura 21 - "Pontos cegos" em relação à TWR do Aeroporto Salgado Filho vistos em ADC do DECEA
 Fonte: O autor (2010)

Devido à existência de obstáculos naturais e construídos pelo homem, como árvores e prédios, respectivamente, o controlador de movimento de superfície (posição *Ground*) do aeroporto SBPA, por se localizar no mesmo local da TWR, tem sua visibilidade limitada em vários pontos do aeródromo, conforme a ilustração acima nos mostra. A implementação de um sistema A-SMGCS necessita de um estudo prévio, mas de acordo com a situação e projeção futura deste campo de pouso situado na TMA Porto Alegre, a instalação deste moderno sistema trará benefícios, conforme segue:

- **Vigilância:** atividades intensas, como as aéreas, exigem por parte de seus trabalhadores um alerta constante sob eventuais condições adversas ao decorrer das operações. O Sistema Avançado de Orientação e Controle de Movimento de Superfície possibilita um aumento de consciência situacional perante controladores de tráfego aéreo, pessoal de solo e pilotos, pois este aparelho consegue visualizar em qualquer condição todo o movimento, de aeronaves à veículos de auxílio, em todas as regiões de movimento de um campo de pouso (EUROCONTROL, 2006a).

- **Continuidade das operações:** o A-SMGCS, por possuir uma tecnologia avançada e segura que o ADS trouxe à aviação, permite aos controladores responsáveis manter a continuidade das operações em solo, por meio de ações em que o radar de superfície (SMR) não é capaz de realizar. Com esta ferramenta, torna-se fácil sua utilização para evitar incursões, fornecer alertas, autorizar o táxi de aeronaves pelo caminho mais seguro e eficaz e ainda monitorar em tempo real a situação dos veículos sobre a pista, independentemente das condições meteorológicas sob o aeródromo (EUROCONTROL, 2006a). Com o Sistema Avançado de Orientação e Controle de Movimento de Superfície acoplado em SMR's, o Aeroporto Internacional Salgado Filho estaria preparado para receber um intenso número de aeronaves, sem ao entanto, necessitar a contratação prévia de pessoal.

- **Custo:** embora o A-SMGCS possa aparentar um alto investimento, seu retorno tende a ser rápido e eficaz. De acordo com a Eurocontrol (2006b), partindo do princípio em que um aeroporto já possua um SMR (o que não é o caso do Salgado Filho), para a implantação deste sistema, homologando-o apenas em nível I (vigilância), seria necessária uma adequação na infra estrutura, sistemas de fusão de dados e interface de usuários. Com isso, gastar-se-ia cerca de 3,3 milhões de Euros para a instalação, mais, aproximadamente, 274.000 mil Euros relativos à custos operacionais e manutenção anual em um aeroporto de médio porte. Entretanto, ainda segundo a Eurocontrol (2006b), o A-SMGCS *Level I* em operação em um aeroporto médio, como o da capital do Rio Grande do Sul, pode prover uma redução de custo

decorrente de atrasos causados por restrição de visibilidade durante as operações. Para determinar tais valores, como mostrado na Tabela 6, foi estipulado um aeródromo que fecha cerca de 35 dias por ano devido à problemas meteorológicos, dentre, dos quais, 40% são causados por restrição de visibilidade, o que torna a situação muito semelhante ao que é observado em SBPA:

Tabela 6 - Economia gerada com utilização do A-SMGCS

A-SMGCS LEVEL I	ECONOMIA (€) NAS OPERAÇÕES EM AEROPORTO MÉDIO
Redução em Atrasos	€ 360.000,00
Menor tempo de táxi	€ 280.000,00
TOTAL	€ 640.000,00

Fonte: EUROCONTROL, 2006. *Final Report and the Generic cost Benefits Analysis of A-SMGCS*. Brussels: Eurocontrol, 2006, 11 p.

