



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**PEDRO ROGÉRIO BAPTISTA PINTO**

**A PESQUISA ESPACIAL E SEUS AVANÇOS PARA A SEGURANÇA  
E EFICIÊNCIA NA AVIAÇÃO**

**PALHOÇA**  
**2019**

**PEDRO ROGÉRIO BAPTISTA PINTO**

**A PESQUISA ESPACIAL E SEUS AVANÇOS PARA A SEGURANÇA  
E EFICIÊNCIA NA AVIAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Joel Irineu Lohn, MSc.

**PALHOÇA**

**2019**

**PEDRO ROGÉRIO BAPTISTA PINTO**

**A PESQUISA ESPACIAL E SEUS AVANÇOS PARA A SEGURANÇA  
E EFICIÊNCIA NA AVIAÇÃO**

Esta monografia foi julgada adequada à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovada em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 01 de junho de 2019.

---

Professor Orientador: Prof. Joel Irineu Lohn, MSc.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Nome completo, abreviatura da titulação

Dedico este trabalho a meus pais e minha noiva, meu grande amor, que desde o início sempre esteve ao meu lado, e que me apoia, em todos os passos dessa longa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer ao professor Joel Irineu Lohn, pela sua excelente orientação, dedicação e paciência a este trabalho.

## RESUMO

Esta pesquisa teve como principal objetivo analisar o nível de influência da pesquisa espacial no grande avanço tecnológico vivido pela aviação nas últimas décadas. A pesquisa teve caráter exploratório, com a utilização de meios bibliográficos e documentais como livros, artigos, revistas, sites, regulamentos, normas e documentos, disponíveis em sua maior parte digitalmente, juntamente com uma abordagem qualitativa. Para melhor compreensão e entendimento do assunto, a pesquisa foi dividida em três segmentos, sendo o primeiro apresentando a introdução do tema proposto, o problema da pesquisa, seus objetivos geral e específicos, bem como a justificativa, a metodologia utilizada e a organização do trabalho. O segmento seguinte apresenta todo referencial teórico relacionando os avanços advindos da pesquisa espacial e seus reflexos na aviação, bem como os benefícios e vantagens advindas. O terceiro segmento da pesquisa, apresenta a discussão e análise dos resultados obtidos. Analisando os dados pesquisados, pode-se concluir com facilidade, que as principais tecnologias responsáveis pelos avanços da aviação nos últimos anos, e do atual conceito CNS-ATM da ICAO, estão, em sua maioria, ancoradas em tecnologias advindas da conquista espacial como satélites de navegação, comunicação e meteorológicos.

Essas tecnologias trazem inúmeros benefícios à aviação como um todo, possibilitando um crescimento cada vez mais ordenado e eficiente do tráfego aéreo no mundo.

**Palavras-chave:** Tecnologias, Avanços, Pesquisa Espacial, Satélites

## **ABSTRACT**

This research work had the main goal of analyzing the level of influence of the space research in the great technological advance lived by the aviation in the last decades. This research had an exploratory nature, with the use of bibliographic and documentary procedures like books, articles, magazines, websites, regulations, norms and documents, almost all available in digital form, also with a qualitative approach. For a better comprehension and knowledge of the subject, the research was divided in three segments, the first one presenting the introduction of the proposed theme, the research problem, its general and specific objectives, as well as the justification, the methodology used and the work organization. The next one presents the whole theoretical reference relating the advances of space research and its aviation reflexes, as well as the benefits and advantages that come with it. The third segment of this research work, presents the discussion and analysis of the results obtained. Analyzing the researched data, it's possible to conclude easily, that the main technologies responsible for the advancement of aviation in recent years, and the current ICAO CNS-ATM concept, are mostly anchored in technologies derived from space conquest such as navigation, communication and meteorological satellites. These technologies bring a lot of benefits to aviation, enabling an orderly and efficient growth of air traffic in the world.

**Key Words:** Technologies, Advances, Space Research, Satellites

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comitê FANS .....	19
Figura 2 - Navegação IFR convencional e sua comparação com a RNAV .....	20
Figura 3 - Especificações RNAV e RNP .....	22
Figura 4 - Especificações RNAV e RNP .....	23
Figura 5 - Descida "Step Down' ou "Dive and Drive" comparada ao "CDFA" .....	24
Figura 6 - Boeing 747-100 "City of Everett" .....	25
Figura 7 - Cockpit do 747-100 e seus três sistemas inerciais de navegação.....	26
Figura 8 - O sistema inercial e seu funcionamento .....	27
Figura 9 - O sistema de navegação da nave Apollo .....	29
Figura 10 - O satélite Sputnik 1 .....	30
Figura 11 - O satélite TIROS 1 e sua primeira imagem da Terra .....	32
Figura 12 - O cosmonauta Yuri Gagarin .....	33
Figura 13 - Os astronautas da missão Apollo 11 .....	36
Figura 14 - Apollo - Soyuz.....	37
Figura 15 - O funcionamento do GPS .....	40
Figura 16 - Funcionalidade Predictive RAIM da aeronave Embraer 195 .....	42
Figura 17 - Procedimento GPS "overlay" .....	43
Figura 18 - Área de cobertura do sistema WAAS .....	45
Figura 19 - Tecnologia ADS-B compara a vigilância radar convencional.....	47
Figura 20 - EGPWS.....	49
Figura 21 - PFD com a tecnologia SVS .....	49
Figura 22 - Imagem produzida pelo satélite meteorológico GOES 16.....	51
Figura 23 - Mensagem CPDLC .....	53

## LISTA DE SIGLAS

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil  
ABAS - Aircraft-based Augmentation System  
ACARS – Aircraft Communications, Addressing and Reporting System  
ADS-B – Automatic Dependent Surveillance – Broadcast  
ADS-C - Automatic Dependent Surveillance – Contract  
AIC – Aeronautical Information Circular  
ATM – Air Traffic Management  
ATS – Air Traffic Services  
ANP – Actual Navigation Performance  
APL - Applied Physics Laboratory  
ARPA - Advanced Research Projects Agency  
AR – Authorization Required  
APV – Approach with Vertical Guidance  
AEB – Agência Espacial Brasileira  
BU - Battery Unit  
CPDLC - Controller-Pilot Datalink Communication System  
CDU - Control Display Unit  
CA - Coarse Acquisition  
CDFA - Continuous Descent Final Approach  
CNS-ATM - Communications-Navigation-Surveillance, Air Traffic Management.  
CFIT - Controlled Flight Into Terrain  
DECEA - Departamento do Controle do Espaço Aéreo  
DME - Distance Measuring Equipment  
EGPWS - Enhanced Ground Proximity Warning System  
EPU - Estimated Position Uncertainty  
FANS - Future Air Navigation Systems  
FAA - Federal Aviation Administration  
FMS - Flight Management System  
FDE - Fault Detection and Exclusion  
FMC - Flight Management Computer  
GNSS - Global Navigation Satellite System  
GBAS - Ground-based Augmentation System  
GANP - Global Air Navigation Plan  
GPWS - Ground Proximity Warning System  
GPS - Global Positioning System  
ICAO - International Civil Aviation Organization  
INS - Inertial Navigation System  
IRS - Inertial Reference System

IFR - Instrument Flight Rules  
ILS- Instrument Landing System  
IS - Instrução Suplementar  
IMC - Instrument Meteorological Conditions  
IGY - International Geophysical Year  
ISS - International Space Station  
IAC - Instrução de Aviação Civil  
IMU - Inertial Measurement Unit  
INU - Inertial Navigation Unit  
LPV - Localizer Performance with Vertical Guidance  
LORAN - Long Range Navigation  
MIT - Massachusetts Institute of Technology  
MDA - Minimum Descent Altitude  
NASA - National Aeronautics and Space Administration  
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration  
NACA - National Advisory Committee for Aeronautics  
NDB - Non-directional Beacon  
NAVCEN - Navigation Center  
PBN - Performance-based Navigation System  
PFD - Primary Flight Display  
RNAV - Navegação de Área  
RBAC - Regulamentação Brasileira de Aviação Civil  
RBHA - Regulamentação Brasileira de Homologação Aeronáutica  
RAIM - Receiver Autonomous Integrity Monitor  
RWY - Runway  
RNP - Required Navigation Performance  
SBAS - Satellite-based Augmentation System  
SVS - Synthetic Vision System  
TCAS - Traffic Collision Avoidance System  
URSS - União das Repúblicas Socialistas Soviéticas  
VOR - VHF Omnidirectional Range  
VFR - Visual Flight Rules  
WGS - World Geodetic System  
WAAS - Wide Area Augmentation System

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
1.3 JUSTIFICATIVA.....	14
1.4 METODOLOGIA .....	15
<b>1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.2 Materiais e métodos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.3 Procedimentos de coleta de dados .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.4 Procedimentos de análise de dados.....</b>	<b>16</b>
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 O CONCEITO CNS/ATM E A NAVEGAÇÃO PBN – BREVE HISTÓRICO.....	18
2.2 SISTEMA INERCIAL DE NAVEGAÇÃO – ORIGEM E DESENVOLVIMENTO.....	25
2.3 A CORRIDA ESPACIAL E OS PRIMEIROS SATÉLITES ARTIFICIAIS .....	30
<b>2.3.1 Sputnik 1 e os primeiros satélites (1957 – 1960) .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.2 Os primeiros homens no espaço e o satélite Telstar 1 (1961 – 1966) .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.3 A chegada do homem à Lua e o fim da corrida espacial (1967 – 1975) .....</b>	<b>34</b>
2.4 O SATÉLITE E SUA UTILIZAÇÃO NA AVIAÇÃO.....	38
<b>2.4.1 O satélite e a navegação aérea.....</b>	<b>38</b>
2.4.1.1 O princípio de funcionamento do GPS.....	39
2.4.1.2 Avanços e benefícios do GPS na navegação IFR .....	42
2.4.1.3 O GPS e a vigilância do espaço aéreo .....	46
2.4.1.4 O GPS e a evolução do GPWS e sistemas de aviônicos.....	48
<b>2.4.2 O satélite e a meteorologia aeronáutica .....</b>	<b>50</b>
<b>2.4.3 O satélite e a comunicação aeronáutica .....</b>	<b>52</b>
<b>3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
3.1 INFLUÊNCIA DA PESQUISA ESPACIAL NAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS RESPONSÁVEIS PELO SURGIMENTO DO ATUAL CNS/ATM DA ICAO.....	55
3.2 EVOLUÇÃO DO MÉTODO RNAV DE NAVEGAÇÃO, DESDE A SUA ORIGEM E OS PRIMEIROS SENSORES UTILIZADOS, ATÉ O ATUAL CONCEITO PBN.....	56

3.3 O FUNCIONAMENTO DE UM SATÉLITE ARTIFICIAL E SUAS DIVERSAS UTILIZAÇÕES NA AVIAÇÃO ATUALMENTE .....	58
3.4 O QUE AINDA ESTÁ POR VIR EM TERMOS DE BENEFÍCIOS PARA O SETOR AERONÁUTICO, COM O USO DE SATÉLITES NA AVIAÇÃO. ....	59
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao traçar um comparativo entre a aviação vivenciada nos dias de hoje com a realidade aeronáutica encontrada em meados do século passado, observa-se que uma revolução em termos tecnológicos a transformou de forma permanente, evoluindo-a em diversos aspectos, com imensas contribuições à segurança, eficiência e agilidade do transporte aéreo. Qual o papel da pesquisa espacial nesse avanço tecnológico tão revolucionário?

O surgimento de novas tecnologias principalmente nas áreas de navegação, aviônicos, comunicação e vigilância do espaço aéreo, muitas delas oriundas de avanços da pesquisa e conquista espacial, estão contribuindo cada vez mais para o desenvolvimento de novos conceitos de controle de tráfego aéreo, como o novo conceito CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance and Air Traffic Management) da ICAO (International Civil Aviation Organization), com espaços aéreos mais seguros e ordenados, ágeis e eficientes, que incluem novos conceitos e métodos de navegação, que aumentam consideravelmente a consciência situacional das tripulações, reduzindo as chances de acidentes do tipo CFIT (Controlled Flight Into Terrain), além de servirem como excelentes ferramentas de economia de combustível, proporcionando voos cada vez mais diretos e descidas mais constantes, reduzindo a emissão de poluentes como o CO<sub>2</sub>. (DECEA, 2018).

É possível ainda listar uma série de tecnologias que, de certa forma, tiveram sua origem em um processo iniciado no final da década de 50, a partir do lançamento do primeiro satélite artificial da humanidade, o soviético Sputnik 1, o ponta pé inicial da corrida espacial, que trouxe estudos, avanços e conquistas que, ao longo dos anos, mudariam para sempre os conceitos da aviação. Tecnologias como o sistema inercial de navegação (INS/IRS), o sistema de navegação por satélite (GNSS), que desenvolveu e ampliou o método de navegação de área (RNAV), criando um conceito completo de navegação, permitindo voos inteiros sem a necessidade do balizamento de equipamentos físicos em solo, satélites de comunicação que são utilizados na cobertura de sistemas datalink como o ACARS (Aircraft Communication Addressing and Reporting System) e o CPDLC (Controller-Pilot Datalink Communication System), satélites meteorológicos que promovem informações mais confiáveis aos pilotos com imagens precisas de nuvens e outros fenômenos meteorológicos, sistemas de alertas em relação ao solo mais aprimorados como o

EGPWS (Enhanced Ground Proximity Warning System), agora equipados com bancos de dados mais precisos e completos, provenientes do uso de satélites, sistemas de aviônicos mais modernos dispendo de sistemas de visão sintética do terreno em conjunto de instrumentos como o horizonte artificial, além das novas tecnologias e funcionalidades de vigilância do espaço aéreo como o ADS (Vigilância Dependente Automática), que, advindas do uso do GPS (Global Positioning System), tornam o controle de tráfego muito mais preciso e seguro. Ainda é possível citar sistemas como o SBAS (Satellite-Based Augmentation System) que aumentam a precisão dos sinais enviados pelos satélites GPS, permitindo aproximações por satélite cada vez mais precisas, como o LPV approach (Localizer Performance with Vertical Assistance), que no futuro, substituirão de vez equipamentos como o ILS, que são caros e dependentes de manutenção contínua.

Quando em 20 de julho de 1969 o astronauta Neil A. Armstrong, o comandante da missão Apollo 11, pôs um fim na tensa disputa espacial entre americanos e soviéticos, tornando-se o primeiro homem a pisar na Lua, muitos à época questionaram a importância daquela corrida com tantos problemas a serem resolvidos aqui na Terra. Qual o objetivo de se gastar tanto dinheiro com foguetes e naves espaciais, com guerras e tantas desigualdades em nosso próprio planeta? Olhando-se para os dias de hoje e os avanços advindos, conclui-se que sim, valeu a pena, e muitos desses benefícios e avanços foram trazidos pelo domínio espacial, tornando mais fácil e segura não só atividades complexas como o transporte aéreo, mas também, diversos outros setores da ciência. No ano do cinquentenário do primeiro pouso lunar (20 de julho de 1969) este trabalho tem por finalidade, pesquisar e comentar uma série de tecnologias que foram desenvolvidas ao longo dos anos com a pesquisa espacial e que hoje são indispensáveis para a aviação, bem como os benefícios advindos dessas tecnologias e o que ainda está por vir, em termos de segurança, eficiência e regularidade.

## 1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Quais foram as principais tecnologias e ferramentas oriundas da pesquisa espacial que revolucionaram o modo de se comunicar, navegar e se controlar na aviação, e quais os principais avanços em termos de segurança, economia, meio ambiente, eficiência e regularidade? Essas tecnologias e ferramentas presentes

atualmente no dia a dia aeronáutico, podem no futuro substituir por completo equipamentos físicos em solo, como radares e rádio-auxílios?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o nível de influência da pesquisa espacial na evolução tecnológica da aviação através dos tempos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a influência da pesquisa espacial nas principais tecnologias responsáveis pelo surgimento do atual conceito CNS/ATM da ICAO.
- Analisar a evolução do método RNAV de navegação, desde a sua origem e os primeiros sensores utilizados, até o atual conceito PBN (performance-based navigation) da ICAO e a importância da pesquisa espacial nessa evolução.
- Investigar o funcionamento de um satélite artificial, sua origem e evolução, desde o início da corrida espacial, suas diversas utilizações na aviação atualmente e sua importância para o desenvolvimento do atual conceito CNS/ATM.
- Analisar quais tecnologias atuais da aviação dependem ou foram oriundas do uso de satélites, suas contribuições para a segurança e eficiência da aviação, e o que ainda está por vir em termos de benefícios para o setor aeronáutico.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Com o crescente aumento do volume de aeronaves e do tráfego aéreo no final do século passado, estudos da ICAO concluíram, que as tecnologias presentes nos sistemas CNS existentes à época, não seriam capazes de suprir as necessidades de segurança e eficiência, que o crescimento exponencial da aviação exigiria para as próximas décadas. Esses estudos também concluíram, por sua vez, que somente o uso cada vez mais contínuo de tecnologias baseadas principalmente em satélites e enlace de dados, seriam capazes de acompanhar essa demanda de crescimento,

tornando os espaços aéreos cada vez mais eficientes e seguros, permitindo um crescimento ordenado do tráfego aéreo por todo planeta. Ao observar a segurança e a precisão dos equipamentos de navegação embarcados nas aeronaves atuais e o quão fácil e segura tornou-se a navegação aérea do século 21, comparando-a um passado ainda dependente de auxílios à navegação em terra, viu-se a necessidade de analisar, pesquisar e conhecer mais sobre a importância da pesquisa espacial na aviação, quais foram os benefícios já alcançados e o que ainda está por vir em termos de segurança, economia e eficiência.

#### 1.4 METODOLOGIA

Cervo, Bervian e Da Silva (2007, p. 29) afirma que a metodologia a ser utilizada no trabalho científico vai depender do problema de pesquisa, e a “[...] investigação nasce de algum problema observado ou sentido, de tal modo que não pode prosseguir a menos que se faça uma seleção da matéria a ser tratada”.

##### **1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa**

De acordo com Cervo, Bervian e Da Silva (2007, p. 63), a realização de uma pesquisa exploratória, “[...] não requer a elaboração de hipóteses a serem testadas no trabalho, restringe-se a definir objetivos e buscar mais informações sobre assuntos de estudos”. A pesquisa exploratória, busca uma maior familiaridade com o assunto ou problema a ser estudado, buscando uma melhor explicitação para o tema. Emprega-se a pesquisa e coleta de dados bibliográficos e documentais, visando um maior entendimento sobre o assunto.

Conforme Gil (2002, p.41), a pesquisa exploratória, “tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses”.

O procedimento para coleta de dados caracteriza-se por bibliográfico que, de acordo com Gil (2002, p.44), “é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos” e documental ao utilizar-se de documentos que ainda não receberam um tratamento analítico (GIL, 2002, p.45).

A abordagem qualitativa conforme Richardson (1999, p.79), “não emprega um instrumental estatístico como base do processo de análise de um problema” e

ainda, de acordo com Andrade (2011, p 76), “utiliza-se a abordagem qualitativa por ser mais apropriada à compreensão de alguns fenômenos de natureza mais subjetiva e por se entender que existem domínios quantificáveis e outros qualificáveis”.

#### **1.4.2 Materiais e métodos**

Os materiais que serão utilizados durante a realização dessa pesquisa serão bibliográficos, através da consulta de livros, revistas, artigos científicos e páginas da internet, além de documentais, com a consulta de leis, instruções suplementares, instruções do Comando da Aeronáutica e de Aviação Civil, anexos técnicos, consultas ao Regulamento Brasileiro Aviação Civil (RBAC), Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica (RBHA), além de documentos da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), International Civil Aviation Organization (ICAO) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

#### **1.4.3 Procedimentos de coleta de dados**

O procedimento de coleta de dados desta monografia, como já citado anteriormente, utilizou-se das técnicas de pesquisa bibliográfica e documental, por meio da análise de artigos, livros, revistas, sites da internet e reportagens, bem como consulta a documentos, decretos, leis, instruções e anexos técnicos.

#### **1.4.4 Procedimentos de análise de dados**

Os dados coletados foram analisados através da técnica de análise de conteúdo que, de acordo com LAKATOS e MARCONI (1991), esta técnica permite a descrição sistemática, objetiva e quantitativa do conteúdo da comunicação.

### **1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho acadêmico de pesquisa está dividido em quatro capítulos, organizados da seguinte maneira:

No capítulo 1 apresenta-se a introdução, seguida do problema da pesquisa, bem como os objetivos geral e específicos do trabalho. Logo em seguida, é também apresentada a justificativa para a pesquisa e a metodologia utilizada. Na metodologia

é descrita a natureza e o tipo da pesquisa, os métodos e materiais utilizados, bem como os procedimentos de coleta e de análise dos dados.

No capítulo 2 tem-se o referencial teórico, que se divide em quatro partes. A primeira parte do referencial teórico apresenta o novo conceito CNS-ATM da ICAO, bem como a evolução do conceito PBN de navegação, e a devida participação da pesquisa espacial em todo esse processo. A segunda parte apresenta uma pesquisa a respeito do sistema inercial de navegação, sua origem e desenvolvimento, enquanto a terceira parte, conta um pouco da história da corrida espacial, e os primeiros satélites artificiais da humanidade. A quarta parte, trata das diversas utilizações do satélite artificial na aviação, citando os avanços e benefícios de sua utilização.

No capítulo 3 é apresentada a discussão dos resultados com base nos objetivos específicos, sendo dividido em quatro partes. A primeira parte comprova a influência da pesquisa espacial nas diversas tecnologias atuais da aviação e presentes no atual conceito CNS-ATM da ICAO. A segunda parte constata a evolução do método RNAV de navegação, desde os primeiros sensores utilizados, como o sistema inercial, até a atual evolução do conceito PBN, e a participação das tecnologias de navegação por satélite nesse processo. A terceira parte verifica o funcionamento de um satélite artificial, o princípio de funcionamento do GPS, e as diversas utilizações dos satélites na aviação atualmente, e a quarta e última parte, relaciona quais as possíveis utilizações e avanços das tecnologias espaciais no futuro da aviação no mundo.

O capítulo 4 apresenta as considerações finais do trabalho, sendo seguido das referências utilizadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O CONCEITO CNS/ATM E A NAVEGAÇÃO PBN – BREVE HISTÓRICO

Em 01 de março de 2018, o DECEA, como parte de um esforço empenhado em conjunto com a ICAO visando à implementação de um sistema ATM Global, publicou a AIC N 41/17 (03/2018), que trata da implementação operacional do conceito de navegação baseada em performance (PBN) no espaço aéreo brasileiro. É o Brasil, através de seu programa SIRIUS de modernização do espaço aéreo, dando mais um passo em direção a um futuro cada vez mais eficiente, seguro e ordenado, que elimina a dependência de equipamentos físicos em solo, caros e de difícil manutenção, caminhando cada vez mais para o desenvolvimento de uma navegação mais direta, econômica e precisa.

O esforço global citado acima teve sua origem no início dos anos 90, mais precisamente em setembro de 1991, quando a ICAO (International Civil Aviation Organization), durante a 10ª Conferência de Navegação Aérea realizada em Montreal, Canadá, apresentou o novo conceito CNS/ATM de espaço aéreo, desenvolvido durante as fases 1 e 2 do FANS (Future Air Navigation Systems), seu comitê especial criado com o objetivo de buscar soluções e novas tecnologias para o futuro da navegação aérea no mundo, visando um crescimento cada vez mais ordenado, eficiente e seguro de todo tráfego aéreo mundial.

Uma das conclusões do comitê FANS e que foi apresentada nessa conferência foi que, somente o emprego abundante de tecnologias baseadas em satélites e enlace de dados (datalink), principalmente nas áreas de comunicação, navegação e vigilância aérea, seriam a única solução viável para quebrar as barreiras e limitações dos sistemas CNS presentes à época, capazes de suportar o grande volume de aeronaves projetado para os próximos 25 anos, reduzindo os espaçamentos entre os tráfegos e permitindo com isso, um desenvolvimento ordenado, seguro e eficiente, do sistema de aviação civil no mundo. (ICAO, 2002).