A possibilidade da instalação deste sistema iria tornar o Aeroporto Salgado Filho altamente preparado para operações em solo sem alterar o projeto do aeroporto ou o número de controladores. Em um período de curto a médio prazo, o valor investido na implementação do A-SMGCS retorna, provendo ainda a segurança e a praticidade necessária para as operações aéreas, independente do número de aeronaves a serem atendidas e em qual situação de visibilidade o aeroporto se encontra.

4.4 GERENCIAMENTO DO TRÁFEGO AÉREO

Após as frentes de o Sistema CNS serem vistas, observa-se que todas as ferramentas relacionadas a este tendem a melhorar o gerenciamento no fluxo e controle de aeronaves, mais especificamente dentro de uma área Terminal, como a TMA Porto Alegre. A implementação de uma tecnologia mais moderna, com ênfase na transmissão de informações digitais tendem a melhorar o rendimento das operações. A maioria dos dispositivos vistos anteriormente prioriza a melhoria nas operações dentro do *cockpit* das aeronaves, entretanto, o ATM (*Air Traffic Management*), tendo o controlador de voo como interface entre o CNS e este, usufrui-se de melhorias que o auxiliam a manter a consciência situacional perante o controle de aeronaves. A área Terminal caracteriza-se por possuir a maior carga de trabalho tanto para

pilotos quanto para controladores, pois é dentro deste espaço em que, na maioria das vezes, as aeronaves realizam procedimentos de saída ou chegada de um aeroporto. Com a chegada deste novo conceito de gerenciamento, ferramentas e hábitos usados normalmente terão que sofrer algumas alterações. O ATM no Controle de Aproximação (APP) é “um sistema dinâmico de grande variabilidade de situações, por vezes de alta complexidade, geralmente exigindo do controlador rapidez nas tomadas de decisão” (VARGAS, 2007, p. 16).

4.4.1 O controlador de tráfego aéreo

A ICAO preconiza por meio de sua Circular 216-AN31 o modelo conceitual criado por Hawkins (1975) denominado SHELL durante as atividades que se relacionam diretamente com a aviação. Neste modelo tem-se a interação do homem com as demais frentes de um sistema, como *Software* (procedimentos), *Hardware* (equipamento), *Liveware* (humano) e *Environment* (ambiente). Basicamente, caso venha a ocorrer uma falha ou erro em uma operação, o motivo deve-se à falta de interação entre todos os elementos envolvidos no sistema, e não propriamente no ser humano ou em apenas um fator, sendo o sucesso dependente de um conjunto harmonioso das ferramentas disponíveis para o usuário. A partir disso, entende-se o princípio de os fabricantes aeronáuticos desenvolverem *cockpits* cada vez mais modernos e intuitivos a uma tripulação. A área de controle de voo exige diversas ferramentas e interfaces para se obter o melhor controle e vigilância possível de aeronaves. O uso do conceito CNS/ATM possibilita a eliminação de ferramentas suscetíveis ao erro, um convívio mais sereno com as tarefas, com a redução de carga de trabalho e a entrada de equipamentos mais seguros e eficazes. Desta forma, de acordo com o modelo SHELL, tem-se a tentativa de interação máxima do controlador de tráfego aéreo com o sistema e os equipamentos disponíveis, com o intuito de mitigar ao máximo os erros e zelar pela segurança das operações (ICAO, 2005).