O Comitê FANS concluiu que a tecnologia de satélite oferecia uma solução viável para superar as deficiências dos sistemas convencionais baseados em terra e atender às necessidades futuras da comunidade internacional de aviação civil. (ICAO, DOC 9750, 2002, p.1-1-1).

Figura 1 - Comitê FANS

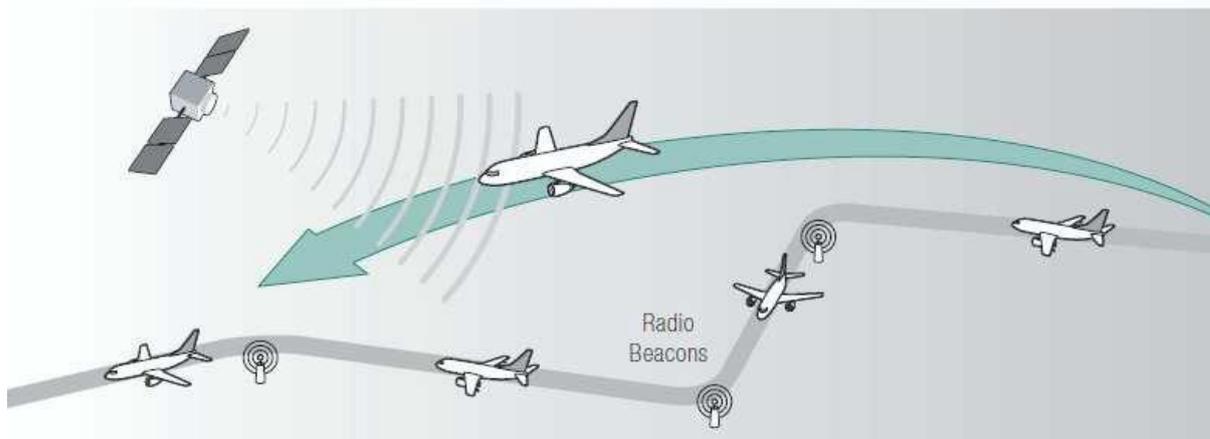


Fonte: David Diez (2012)

Posteriormente uma série de atividades foram desenvolvidas visando à implementação de um conceito mundial ATM completo e integrado, como o desenvolvimento do Conceito Operacional ATM Global, aprovado pela 11ª Conferência de Navegação Aérea e a elaboração do Plano Global de Navegação Aérea (GANP), com o objetivo de propor uma ajuda aos Estados para a implementação operacional desse novo conceito ATM Global. Atualmente testemunha-se como parte desse esforço, o desenvolvimento de programas de modernização de espaço aéreo como o NextGen (FAA), o SESAR (EUROCONTROL), o SIRIUS (DECEA), entre outros. (DECEA, 2009).

Um grande pilar dessa nova infraestrutura de espaço aéreo é o emprego do chamado conceito PBN (Performance-Based Navigation) de navegação, muito desenvolvido nos últimos anos, principalmente devido ao uso de tecnologias de navegação baseadas em satélites, como o GPS (Global Positioning System). O PBN é um conceito de navegação que estabelece rotas RNAV com requisitos de desempenho específicos para os sistemas RNAV das aeronaves, em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade, além de incorporar as especificações de navegação de área (RNAV) e performance requerida de navegação (RNP). (DECEA, 2018).

Figura 2 - Navegação IFR convencional e sua comparação com a RNAV



Fonte: FAA (2002)

O conceito PBN e o método de navegação RNAV, apesar de intrínsecos, possuem significados diferentes. O RNAV caracteriza-se por ser um método de navegação que independe de marcações ou bloqueios de equipamentos físicos de rádio navegação em solo, como ocorre no método convencional de navegação IFR. (ICAO, 2008). No RNAV, o voo da aeronave se baseia em sensores internos de navegação como o GNSS, sistemas inerciais, entre outros, que conseguem determinar continuamente a posição geográfica da aeronave no espaço aéreo, possibilitando com isso, a realização de voos mais diretos entre pontos (waypoints) do espaço aéreo, em qualquer direção, trazendo imensos benefícios à navegação aérea, como redução de tempo em rota, aumento da consciência situacional das tripulações com relação ao posicionamento da aeronave no espaço, redução da emissão de gases poluentes, etc. Sensores de navegação como o GNSS, sistemas inerciais de navegação e/ou computadores de bordo como o FMS ou similares, que realizam a solução de posição da aeronave dentro da área de cobertura de auxílios à navegação, como o VOR (VHF Omnidirectional Range) e/ou DME (Distance Measuring Equipment), são os mais utilizados no método RNAV.

De acordo com a ICAO, DOC 9613, (2008, p. 1-A-1-1), o conceito PBN "[...] especifica que os requisitos de desempenho do sistema RNAV da aeronave devem ser definidos em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade [...]" Em outras palavras, o conceito PBN utiliza-se da tecnologia RNAV de navegação, para criar todo um espaço aéreo mais flexível, com rotas mais diretas e eficientes, deixando de lado toda a velha estrutura convencional de rotas ATS, com aerovias ancoradas em rádio-auxílios à navegação. O PBN estabelece rotas RNAV

com certos requisitos de desempenho especificados, que os sistemas RNAV das aeronaves devem cumprir, e que variam de acordo com o espaço aéreo voado. Além disso, o PBN incorpora dois tipos de especificações de navegação, o RNAV e o RNP, que se diferenciam pela existência de sistemas de monitoramento e alertas de integridade instalados como o ANP (Actual Navigation Performance) ou o EPU (Estimated Position Uncertainty)

A especificação RNP exige a presença de sistemas de monitoramento e alerta de integridade embarcados, fazendo também o uso extensivo de sensores GNSS, melhorando o requisito de integridade das operações RNAV, possibilitando sua aplicação para todas as fases do voo PBN, incluindo as mais críticas e de maior precisão, como as aproximações, dispensando também o uso de radar de vigilância em determinados espaços aéreos, já que alertas serão gerados à tripulação caso a integridade do sistema seja perdida. Com a especificação RNP, tem-se maior confiança no desempenho RNAV das aeronaves, permitindo o desenvolvimento de procedimentos mais precisos e rotas menos espaçadas, pois em casos de degradação da integridade necessária, mensagens alertarão os pilotos que, por sua vez, poderão imediatamente informar o controle de tráfego aéreo, como também, reverter para sistemas de navegação alternativos. De uma forma mais simples, o RNP representa uma evolução da especificação RNAV. (ICAO, 2008)

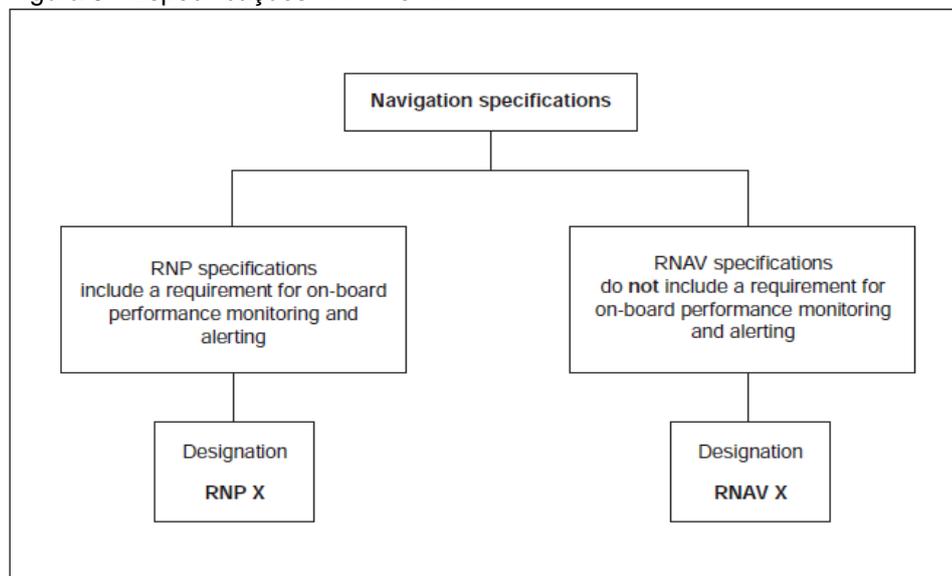
Os sistemas RNP fornecem melhorias na integridade das operações; isso pode permitir um menor espaçamento entre as rotas, além de fornecer integridade suficiente para permitir que apenas sistemas RNAV sejam usados para navegação em um espaço aéreo específico. O uso de sistemas RNP podem, portanto, oferecer benefícios significativos em segurança, operação e eficiência. (ICAO, DOC 9613, 2008, p. I-A-1-4)

A especificação RNAV, por não contar com a presença de sistemas de monitoramento e alerta de integridade, não pode ter sua aplicação para as fases mais críticas e precisas do PBN, como as aproximações, além de requerer rotas com maiores espaçamentos e cobertura radar de vigilância em determinados espaços aéreos, como por exemplo em áreas terminais, para prover possíveis alertas com relação a desvios ou contingências.

O conceito PBN cria toda uma estrutura de espaço aéreo RNAV, que torna o voo das aeronaves bem mais direto e eficiente, sem a dependência de rádio-auxílios em solo, proporcionando uma série de avanços e benefícios, como uma maior

otimização do espaço aéreo, redução de consumo de combustível das aeronaves, aumento de alerta situacional, etc. (ICAO, 2008).

Figura 3 - Especificações RNAV e RNP



Fonte: ICAO DOC 9613 (2008)

Como já mencionado acima, as rotas RNAV, dentro do conceito PBN, são estabelecidas dentro de certos requisitos de desempenho específicos, onde valores de precisão lateral ou de RNP, são especificados de acordo com o espaço aéreo voado, como se as colocando dentro de corredores virtuais de navegação. Os sensores RNAV embarcados, devem garantir valores de ANP (Actual Navigation Performance), iguais ou inferiores ao RNP exigido para aquela rota em pelo menos 95 % do tempo total de voo. Para rotas terminais, por exemplo, o valor de precisão exigido dos sensores embarcados é de RNP 1, onde o número representa o valor máximo em milhas náuticas de erro estimado pelo sistema em relação a rota ideal. Um operador que desejar certificar sua aeronave para a capacidade de navegação PBN, receberá, da autoridade aeronáutica, de acordo com o tipo e o número de sensores de navegação e de sistemas de monitoramento e alerta embarcados, uma especificação de navegação RNAV ou RNP que será representada por um código ICAO. (ANAC, 2017).

Figura 4 - Especificações RNAV e RNP

Código OACI	Especificações de Navegação RNAV	Código OACI	Especificações de Navegação RNP
A1	RNAV 10 (RNP 10)	*	RNP 2 Oceânico/Remoto
B2	RNAV 5 – GNSS	*	RNP 2 Continental
B3	RNAV 5 – DME/DME	L1	RNP 4
B4	RNAV 5 – VOR/DME	O2	RNP 1 – GNSS
B5	RNAV 5 – INS ou IRS	S1	RNP APCH
C1	RNAV 2 – Todos os sensores	S2	RNP APCH com BARO-VNAV
C2	RNAV 2 – GNSS	T1	RNP AR APCH com RF
C3	RNAV 2 – DME/DME	T2	RNP AR APCH sem RF
C4	RNAV 2 – DME/DME/IRU		
D1	RNAV 1 – Todos os sensores		
D2	RNAV 1 – GNSS		
D3	RNAV 1 – DME/DME		
D4	RNAV 1 – DME/DME/IRU		

Fonte: ANAC - IS N° 91-001E (2017)

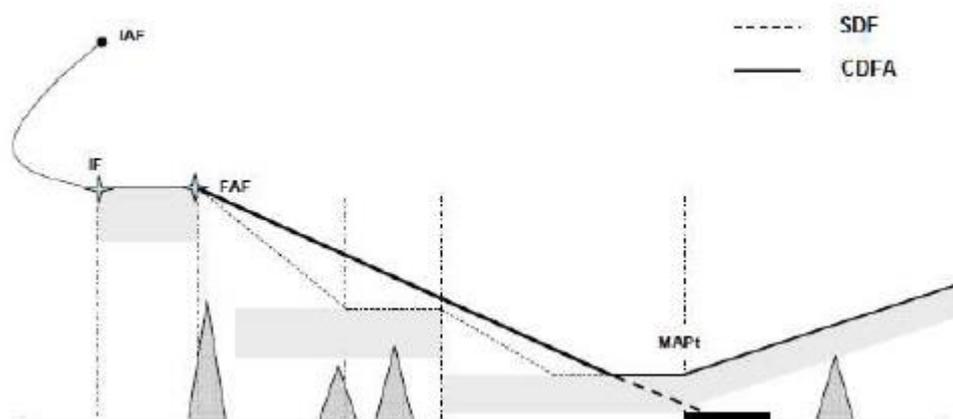
É importante ressaltar que o método de navegação de área (RNAV) já existe há anos, mesmo antes de sistemas de navegação por satélite, como o GPS, tornarem-se operacionais ao uso civil. A história do desenvolvimento desse método de navegação remonta ao início dos anos 70, quando os primeiros sistemas de navegação inerciais começaram a ser incorporados em aeronaves widebodies, como o 747, DC-10, A300, etc. O surgimento desse equipamento de navegação, totalmente autônomo e independente de sinais externos, representou uma grande ferramenta de navegação à época, principalmente nos voos realizados em áreas remotas e oceânicas, carentes da cobertura de rádio-auxílios.

A introdução do GPS na aviação civil a partir do início dos anos 90, foi de extrema importância para o desenvolvimento e aprimoramento do método RNAV e também do conceito PBN de navegação, já que a sua solução de posição altamente precisa, utilizada em conjunto de sistemas de aumento, alertas de integridade, computadores e modernos bancos de dados de navegação, altamente precisos e confiáveis, possibilitou que a utilização do método RNAV, se estendesse da simples utilização em rota, para demais fases de voo mais críticas, como decolagens, chegadas e aproximações.

Anteriormente ao conceito PBN, aeronaves já se utilizavam da tecnologia RNAV, porém dentro de uma estrutura convencional de espaço aéreo, com aerovias e rotas balizadas por equipamentos físicos em solo. Atualmente é possível realizar um voo completo, com total segurança, dentro de rotas mais diretas e eficientes, da

decolagem ao pouso, sem que nenhum equipamento convencional em solo balize a rota ou a localização da aeronave. Isso representa uma redução enorme de custos de manutenção e instalação de equipamentos de solo como VOR e NDB, além da redução da emissão de gases poluentes como o CO<sub>2</sub>, com rotas mais diretas e descendidas mais constantes, evitando os chamados "steps", ou nivelamentos durante as descendidas, proporcionando um considerável aumento na consciência situacional das tripulações, contribuindo para a redução de acidentes do tipo CFIT. É possível também a execução do CDFA (Continuous Descent Final Approach) nas aproximações, em detrimento dos chamados "Dive and Drive", onde a aeronave nivela na MDA (Minimum Descent Altitude) até avistar a pista ou arremeter, o que gera um aumento na carga de trabalho dos pilotos, prejudicando a segurança das operações. (DECEA, 2018).

Figura 5 - Descida "Step Down" ou "Dive and Drive" comparada ao "CDFA"



Fonte: Eurocontrol (2009)

Apesar do sistema GNSS representar o sensor primário e principal dentro do conceito PBN atual, o sistema inercial de navegação, muito aprimorado e desenvolvido durante o programa espacial americano, representou um grande avanço para a navegação aérea durante seu surgimento, pois além de fornecer uma série de informações, dentre elas, solução de posição, determinação de vento em rota, ground speed e posicionamento espacial (atitude), o sistema inercial não dependia de sinais externos de rádio como os equipamentos de rádio navegação VOR e NDB, além dos sistemas hiperbólicos LORAN e OMEGA.

## 2.2 SISTEMA INERCIAL DE NAVEGAÇÃO – ORIGEM E DESENVOLVIMENTO

Em 30 de setembro de 1968 a Boeing apresentava ao mundo, pela primeira vez, retirando de dentro de suas instalações de montagem na cidade de Everett, ao norte de Seattle, o seu revolucionário Boeing 747-100 "City of Everett". Construído em um enorme prédio de montagem da própria Boeing localizado a nordeste do aeródromo de Paine Field e batizado com o mesmo nome da cidade onde fora concebido, o primeiro "jumbo jet" já impressionava o mundo todo não só com seu tamanho colossal, mas também, com uma lista de inovações tecnológicas, que mudariam para sempre os conceitos da aviação. (PDH CENTER, J. C. SKYKEN, 2019)

Figura 6 - Boeing 747-100 "City of Everett"



Fonte: Heraldnet (2018)

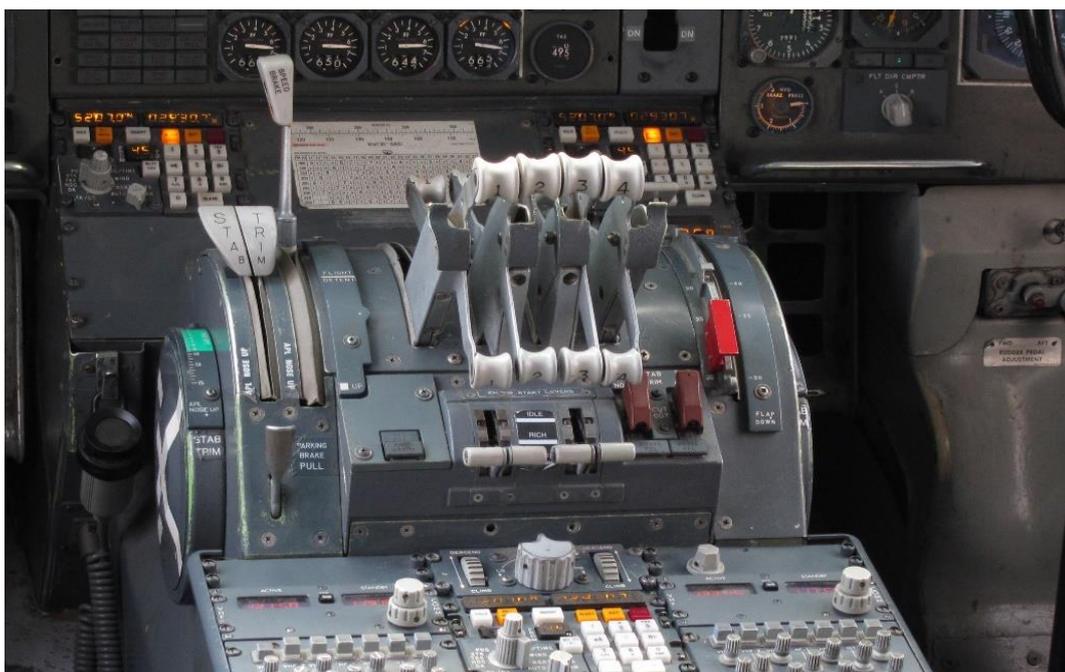
Dentre essas inovações, havia um equipamento de navegação igualmente revolucionário que tornava possível o voo em linha reta entre duas coordenadas geográficas ou waypoints no espaço, sem a dependência de rádio-auxílios em solo e de forma totalmente autônoma e automatizada.

O equipamento em questão e que equipava de fábrica o novo Boeing, era um sistema de navegação inercial (INS), desenvolvido pela Delco Electronics, uma divisão da General Motors Corp, que basicamente realizava o trabalho de navegação que os modernos FMS/FMCs (Flight Management System / Computer) atuais

realizam, ainda que de forma bem primitiva, já que o inercial do novo jumbo, permitia a inserção de apenas nove waypoints a partir de coordenadas geográficas já conhecidas, algo bem limitado se comparado aos sistemas atuais. (PDH CENTER, J. C. SKYKEN, 2019)

A entrada do sistema inercial na aviação juntamente com outros sistemas, como os de navegação hiperbólica LORAN (Long Range Navigation) e OMEGA, marcava o início do desenvolvimento do método RNAV de navegação, que trouxe avanços e benefícios à época, e que hoje está presente em grande parte das navegações aéreas comerciais. Diferentemente dos sistemas de navegação de longa distância existentes à época como os sistemas hiperbólicos, o sistema inercial não dependia de sinais externos de rádio, sendo muito útil para voos transoceânicos e em áreas remotas, carentes de rádio-auxílios a navegação. (ICAO, 2008)

Figura 7 - Cockpit do 747-100 e seus três sistemas inerciais de navegação



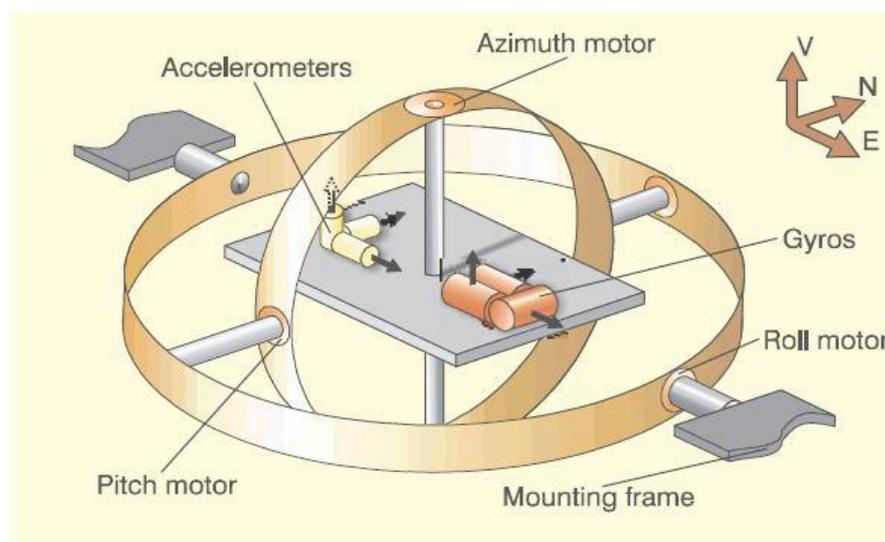
Fonte: Olivier Cleyne (Wikimedia Commons, 2012)

A partir do surgimento do Boeing 747-100, uma série de outros widebodies à época como o DC-10, L1011, A300, entre outros, também passaram a adotar de fábrica sistemas inerciais iguais ou similares, marcando uma nova era nos voos de longa distância na aviação. O Inertial Navigation System (INS) que teve seu uso restrito até então a foguetes, mísseis e naves espaciais, além de aeronaves militares, era, pela primeira vez, com o Boeing 747, certificado e aprovado para o uso comercial

aeronáutico e instalado de fábrica em uma aeronave civil. Uma tecnologia aperfeiçoada durante o programa espacial americano, nos interiores do MIT (Massachusetts Institute of Technology), tornando possível os pousos lunares do projeto Apollo no final da década de 60, a partir daquele momento tornava-se realidade também nos jatos comerciais destinados ao transporte civis de passageiros e cargas.

O sistema inercial instalado no 747 em questão, era basicamente formado por 4 componentes ou unidades, tipicamente os componentes básicos de todo sistema inercial, sendo os componentes: um Inertial Navigation Unit (INU), uma Battery Unit (BU), um Mode Selector Unit (MSU) e um Control Display Unit (CDU). Dos componentes citados acima, o Inertial Navigation Unit também conhecido como Inertial Measurement Unit (IMU) é onde encontramos o coração do sistema inercial. Também chamado de plataforma inercial, essa unidade, que é formada por uma combinação de giroscópios e acelerômetros, tem por finalidade "sentir" qualquer movimento que a aeronave faça, permitindo com isso, determinar o posicionamento espacial ou atitude da aeronave e, com o auxílio de um computador e a partir de uma posição inicialmente conhecida, determinar a nova posição geográfica da aeronave, fornecendo outras importantes informações de navegação como, vento em rota, velocidade em relação ao solo e proa magnética. (A. D. KING, 1998)

Figura 8 - O sistema inercial e seu funcionamento



Fonte: Tampere University of Technology (2016)

Apesar de muito aperfeiçoado nos laboratórios do MIT ao longo dos anos 60, a semente de seu desenvolvimento, remonta a Alemanha dos anos 30, onde os

primeiros foguetes de uma série conhecida como Aggregate, foram testados com plataformas giroscópicas rudimentares.