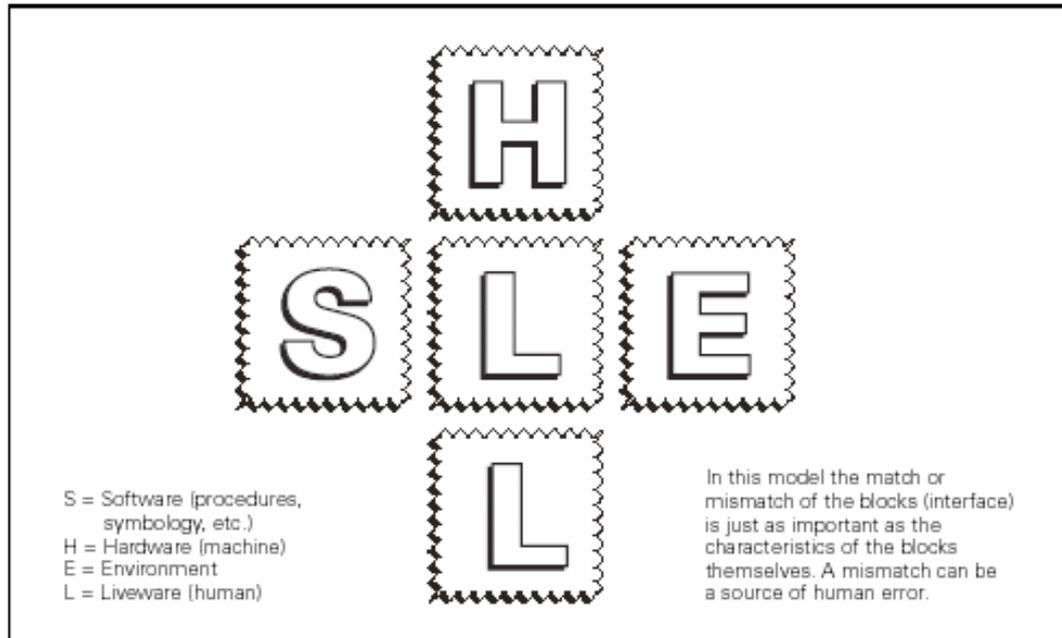


Figura 22 - Modelo SHELL, Hawkins 1975

Fonte: (SHELL Model). Altura: 301 pixels. Largura: 496 pixels. 65,7 dpi. 10,1 Kb. Formato GIF. Disponível em: <<http://www.atlasaviation.com/AviationLibrary/FundamentalHumanFactorsConcepts/FundamentalHumanFactorsConcepts5.htm>> Acesso em 18 out. 2010.

Conforme a tecnologia proveniente com base em sistemas digitalmente avançados cresce e se implanta ao longo dos países, novos meios e técnicas para se obter o convívio harmonioso com o decorrer das operações aeronáuticas são desenvolvidas. Analisando de acordo com o modelo SHELL, as ferramentas do CNS/ATM possuem como ênfase a diminuição de atividade repetitiva do ser humano, como transmissão de mensagens e/ou autorizações. Com a transferência destas funções para o *hardware* do sistema, é natural que algumas ações ou até mesmo alguma interface entre homem e máquina desapareçam. O controlador de voo, por fazer parte do gerenciamento de tráfego aéreo, atividade diretamente relacionada às operações aeronáuticas, está suscetível às mudanças impostas por uma frente que visa a segurança e eficiência pelo uso da tecnologia. Algumas ferramentas que vêm sendo utilizadas de forma freqüente por parte dos ATC's tendem a ser substituídas ou até mesmo eliminadas. Rebello (1998, p. 1), ao afirmar que “há a necessidade de enfatizar a ligação entre ergonomia cognitiva e o processo de comunicação do controlador durante as tarefas junto aos sistemas utilizados”, demonstra a importância deste cargo perante às operações aéreas. Uma área Terminal como a TMA Porto Alegre possui ampla dependência de um controlador para o sucesso das operações. Analisar as mudanças que a introdução de sistemas referente ao CNS/ATM podem causar neste *liveware* é necessário para entender o ATM quando relativo à este novo conceito.

- Aumento da tecnologia: a implementação de ferramentas do CNS/ATM obriga a usuários terrestres e aéreos a mudarem o conceito dos sistemas utilizados por interfaces mais modernas e capazes de receber as informações na formatação que tal sistema requer. Por parte de um controlador de tráfego aéreo, tem-se a tendência de mudar as ferramentas de visualização de tráfego até então utilizadas. Modificar o *Environment* para que este se adéque ao padrão de monitoramento via satélite implica em grandes melhorias na segurança das operações, entretanto, Rebello (1998) destaca que devido à inserção de interfaces gráficas no posto de trabalho dos controladores, as quais possibilitam a visualização colorida de tráfegos e até mesmo produzir uma autorização de plano de vôo em poucos segundos, é necessário uma mobilização geral por parte dos operadores de solo, com o único objetivo de, conforme modelo SHELL, melhorar o relacionamento entre homem, máquina e ambiente, O surgimento do *Datalink* disponibiliza informações com capacidade infinitamente mais elevada em relação ao sistema normal (REBELLO, 1998), como o utilizado na Terminal Porto Alegre. Com uma menor probabilidade de erros nas mensagens aonde não se utiliza a interface humana para a comunicação, pode-se cogitar um possível aumento no numero “n” perante os controladores de tráfego aéreo. A inserção da tecnologia avançada, na medida em que possibilita um aumento no fluxo de tráfego aéreo, demonstra uma redução na carga de trabalho do *Liveware*. As Figuras 23 e 24 mostram a evolução dos equipamentos de trabalhos utilizados pelos controladores de voo de uma área Terminal no Brasil:



Figura 23 - O Controlador de Voo e sua Interface Antiga

Fonte: (Controladores de Voo). Altura: 259 pixels. Largura: 356 pixels. 90,7 dpi. 236,6 Kb. Formato JPEG.

Disponível em: < http://educaconscente.blogspot.com/2007_04_01_archive.html>. Acesso em: 25 out. 2010.



Figura 24 - O Controlador de Voo e sua nova Interface
 Fonte: (APP Curitiba- Voo). Altura: 335 pixels. Largura: 519 pixels. 98 dpi. 730,6 Kb. Formato JPEG.
 Disponível em: <<http://www.comboiguassu.com.br/blog>>. Acesso em: 25 out. 2010.

• Recursos do Controlador; a *Strip*: com o intuito de mencionar uma das diversas ferramentas de trabalho utilizada pelos ATC's, pode-se citar a mais comum entre as pessoas que circundam por este meio. Não relacionada ao Sistema CNS/ATM, mas influenciada pela tecnologia que tal fornece, a *Strip*, suporte originalmente impresso em um papel assim que uma aeronave fosse autorizada a realizar um voo e atualizada à mão conforme o progresso da rota, esta ficha tem a função de auxiliar o controlador de tráfego aéreo a monitorar o progresso de um vôo sob sua responsabilidade. Em uma área Terminal, por exemplo, a *Strip* fornece ao APP informações sobre o operador da aeronave, o vôo a ser realizado, em determinado nível e velocidade, além da SID/IAC previstas.

BTC2937	7520 4125	360	350	NEG 2136	TRA 2142	BEN 2151
UDD NINTU T154	LEBL 470 44		R360			

Informações de um Voo. A medida em que se dá o progresso, pode-se ir alterado, à mão, as informações de tal aeronave

Figura 25 - *Strip* padrão utilizada por anos
 Fonte: O autor (2010).

A entrada dos sistemas automatizados nas mais diversas regiões, inclusive na área Terminal Porto Alegre possibilita o conceito de implementação da *strip* eletrônica. Rebello (1998, p. 4) informa:

A informação chega direto do banco de dados para o monitor (*display*) que fica localizado ao lado da tela do radar. Este tipo de *strip* pode ser manipulado de diversas maneiras visto que são perceptivamente, cognitivamente e funcionalmente equivalentes às *strips* de papel.