O foguete A-2, projetado e desenvolvido pelo grande cientista alemão Wernher Von Braun em Kummersdorf e lançado com sucesso em 1934, foi o primeiro da série Aggregate a utilizar uma plataforma giroscópica para o seu controle de atitude durante o voo. Quase que simultaneamente ao desenvolvimento dos foguetes alemães, o americano Robert H. Goddard, outro grande cientista e pioneiro no estudo de foguetes, conhecido por ter feito o primeiro lançamento bem-sucedido de um foguete de combustível líquido, lançou, na primavera de 1935, seu primeiro foguete guiado por plataformas giroscópicas. (F. K. MULLER, 1960)

Seguindo o lançamento do A-2, Von Braun e sua equipe de engenheiros continuaram aperfeiçoando seus estudos em relação ao sistema inercial de controle de seus foguetes, com os projetos A-3, A-5 e A-4, este último renomeado para V2 em 1942, sendo um grande marco para os alemães na segunda guerra mundial, parte de seu sucesso devido ao seu bom sistema de controle, servindo de base posteriormente para o desenvolvimento de outros foguetes maiores e mísseis balísticos intercontinentais, até o grande saturno V que levou o homem à Lua. (F. K. MULLER, 1960)

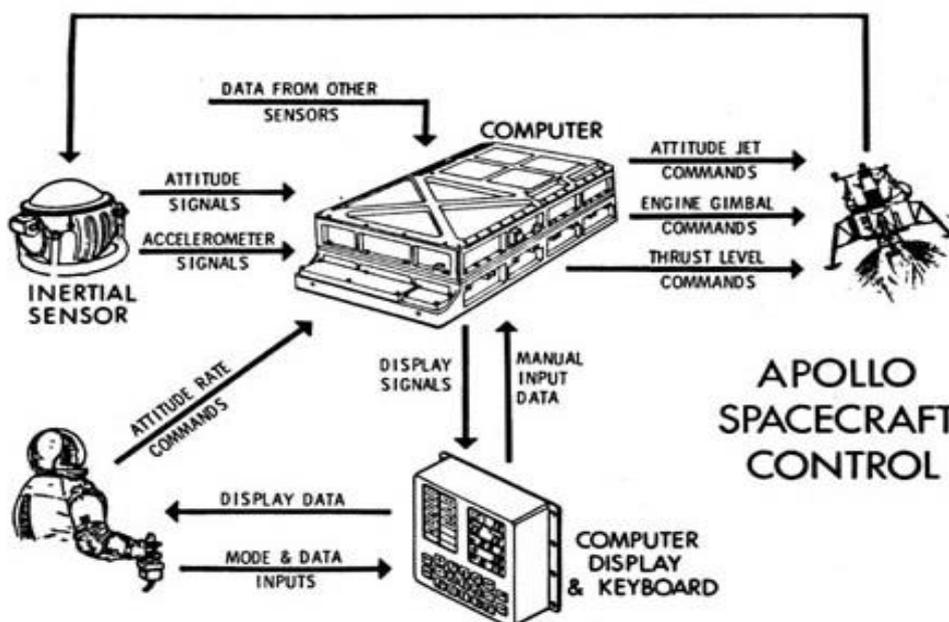
Outro personagem importantíssimo para o desenvolvimento desse sistema de navegação, permitindo o seu uso em aeronaves, foi o engenheiro e professor do MIT, Charles Stark Draper, conhecido como o pai da navegação inercial. Nascido no ano de 1901 em Windsor, Missouri, formou-se em psicologia em 1922 na Universidade de Missouri. Ingressou no MIT no mesmo ano, em setembro, no curso de engenharia eletromecânica, formando-se em 1926. No ano de 1929 ele também se graduou piloto de avião em um curso civil de aviação, o que foi muito importante para que seu interesse em voos por instrumentos e no aprimoramento dos instrumentos de voo e de navegação das aeronaves fosse despertado. Ao longo dos anos 30 ele aprimorou suas pesquisas e estudos com relação a tecnologia de instrumentação e controle, criando em 1934, o MIT Instrumentation Laboratory. (PHILIP D. HATTIS, 2018)

A partir do final da segunda guerra mundial, Draper e seus alunos focaram seus estudos no desenvolvimento de um sistema autônomo de navegação, que permitisse a navegação de veículos tripulados e não tripulados, independente de meteorologia, sinais externos, e que combinasse um sistema giroscópico melhorado e acelerômetros. O resultado inicial, foi o desenvolvimento dos primeiros inerciais para

aeronaves, os chamados FEBE e SPIRE, testados a partir do ano de 1949 e ao longo dos anos 50. (BRITANNICA, 2019)

Com o início da corrida espacial, a NASA, encorajada pelo memorável discurso do presidente John F. Kennedy que, em setembro de 1962, propôs um desafio de levar homens à Lua e trazê-los de volta até o final da década, estabeleceu todos os critérios que deveriam ser alcançados para que tal objetivo fosse completado, e dentre eles, constava o desenvolvimento de um sistema completo de navegação que permitiria o pouso lunar com sucesso. Draper e seu laboratório de instrumentação no MIT juntamente com a Delco Electronics, foram consagrados com o primeiro grande contrato do projeto Apollo, desenvolvendo e aprimorando o sistema inercial de navegação, tornando-o confiável e leve o suficiente para o seu uso na espaçonave. O resultado de toda essa pesquisa, foi o pequeno passo e o grande salto para a humanidade realizado em 20 de julho de 1969, por Neil e seus companheiros de missão Buzz e Collins, sem contar as outras expedições lunares bem-sucedidas que se sucederam até o final do projeto em 1972, além da expansão do uso desse sistema de navegação para aeronaves comerciais civis, presente ainda hoje em larga escala nas aeronaves comerciais, em conjunto com outros sistemas de navegação como o GPS.

Figura 9 - O sistema de navegação da nave Apollo



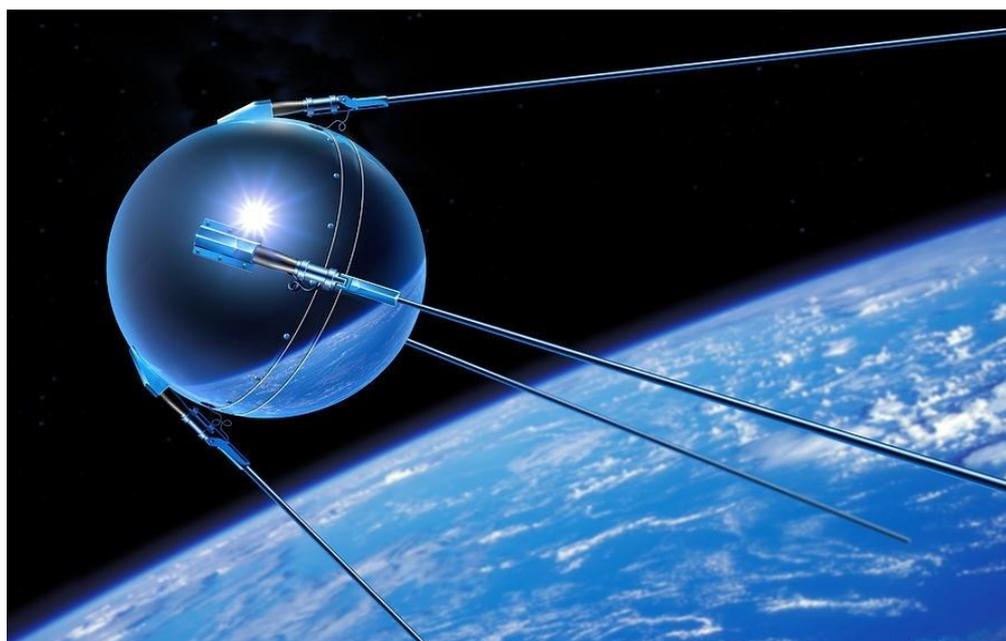
Fonte: Don Eyles (2017)

## 2.3 A CORRIDA ESPACIAL E OS PRIMEIROS SATÉLITES ARTIFICIAIS

### 2.3.1 Sputnik 1 e os primeiros satélites (1957 – 1960)

Em 04 de outubro de 1957, entrava em órbita terrestre pela primeira vez na história, o primeiro objeto artificial construído pela humanidade, um satélite esférico de aproximadamente 83 kg e 58 cm de diâmetro de nome Sputnik 1, que orbitava a Terra a cada 96 minutos e enviava um sinal de rádio que produzia um característico som de "bip" aos seus receptores em Terra. O pequeno satélite, lançado em plena Guerra Fria pela União Soviética (URSS), a bordo de uma versão modificada do foguete R-7 Semyorka, durante o Ano Internacional da Geofísica (IGY), período de grande esforço científico internacional marcado por intensas atividades solares, estendendo-se de julho de 1957 a dezembro de 1958 (ELSPETH LEWIS, 2017), marcou o ponto inicial da acirrada disputa espacial entre americanos e soviéticos, que trouxe inúmeros benefícios a pesquisa científica aeroespacial ao longo dos anos. Sputnik permaneceu em órbita por aproximadamente 92 dias, reentrando na atmosfera terrestre em 4 de janeiro de 1958, pouco tempo, se comparado a sua grande importância à pesquisa científica. (GALILEU, 2014)

Figura 10 - O satélite Sputnik 1



Fonte: Revista Galileu (2014)

Logo após o seu lançamento, a URSS, ainda em 1957, marcaria novamente a história da corrida espacial ao lançar, em novembro, o Sputnik 2, levando a bordo o primeiro ser vivo a orbitar a Terra, uma pequena cadela de nome Laika, que faleceu algumas horas após o lançamento, devido ao grande stress e a problemas no controle de temperatura da cápsula, mas provou que seres humanos conseguiriam sobreviver ao lançamento inicial e inserção orbital.

No ano seguinte, em janeiro de 1958, os EUA de Dwight Eisenhower, como uma reação ao grande feito soviético, conseguiu colocar em órbita o seu primeiro satélite artificial, o Explorer 1, que trouxe uma grande descoberta para a ciência, o cinturão de radiação Van-Allen. Outro grande passo americano em resposta aos soviéticos, foi a criação, também em 1958, da agência espacial NASA (National Aeronautics and Space Administration), oriunda da antiga agência NACA (National Advisory Committee for Aeronautics). Ao final do mesmo ano, em dezembro, a NASA atrai novamente a atenção mundial ao lançar o satélite SCORE, que envia de volta à Terra uma mensagem de natal ao presidente dos EUA. No ano seguinte, em abril, os EUA apresentam ao mundo os “Mercury Seven”, como ficaram conhecidos os primeiros sete astronautas americanos, selecionados após um rigoroso programa de testes e avaliações. (NASA, 2019)

O ano de 1960 foi marcado pelos lançamentos, com sucesso pela NASA, do primeiro satélite meteorológico bem-sucedido da história, o TIROS-1, que enviou imagens em infravermelho de camadas de nuvens e furacões, provando que satélites poderiam ser usados para o estudo meteorológico, o ECHO 1, o primeiro satélite passivo de comunicação, que apenas refletia sinais de comunicação de um ponto da Terra a outro, o Courier 1B, o primeiro satélite ativo e repetidor de comunicação, apto a receber uma mensagem da Terra, gravá-la e enviá-la de volta, e o Transit 1B, o primeiro satélite de um programa desenvolvido para a Marinha dos EUA, com a finalidade de se determinar a posição de receptores em terra para fins de navegação, um embrião dos sistemas de navegação por satélite que conhecemos hoje como o GPS, GLONASS, etc. (JPL – NASA, 2019)