Em princípio, não se consegue relacionar esta ferramenta com o conceito CNS/ATM. Entretanto, o Sistema CPDLC, através do *Datalink*, utiliza interfaces puramente digitais em equipamentos padronizados e capazes de receber o enlace de dados. A *strip* eletrônica se assimila à dispositivos diretamente relacionados à comunicação deste novo conceito. Da mesma forma em que um ACARS possibilita o envio e recebimento de mensagens instantâneas pré-formatadas, a extinção do papel perante as informações contidas na *strip* possibilitará a informatização de informações, extinguindo assim a necessidade de comunicação por voz e provendo uma maior segurança perante o Gerenciamento de Tráfego Aéreo, seguindo a tendência mundial de controle e vigilância de voo (REBELLO, 1998).

5 CONCLUSÃO

Como término deste trabalho acadêmico, pode-se concluir o alto benefício na maioria das ferramentas que o CNS/ATM propicia aos usuários. A introdução gradual e progressiva de ferramentas que possuem um outro conceito de funcionamento, visando principalmente a redução da carga de trabalho do fator mais suscetível a erros do sistema, o ser humano (*liveware*), é necessária a fim de uma determinada região se adequar com sistemas integrantes de uma rede ATN. Felizmente, o Brasil está cumprindo a função de membro signatário da ICAO, e através de seu Programa de Implementação ATM Nacional, o país segue fases de implantação das ferramentas relacionadas ao CNS/ATM.

A grande demanda prevista para eventos indiretamente relacionados com a aviação como a Copa do Mundo de Futebol de 2014 e as Olimpíadas em território nacional, em 2016, exige uma cooperação integral perante todos os setores do sistema aeronáutico nacional. Com análise de estudos aqui contidos, pode-se cogitar e indagar a implantação de equipamentos relativamente mais baratos e infinitamente mais precisos e confiáveis para operação dentro de uma área terminal. Conforme mostrado no Capítulo 4 deste trabalho acadêmico, os dispositivos relacionados ao Sistema CNS/ATM, como o ACARS, ADS e GBAS, são muito mais vantajosos em todos os quesitos de segurança, facilidade de operação, confiabilidade e viabilidade em relação à equipamentos mais antigos que ainda vêm sendo utilizados, como a comunicação em VHF via voz, o Transponder modo “C” e o ILS. Este último, por exemplo, está sendo implantado no Aeroporto Internacional Salgado Filho, sob homologação em CATII. De acordo com o exposto, conclui-se que o Sistema de Aumento de Precisão Baseado no Solo (GBAS), por exemplo, poderia ser uma solução muito mais simples e eficaz para desafogar a alta demanda que perdura no principal aeroporto gaúcho, pois com este sistema pode-se usufruir de pistas de pouso secundárias em qualquer cabeceira em uso, mitigando, possivelmente, a situação de um aeroporto ultrapassar em 1,6 milhões de passageiros/ano a sua capacidade (SINDICATO NACIONAL DOS AERONAUTAS, 2010 apud AERO MAGAZINE, 2010, p. 58).

O conceito ADS, da mesma forma, propicia uma melhoria na precisão entre as aeronaves, por um preço muito mais econômico e viável. A utilização de equipamentos do CNS/ATM possibilita principalmente em área terminal, a redução de separação vertical e horizontal entre as aeronaves que dividem um mesmo espaço aéreo. A Navegação Baseada

em Performance (PBN) determina um grau de precisão na trajetória de voo das aeronaves com base em requisitos RNP e RNAV até então nunca antes cogitado no âmbito da aviação comercial, sendo de extrema importância a sua adequação ao espaço aéreo brasileiro caso este tenha que comportar um número maior de aeronaves. O ACARS, com envio de dados via *datalink* por meio de uma rede ATN, torna-se a chave para as mais diversas ferramentas de comunicação, navegação e vigilância, com o auxílio de uma constelação de satélites, gerando assim um conforto e segurança nas operações, com redução considerável na carga de trabalho que tripulantes e controladores usualmente estão suscetíveis a sofrerem quando o aumento do fluxo aéreo dá-se por meio dos equipamentos ultrapassados até então utilizados na TMA Porto Alegre. Em geral, os equipamentos do Sistema CNS/ATM visam à diminuição da interface via voz entre piloto e controlador e a diminuição da interação do ser humano com tarefas não relacionadas diretamente ao voo.

Conclui-se ainda que, este Sistema tem a capacidade de prover todos os benefícios apenas quando ferramentas relacionadas com a comunicação, navegação e vigilância estão em uso de forma simultânea. A utilização do ADS, por exemplo, requer a interface de outro equipamento (ACARS), relacionado inicialmente como uma frente de comunicação. A “dependência” entre os dispositivos facilita a transferência de informações entre usuários, sendo, independentemente do contexto, enviadas basicamente através de mesma formatação. A disponibilidade de receber e enviar dados sob qualquer hora, período ou clima, por meio de solicitação ou automaticamente, torna o CNS/ATM o conceito mais plausível para ser implementado mundialmente com o intuito de facilitar as operações aéreas.

Por mais complexa que a instalação e utilização de tais ferramentas possam parecer, os seus funcionamentos visam à simplicidade nas operações, trazendo, entretanto, vantagens jamais alcançadas integralmente por ferramentas habitualmente utilizadas. O Brasil, e a Terminal Porto Alegre podem se beneficiar com tal facilidade dos dispositivos que cada frente do Sistema propicia, expostas no Quadro 5, a seguir:

COMUNICAÇÃO	NAVEGAÇÃO	VIGILÂNCIA
Mais direta	Confiabilidade e Integridade	Menor erro de reportes
Melhor transferência	Tetra dimensional (4-D)	Vigilância em não-radar
Menor congestionamento	Sem auxílios em terra	Economia
Menores erros	Melhor aproveitamento	Maior preocupação com voo
Interoperabilidade	Versatilidade	Monitoramento contínuo
Menor carga de trabalho	Menor carga de trabalho	Assistência melhorada

Quadro 5 - Vantagens do Sistema CNS/ATM
 Fonte: ICAO ([2008]).

Conforme o que foi apresentado, espera-se deste trabalho acadêmico a possibilidade em cooperar com a região sul do Brasil. A área Terminal Porto Alegre, por possuir local estratégico em território nacional, deve possuir uma estrutura suficiente para suprir as necessidades que surgirão com o aumento do tráfego aéreo. Não se deve esperar apenas uma mudança nos conceitos de comunicação, navegação e vigilância dos sistemas a bordo das aeronaves, assim como só a realização de obras em terra para disponibilizar a transmissão de dados em uma rede ATN não basta para garantir o sucesso nacional na malha aeroviária. Inúmeras frentes do sistema aeronáutico como a infra-estrutura aeroportuária, capacitação de profissionais, doutrinação, ensino superior e treinamento ainda conflitam com o progresso aeronáutico brasileiro. O Sistema CNS/ATM apenas é uma solução para uma pequena porção dos problemas enfrentados na aviação nacional, gerando, porém, grande impacto no desenvolvimento da tecnologia embarcada no âmbito da aviação civil mundial, propiciando níveis de eficiência e segurança operacionais mais elevados.

REFERÊNCIAS

ADS-B TECHNOLOGIES. **What is ADS-B?** 2010. Disponível em: <<http://www.ads-b.com/>> Acesso em: 08 set. 2010.

ARINC. **GLOBALink™ Air/Ground Datalink Communications**. 2010. Disponível em: <<http://www.arinc.com/products/globalink/datalink.html>> Acesso em: 02 out. 2010.

BOEING. **Airplane Health Management**. 2009. Disponível em: <http://www.boeing.com/commercial/aviationservices/brochures/AHM_PM.pdf>. Acesso em: 01 out. 2010.

_____. **Operational Performance – Airplane Health Management**. Seattle: [2009]. Disponível em: <http://www.boeing.com/commercial/aviationservices/brochures/AHM_PM.pdf> Acesso em: 01 nov. 2010.