Figura 11 - O satélite TIROS 1 e sua primeira imagem da Terra



Fonte: Wired (2008)

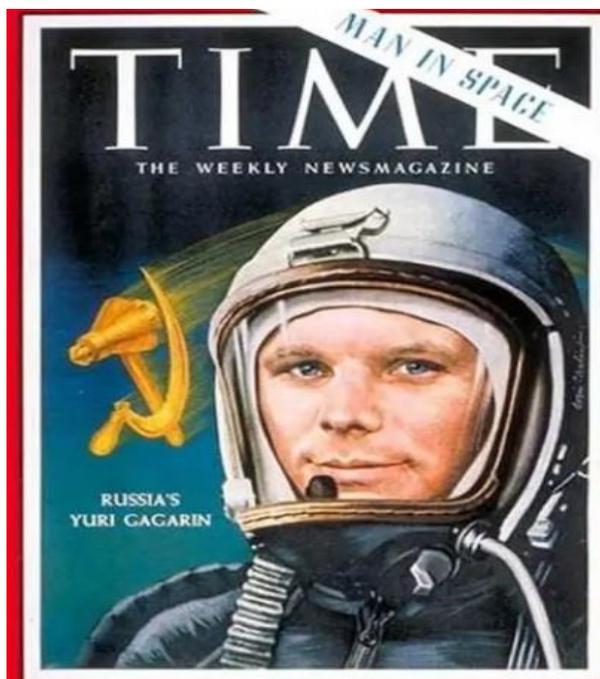
### 2.3.2 Os primeiros homens no espaço e o satélite Telstar 1 (1961 – 1966)

O anúncio, pela NASA, do primeiro grupo de astronautas americanos, conhecidos como os “Mercury Seven”, ou os “Sete da Mercury”, sendo Mercury o nome do primeiro programa americano de missões tripuladas ao espaço, mostrava ao mundo, a importância para os EUA, de se colocar um homem pela primeira vez no espaço, em tempos tão tensos como os da Guerra Fria. Após uma intensa seleção envolvendo pilotos de testes da Marinha e Força Aérea dos Estados Unidos, todos com formação superior, a NASA anuncia, em uma coletiva de imprensa realizada no dia 9 de abril de 1959, os sete astronautas escolhidos. (NASA, 2019)

Apesar de um intenso programa de treinamentos e testes de lançamentos, em 12 de abril de 1961, os americanos foram surpreendidos novamente pela potência socialista do oriente, com a incrível notícia do primeiro voo espacial de um jovem cosmonauta de 27 anos, de nome Yuri Gagarin que, a bordo da espaçonave Vostok 1, entrava para a história da humanidade como sendo o primeiro ser humano a “voar” pelo espaço e orbitar a Terra. Gagarin foi escolhido para o voo pioneiro dentre outros 19 cosmonautas inicialmente selecionados, por conta de seu belo desempenho no treinamento, além das características físicas ideais para o voo, que foram levadas

muito em consideração. O jovem tinha apenas 1,57 m de altura e pesava 69 kg. (PATRÍCIA GNIPPER, 2018)

Figura 12 - O cosmonauta Yuri Gagarin



Fonte: Time Magazine (2019)

Pouco menos de um mês após o voo histórico de Gagarin, foi a vez dos americanos lançarem seu primeiro homem. Em 5 de maio de 1961, após alguns atrasos, a bordo da espaçonave Freedom 7, Alan Shepard, um americano de 37 anos, natural de Derry, New Hampshire, torna-se o primeiro americano no espaço. Apesar de Shepard ser considerado o primeiro americano na história das viagens tripuladas espaciais, o seu voo não atingiu a velocidade suficiente para entrar em uma trajetória orbital ao redor da Terra, sendo considerado por tanto, um voo suborbital, ou seja, um voo de trajetória balística com retorno direto, mostrando o atraso dos americanos em relação aos soviéticos durante aquele momento inicial da corrida espacial. Os americanos somente conseguiriam realizar tal feito, no terceiro voo do projeto Mercury, com o astronauta John Glenn, a bordo da cápsula Friendship 7, que acabou se tornando o primeiro americano a orbitar a Terra, em 20 de fevereiro de 1962. (HISTORY, 2010)

As missões tripuladas do projeto Mercury continuaram até maio de 1963, quando o astronauta Gordon Cooper, a bordo da nave Faith 7, encerrou o projeto com

seu voo final de 22 órbitas totais ao redor da Terra. A partir desse momento, os americanos, preocupados em vencer a corrida espacial contra os soviéticos e inflados pelo famoso discurso de Kennedy, passaram a se dedicar ao seu segundo projeto de missões tripuladas ao espaço, de nome Gemini, que tinha por finalidade resolver todos os desafios necessários para se levar astronautas ao satélite natural e trazê-los de volta com segurança. (HISTORY, 2010)

Os voos tripulados do projeto Gemini, que tiveram seu início em março de 1965, agora com dois astronautas de cada vez, trouxeram uma série de avanços a ciência aeroespacial, onde manobras complexas de mudanças orbitais, encontros de espaçonaves em órbita (Rendezvous) e acoplagens espaciais foram realizadas. Do outro lado do mundo, a URSS também realizava grandes feitos espaciais, saindo na frente dos americanos em algumas ocasiões, como na primeira caminhada espacial da história, realizada pelo cosmonauta Alesei Leonov, antes mesmo do astronauta Ed White na missão Gemini 4, além do envio da primeira mulher ao espaço, a cosmonauta Valentina Tereshkova. Em paralelo as missões tripuladas, os feitos com satélites artificiais continuaram a surpreender o mundo e a ciência, como ocorreu em julho de 1962, com o lançamento, pelos americanos, do satélite Telstar-1, o primeiro satélite ativo de comunicações, permitindo transmitir programas de televisão, ligações telefônicas e fax através do atlântico.

A missão Gemini 12, lançada em 11 de novembro de 1966, tendo a bordo astronautas Jim Lovell e Buzz Aldrin, fecha o ciclo de missões do projeto, “pavimentando” todo o caminho necessário para se levar os primeiros astronautas a Lua, algo que a NASA realizaria com o projeto seguinte de nome Apollo.

### **2.3.3 A chegada do homem à Lua e o fim da corrida espacial (1967 – 1975)**

O ano de 1967 inicia-se com o pé esquerdo para os americanos da NASA, marcados pelo terrível incêndio que ceifou a vida dos três astronautas da primeira missão tripulada do projeto Apollo, intitulada Apollo 1, durante um teste realizado em 27 de janeiro. Um curto circuito em um dos sistemas do módulo de comando provocou um grande incêndio, que se alastrou rapidamente no ambiente de oxigênio puro da cápsula, impossibilitando o resgate dos astronautas Gus Grissom, Ed White e Roger Chaffee, revelando uma série de defeitos e fragilidades da espaçonave, que

precisariam ser resolvidos a tempo para as missões seguintes. (MERRYL AZRIEL, 2014)

O lado soviético também foi marcado por grandes perdas à época, como a morte, em 1966, do grande engenheiro e projetista Sergei Korolev, a mente brilhante responsável por grande parte dos sucessos soviéticos alcançados até aquele momento da corrida. A morte de Korolev contribuiu fortemente para os insucessos soviéticos na disputa espacial a partir daquele momento. Outro grande golpe para a URSS no ano de 1967, em abril, foi a morte do cosmonauta Vladimir Komarov durante a reentrada da cápsula da missão Soyuz 1, que, devido a problemas na abertura de seu paraquedas balístico, chocou-se com o solo a uma enorme velocidade, matando seu cosmonauta. (HISTORY, 2010)

Apesar do incêndio, os americanos, ao longo dos meses seguintes, conseguiram corrigir os principais erros e defeitos da espaçonave Apollo, e após alguns testes não tripulados, lançaram finalmente, em outubro de 1968, a primeira missão tripulada do projeto. A missão, intitulada Apollo 7, com os astronautas Walter Schirra, Donn Eisele e Walter Cunningham, conseguiu testar os módulos de comando e serviço em órbita terrestre, com manobras complexas de mudanças orbitais, provando que a nave era segura o suficiente, para que os voos tripulados em direção à Lua fossem realizados. Outros dois grandes feitos espaciais americanos, foram marcados pelas missões Apollo 8, em dezembro, que levou os primeiros seres humanos a orbitar a Lua a bordo do foguete Saturno V, e Apollo 10 que, em maio de 1969, testou o módulo lunar em órbita lunar, deixando o caminho livre para a primeira tentativa de alunissagem, que seria realizada na missão seguinte Apollo 11, em julho.

Finalmente em 20 de julho de 1969, em uma noite de domingo, os três astronautas americanos da missão Apollo 11, Neil A Armstrong, Buzz Aldrin e Michael Collins, entraram para a história ao realizar, de forma bem-sucedida, o primeiro pouso de uma nave tripulada em solo lunar, o grande ápice da corrida espacial. O resultado de um conjunto de esforços que envolveu milhares de brilhantes cientistas, contratos com vários fabricantes do setor aeroespacial, além de um orçamento bilionário. Neil A. Armstrong, americano de 38 anos, natural de Wapakoneta, Ohio, de natureza tímida e reservada, eternizou-se como o primeiro homem a pisar em um outro corpo celeste. (JAMES R. HANSEN, 2018) A célebre frase “é um pequeno passo para o homem, um salto gigantesco para a humanidade”, de sua autoria, que estará para sempre eternizada nos livros de história, sintetiza toda uma época tensa de guerras,

disputas e competições tecnológicas e armamentistas, mas que trouxe enormes avanços à humanidade e a comunidade científica.

Figura 13 - Os astronautas da missão Apollo 11



Fonte: NASA (2019)

Após o sucesso da Apollo 11, o mundo testemunhou ao longo dos anos seguintes a chegada de outras missões tripuladas a Lua, até que em 1972, após cortes no orçamento, a missão Apollo 17, com os astronautas Eugene Cernan, Ronald Evans e Harrison Schmitt, encerra o ciclo de missões tripuladas ao satélite natural, após incríveis 3 dias em solo lunar. Com o fim das missões Apollo, os EUA passam a se dedicar ao projeto de sua primeira estação espacial, o Skylab, lançado em maio de 1973, utilizando um foguete Saturno V sobressalente do projeto anterior. Skylab trouxe um importante legado à ciência como um todo, com a realização de diversos experimentos em órbita, além de servir como um embrião para o desenvolvimento de outras estações espaciais no futuro, como a MIR e a ISS.

Em 1975, após uma intensa disputa, americanos e soviéticos juntam-se na simbólica missão Apollo-Soyuz, que encerra a corrida espacial após uma contribuição imensurável à ciência e ao setor aeronáutico. Todo o legado da conquista espacial se reflete atualmente nas diversas atividades dos seres humanos, com imensos benefícios e comodidades. No setor da aviação, por exemplo, as tecnologias provenientes dos avanços espaciais são aplicadas nas mais diversas atividades

aeronáuticas, como navegação aérea, comunicações, previsões meteorológicas, entre outras, contribuindo imensamente com a segurança, eficiência e regularidade do transporte. (HISTORY, 2010)

Figura 14 - Apollo - Soyuz



Fonte: Mankato Times (2017)

## 2.4 O SATÉLITE E SUA UTILIZAÇÃO NA AVIAÇÃO

### 2.4.1 O satélite e a navegação aérea

A ciência da utilização de satélites para se determinar a localização de receptores em terra, remonta aos primórdios da corrida espacial quando dois cientistas da Applied Physics Laboratory (APL) da Universidade John Hopkins, George Weiffenbach e William Guier, conseguiram determinar a posição orbital do Sputnik 1, medindo o efeito Doppler dos sinais de rádio emitidos pelo satélite. Posteriormente, Frank McClure, presidente do centro de pesquisa APL sugeriu que, conhecendo-se e prevendo-se a posição do satélite em seu plano orbital, o mesmo efeito poderia ser utilizado para se determinar a posição de receptores em terra. A ideia de McClure logo resultaria no desenvolvimento do primeiro projeto de um sistema de navegação por satélite conhecido como Transit, em parceria com a recém-criada agência ARPA (Advanced Research Projects Agency), Marinha dos EUA e APL.

A partir de 1958 iniciaram-se os trabalhos para tornar o programa Transit totalmente operacional, algo que somente ocorreria no ano de 1964, após os lançamentos dos satélites Transit 1B em 13 abril de 1960, seguidos dos lançamentos de mais quatro satélites entre 1960 e 1961, formando uma constelação de um total de cinco satélites em órbitas polares. O sistema passou a ser utilizado pela Marinha americana para se determinar a posição, em duas dimensões (latitude e longitude), de seus navios de superfície, além de prover informações de navegação aos submarinos utilizados nos lançamentos dos mísseis balísticos Polaris. (STEPHEN T. POWERS, BRAD PARKINSON, 2010)

O programa Transit desenvolveu uma técnica essencial para o GPS, que foi o uso de duas frequências para calibrar o atraso de tempo do sinal de rádio induzido pela ionosfera. Esta técnica de dupla frequência foi incorporada ao GPS para atingir a mais alta precisão de posicionamento. Além disso, Transit também foi pioneira na previsão precisa de órbitas de satélites, outra tecnologia essencial do GPS. (STEPHEN T. POWERS, BRAD PARKINSON, 2010).

Posteriormente ao Transit outros dois sistemas de navegação por satélite, o Timation e o 621B, foram desenvolvidos pela Marinha e Força Aérea dos EUA com importantes contribuições tecnológicas, como o satélite Timation 1, lançado em maio de 1967, o primeiro equipado com um relógio atômico altamente preciso.

Visando criar um sistema de navegação por satélite superior, integrando as tecnologias dos sistemas Transit, Timation e 621B já existentes, o Departamento de Defesa dos EUA cria, para fins militares de defesa em 1973, o programa DNSS (Defense Navigation Satellite System), renomeado mais tarde pra Navstar-GPS. Dez satélites experimentais do chamado “Bloco-1”, fabricados pela Rockwell International, foram lançados em fevereiro de 1978, o primeiro passo rumo a operacionalidade total do sistema ocorrida somente no ano de 1993, após o lançamento do 24º satélite do “Bloco-2”. Apesar do objetivo inicial do governo americano de utilizá-lo somente para fins militares, um terrível acontecimento com um Boeing 747 da Korean Airlines em 1983, executando o voo KAL 007, abatido por engano pela URSS com 269 pessoas a bordo, após ingressar erroneamente em espaço aéreo soviético proibido, faz com que Ronald Reagan, presidente dos EUA à época, anunciasse o compartilhamento do sistema GPS também a usuários civis após a sua total operacionalização. (STEPHEN T. POWERS, BRAD PARKINSON, 2010)

#### 2.4.1.1 O princípio de funcionamento do GPS

De acordo com o FAA Instrument Flying Handbook (2001), o funcionamento do GPS baseia-se no conceito de alcance e triangulação de um grupo de satélites no espaço, para que a solução de posição seja realizada. Um mínimo de 4 satélites são necessários para que a posição em três dimensões (latitude, longitude e altitude) de um receptor em terra seja determinada.

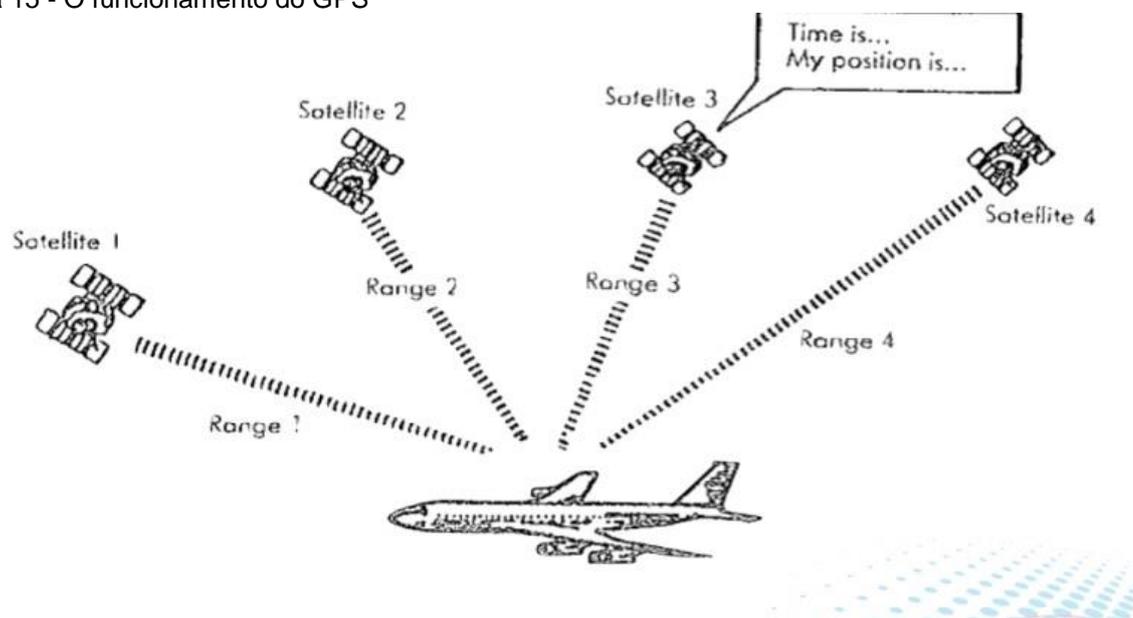
Cada satélite GPS envia à Terra um sinal de rádio contendo um código específico, o CA (Course/Acquisition) code, que contém informações a respeito de sua posição orbital no momento, conhecida como efemérides, o exato tempo do envio do sinal e status, além de informações a respeito de toda constelação do sistema, o chamado almanaque. O receptor GPS determina a chamada pseudo-distância de um satélite, que é obtida medindo-se o tempo de viagem do sinal de rádio emitido pelo satélite. Para isso é necessário se conhecer a velocidade de transmissão do sinal, cerca de 300.000 km/s, além dos exatos momentos de emissão e recepção, medidos através de precisos relógios atômicos internos dos satélites e receptores. (FAA, 2001)

O nome pseudo-distância se dá pelo fato de o método utilizar o tempo para se calcular a distância de um satélite ao invés de uma medição direta. Em adição a pseudo-distância, a exata localização do satélite em sua órbita é necessária para que

a solução de posição seja alcançada. Triangulando os dados obtidos de um mínimo de 4 satélites em órbita, o posicionamento em três dimensões de um receptor em terra é alcançada.

O sistema GPS é dividido em três segmentos, o espacial, formado pela constelação de satélites, o de controle, responsável por seu correto funcionamento, e o utilizador, formado pelos diversos usuários e seus receptores em terra. A operação e controle do GPS são de responsabilidade do Departamento de Defesa (DOD) dos EUA. O GPS utiliza um sistema de coordenadas geográficas geocêntrico, baseadas no sistema geodésico WGS-84 para que a posição de veículos, aeronaves e demais receptores em solo seja determinada.

Figura 15 - O funcionamento do GPS



Fonte: John Wilde (DW International, 2019)

De acordo com dados do site Navcen (Navigation Center) do U.S Coast Guard, atualmente um total de 31 satélites Navstar-GPS orbitam a Terra em 6 planos orbitais a uma distância aproximada de 20 mil km, a chamada Órbita Terrestre Média (MEO), em uma geometria espaçada o suficiente que permite a visualização de pelo menos 4 satélites em qualquer ponto da superfície terrestre. Um mínimo de 24 satélites são necessários para o correto funcionamento do sistema, mas atualmente um número maior de satélites são mantidos em órbita, os chamados spares, para conter possíveis contingências e manutenções. (IAC 3512, 2001)

Os receptores GPS destinados ao uso aeronáutico, principalmente em rotas ou procedimentos IFR que dependem do GPS como sensor primário de navegação, devem possuir um sistema ABAS (Aircraft-based Augmentation System) embarcado, que tem por finalidade melhorar o desempenho do sistema GPS, seja através de softwares de monitoramento e alerta da integridade dos sinais enviados pela constelação de satélites, como o RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitor), e/ou integrando o GPS com outros sensores de navegação disponíveis a bordo como sistemas inerciais (INS), técnica essa de ABAS conhecida como AAIM (Aircraft Autonomous Integrity Monitor). O método ABAS mais utilizado em conjunto dos receptores GPS atualmente é o RAIM. A funcionalidade RAIM monitora a integridade das informações enviadas pelos satélites da constelação GPS, através de medições redundantes dos satélites, por isso, um mínimo de cinco satélites, um a mais que o mínimo necessário para a solução de posição dos receptores aeronáuticos são necessários, para que a medição de integridade RAIM seja realizada. Para que o RAIM detecte e isole automaticamente um satélite defeituoso da triangulação de posição, funcionalidade conhecida como FDE (Fault Detection and Exclusion), um mínimo de seis satélites são necessários. (ANAC, 2017)

A funcionalidade RAIM melhora o desempenho do GPS como uma espécie de redundância necessária para o uso seguro do GPS na aviação, em procedimentos ou rotas que o utilizam como meio primário de navegação IFR, sem um backup convencional (NDB, VOR, ILS, etc.). Em adição ao RAIM, antes da realização de procedimentos ou rotas baseadas exclusivamente em sensores GNSS, uma predição da precisão e funcionamento do sistema também é necessária. Essa predição, conhecida como Predictive RAIM (PRAIM), permite que o piloto tenha certeza que no horário de um determinado procedimento ou rota a ser executada, a constelação de satélites GPS possuirá a geometria e as condições necessárias para proporcionar a correta precisão exigida.

Esse procedimento de predição somente é possível conhecendo-se o almanaque do sistema GPS, que é um conjunto completo de informações de status e dados orbitais de toda a constelação de satélites. O almanaque é uma das informações que são enviadas pelos satélites da constelação aos receptores GPS em solo, sendo suas informações válidas por 180 dias. (PETE BETTINGER, 2019)

Figura 16 - Funcionalidade Predictive RAIM da aeronave Embraer 195



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019)

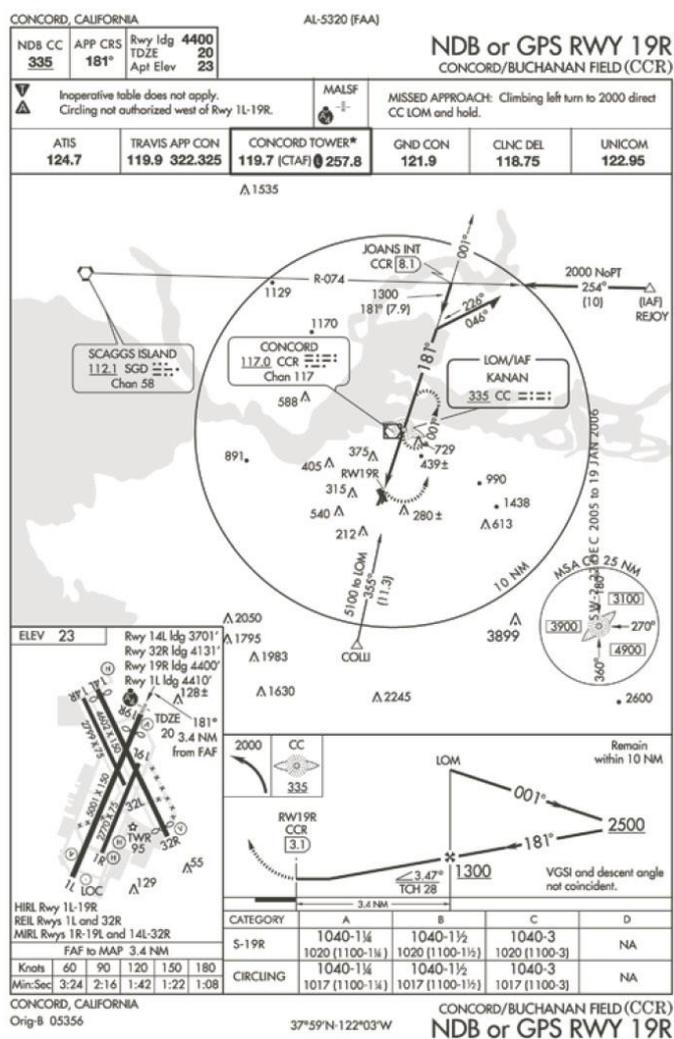
A foto acima mostra a funcionalidade Predictive RAIM para o horário de chegada 06:00 zulu no aeroporto de SBCF. No caso, o PRAIM está garantindo que, de acordo com os dados do almanaque, de 15 minutos antes até 15 minutos depois do horário estimado de chegada no aeroporto, a geometria dos satélites da constelação GPS terá condições de fornecer a precisão necessária à realização de procedimentos IFR com base unicamente em sensores GNSS.