BRASIL. Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. ICA 100-12. **Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo**. Brasília, DF, 2009. 279 p.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Relatório Final da Comissão Parlamentar de Inquérito: crise do sistema de tráfego aéreo**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2007.

CHUJO, Amália Massumi. **Tecnologias de Navegação Aérea por GNSS e DGNS para Operação CNS/ATM: Aplicações para o Brasil**. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciências no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica e Computação, Área de Telecomunicações) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica e Computação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2007.

CIVIL AVIATION AUTHORITY OF THE PHILIPPINES - CAAP. **What is a “CNS/ATM”?** 2008. Disponível em: <<http://www.caap.gov.ph/web/faqCNSATM.htm>> Acesso em: 08 out. 2010.

EUROCONTROL. **Advanced Surface Movement Guidance & Control System (A-SMGCS)**. 2006. Disponível em: <http://www.eurocontrol.int/airports/public/standard_page/APR1_Projects_ASMGCS.html> Acesso em: 29 set. 2010.

GALANTE, Solange. À Espera de Verbas. **Aero Magazine**, São Paulo, v. 15, n. 178, p. 56-62, 01 mar. 2009

GALOTTI, Vincent P. Jr. **The Future Air Navigation System (FANS):** Communication Navigation Surveillance- Air Traffic Management. 2. ed. rev. Cambridge: Ashgate Publishing Company Limited, 1997, 362 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2000. A divulgação dos Resultados.** 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION - ICAO. **Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems – DOC9750.** 2002. Disponível em: <http://www.icao.int/icaonet/dcs/9750/9750_2ed_en.pdf> Acesso em: 20 ago. 2010.

_____. **Annex 11- Air Traffic Services.** Montreal: ICAO, 2001. 80 p.

_____. **Doc 9426- Air Traffic Services Planning Manual.** 1º Ed. Montreal: ICAO, 1984. 111 p.

REBELLO, D. Sc. Luiza Helena Boueri. **Uma Abordagem Ergonômica em Controle de Tráfego Aéreo em Função das Inovações Tecnológicas.** In: XVIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 18., 1998, Rio de Janeiro. **Trabalho Completo.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ e Faculdade da Cidade, 1998, 8 p.

ROCKWELL INTERNATIONAL. **Instruction Guide. What Is a Transponder?:** outubro 88. [Cedar Rapids], 1988. 56 p.

_____. **Instruction Guide. What is TCAS?:** agosto 89. [Cedar Rapids], 1989. 55 p.

SILVEIRA, Bruno Borges da. **Aviação Brasileira:** diagnóstico atual e diretrizes para seu desenvolvimento. 2008. 51 f. Dissertação (Graduação em Ciências Aeronáuticas) - Faculdade de Ciências Aeronáuticas, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SIQUEIRA, Cristiani de Araújo. **Navegação Aérea Segundo o Conceito CNS/ATM: Custos e Benefícios.** 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências no Curso de Engenharia de Infra Estrutura Aeronáutica, Área de Transporte Aéreo de Aeroportos) - Curso de Infra Estrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005

SPECIALISTS IN AIR TRANSPORT COMMUNICATIONS AN IT SOLUTIONS - SITA. **AIRCOM Cockpit Datalink Services.** 2008. Disponível em: <<http://www.sita.aero/product/aircom-cockpit-datalink-services>> Acesso em: 28 ago. 2010.

SUPERINTENDÊNCIA DE SERVIÇOS AÉREOS. **Anuário do Transporte Aéreo 2007** Vol.1. Brasília, DF: Agência Nacional de Aviação Civil, 2008.

VARGAS, Cleyton Vieira de. **Análise Ergonômica do Trabalho do Controle de Aproximação Aérea em Situação Real**. 2007. 112 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VISMARI, Lúcio Flávio. **Vigilância Dependente Automática no Controle de Tráfego Aéreo: Avaliação de Risco Baseada em Modelagem em Redes de Petri Fluidas e Estocásticas**. 2007. 289 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.