#### 2.4.1.2 Avanços e benefícios do GPS na navegação IFR

Desde de que foi declarado operacional pelo Departamento de Defesa americano em 08 de dezembro de 1993, o GPS teve seu uso na aviação comercial cada vez mais expandido até tornar-se uma realidade indispensável nos dias atuais, tanto em voos IFR como também nos VFR, por conta de seus inúmeros benefícios, avanços e comodidades. (IAC 3512, 2001). Logo após, já em fevereiro de 1994, a FAA publica um NOTAM com as primeiras instruções sobre o uso do GPS em voo IFR. Um dos primeiros grandes avanços conquistados na aviação com sua introdução, foi a possibilidade da utilização de receptores GPS homologados em procedimentos

de aproximação de não precisão, ainda em conjunto com equipamentos de navegação convencionais como o NDB e VOR, os chamados procedimentos “overlay”, referenciados com a sigla GPS em sua nomenclatura, como por exemplo, “NDB or GPS RWY xx”, (MARTIN HELLER, 2006)

Figura 17 - Procedimento GPS "overlay"



NOT FOR USE IN NAVIGATION

Fonte: Flight Learnings (2017)

Os primeiros procedimentos GPS “overlay”, tinham a vantagem de proporcionar ao piloto uma maior consciência situacional com relação ao seu posicionamento no procedimento, apesar de não proporcionarem uma redução nos mínimos para pouso, pois ainda eram considerados procedimentos convencionais. Posteriormente, ainda em 1994, os primeiros procedimentos GPS “standalone” começaram a ser publicados, sem um auxílio-rádio convencional como backup. A

nomenclatura desses procedimentos à época levava somente a sigla GPS, seguida da pista correspondente ao procedimento. Os procedimentos GPS “standalone” trouxeram uma série de benefícios como o desenvolvimento de procedimentos IFR em vários aeródromos carentes de auxílios para pouso. A partir dos anos 2000, a maioria desses procedimentos tiveram sua nomenclatura modificada para “RNAV (GNSS)” ou “RNAV (GPS)” seguido do designativo correspondente a pista. Ainda nos anos 90 foram desenvolvidos os primeiros procedimentos GPS com guia vertical (APV), os chamados Baro-VNAV, que permitem a descida da aeronave em um perfil vertical durante a aproximação, normalmente 3 graus, a partir de dados barométricos provenientes dos altímetros. (MARTIN HELLER, 2006)

Ainda nos anos 90, o desenvolvimento de sistemas RNAV cada vez mais precisos, principalmente após a introdução do GPS na aviação civil, permitiu com que a ICAO publicasse, a primeira edição do DOC 9613 (Manual on Required-navigation Performance), criando as primeiras rotas RNAV com requisitos de desempenho estabelecidos de acordo com o espaço aéreo sobrevoado, conceito esse nomeado à época de RNP (Required-navigation Performance). Em 2008, com a publicação da terceira edição do manual, a ICAO reorganizou todo esse conceito, passando a chamá-lo de PBN (Performance-based Navigation), incluindo o RNP como uma especificação de navegação que inclui um sistema embarcado de monitoramento e alerta de integridade.

A possibilidade de se desenvolver uma navegação RNAV mais precisa, com o uso cada vez mais frequente do GNSS como sensor RNAV, juntamente de sistemas de monitoramento e alerta de integridade, dentro do conceito RNP, permitiu com que rotas mais precisas, diretas e menos espaçadas de voo fossem estabelecidas, possibilitando uma otimização do espaço aéreo, além de permitir o desenvolvimento de procedimentos de aproximação GPS com trajetórias curvas, mais precisas, muito úteis em locais montanhosos e carentes de procedimentos IFR para pouso. A Alaska Airlines, a partir de um esforço em conjunto com a Boeing e a FAA, foi a primeira companhia aérea do mundo a testar o primeiro procedimento de aproximação RNP com trajetória curva, no aeroporto de Juneau em 1996.

A introdução desse tipo de procedimento em Juneau, permitiu com que os mínimos para pouso nesse aeroporto fossem reduzidos praticamente pela metade, diminuindo muito os índices de cancelamentos e alternados naquele aeroporto. Atualmente esse tipo de procedimento RNP com trajetórias curvas, é referenciado

pela ICAO com a nomenclatura RNP AR APCH, sendo AR para “autorização requerida”. O primeiro procedimento RNP AR no Brasil seria homologado somente no ano de 2012, no aeroporto do Santos Dumont, sendo a Gol Linhas Aéreas a primeira companhia aérea brasileira autorizada a executá-lo. (AEROMAGAZINE, 2012)

Também existem os sistemas de aumentação do sinal GPS conhecidos como SBAS (Satellite-based Augmentation System) e GBAS (Ground-based Augmentation System), que corrigem os erros dos sinais enviados da constelação de satélites, aumentando a precisão do sistema, permitindo aproximações GPS de nome LPV APCH (Localizer Performance with Vertical Guidance Approach), com os mesmos mínimos de procedimentos convencionais de precisão ILS. Esses procedimentos GPS com aumentação de sinal poderão no futuro, substituir por completo, equipamentos convencionais de auxílio a pousos de precisão como o ILS, que detém um alto custo de instalação e manutenção. No SBAS o sinal GPS é melhorado a partir de um conjunto de estações de solo e satélites geoestacionários, que enviam o sinal corrigido, a um receptor embarcado na aeronave, apto a receber os sinais SBAS. O GBAS é semelhante ao SBAS, mas é formado somente por um equipamento de solo que proporciona o serviço de aumentação de sinal GPS a um determinado aeroporto, não tendo portanto, a cobertura que os sistemas SBAS proporcionam. Atualmente os sistemas SBAS existentes são o WAAS (EUA), o EGNOS (Europa), o MSAS (Ásia) e GAGAN (Índia).

Figura 18 - Área de cobertura do sistema WAAS



Fonte: Pawlowicz (2008)

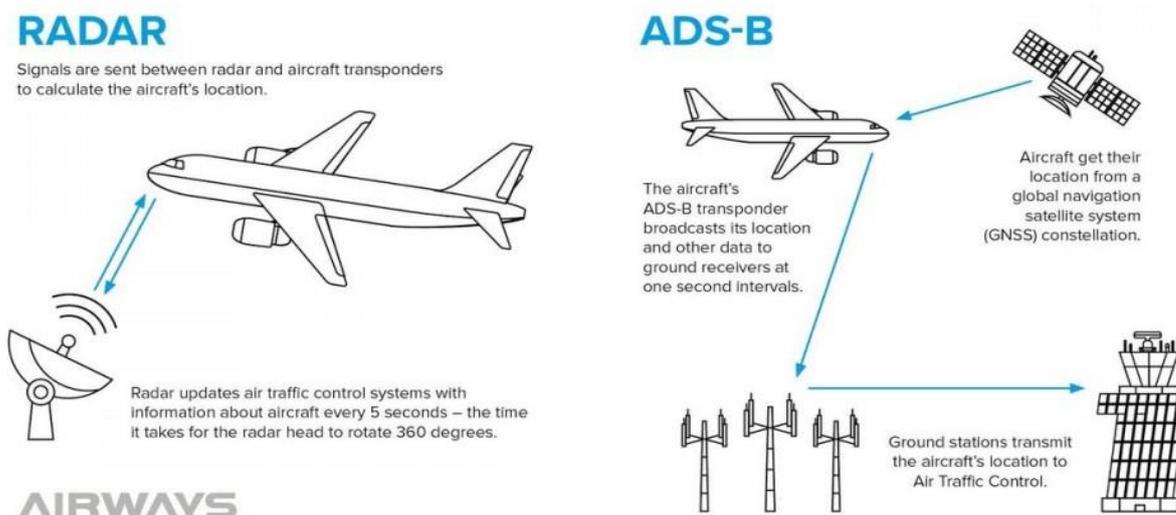
#### 2.4.1.3 O GPS e a vigilância do espaço aéreo

O novo conceito CNS-ATM da ICAO, como já dito anteriormente, incorpora novas tecnologias baseadas principalmente no uso de satélites e enlace de dados, nas áreas de comunicação, navegação e vigilância aérea, visando desenvolver um espaço aéreo mais ordenado, seguro e eficiente, apto a lidar com o aumento do volume de aeronaves previsto para as próximas décadas. Um pilar importantíssimo desse novo conceito relaciona-se com o controle e vigilância do espaço aéreo, que a partir dessas novas tecnologias, torna-se cada vez mais eficiente, com menores espaçamentos entre os tráfegos, possibilitando uma maior acomodação de aeronaves dentro de um mesmo espaço, sem que a segurança e o ordenamento dos tráfegos sejam afetados.

Esses grandes avanços nas áreas de vigilância e controle devem-se, em grande parte, a uma nova funcionalidade incorporada ao transponder das aeronaves que, de posse das tecnologias de localização por satélite e datalink, permite com que uma série de informações precisas a respeito de um voo, como localização geográfica, altitude, velocidade vertical, velocidade em relação ao solo, origem, destino, entre outras, sejam enviadas de forma automática e contínua (até duas vezes por segundo), a receptores em terra que, por sua vez, as enviam aos controladores de tráfego aéreo. Essa nova funcionalidade, conhecida como ADS-B (Vigilância Dependente Automática - Radiodifusão), permite um controle de espaço aéreo mais preciso, eficiente e abrangente, pois informações importantes a respeito de um voo, incluindo o posicionamento da aeronave, podem ser emitidas pelo próprio transponder da mesma, com base em precisos receptores GNSS embarcados, dispensando o uso de radares de vigilância em solo, proporcionando uma redução enorme de custos com relação à instalação e manutenção desses radares, além de acabar com os problemas dos chamados “buracos negros”, que são regiões com falhas de cobertura radar. (AERO MAGAZINE, 2011)

Com base em informações e atualizações de posição mais precisas e rápidas, o espaçamento entre os tráfegos pode ser reduzido para 3 milhas náuticas em terminais (no Brasil a separação padrão em terminal é de 5 milhas), podendo chegar até 2.5 milhas nas aproximações finais. A tecnologia ADS também pode ser empregada em solo, para um melhor controle das aeronaves nas áreas de movimento dos aeródromos, como taxiways, pistas de pouso e decolagem e pátios.

Figura 19 - Tecnologia ADS-B compara a vigilância radar convencional



Fonte: NSS (2018)

A modalidade ADS-B que somente transmite informações, porém sem a capacidade de recebimento de dados, é conhecida como ADS-B “Out”. Dentro dessa tecnologia, existe a modalidade ADS-B “In”, que permite também o recebimento de dados provenientes de fontes em solo, além de outras aeronaves, possibilitando uma troca de informações mais completa, como o recebimento de dados meteorológicos atualizados e precisos dos órgãos ATC, além de evoluir equipamentos de bordo como o TCAS (Traffic Collision Avoidance System), onde as informações de posicionamento dos tráfegos são oriundas de seus próprios receptores GNSS, possibilitando uma representação mais precisa do tráfego na tela do instrumento, melhorando o desempenho do sistema, além de elevar a consciência situacional das tripulações com relação a possíveis tráfegos conflitantes.

Existe também a modalidade ADS-C (Contract) onde os dados são enviados diretamente ao órgão de controle, por meio de “logon”, sem que receptores de solo façam a intermediação, sendo muito útil em áreas remotas e oceânicas. Devido à ausência de receptores intermediários de solo, satélites de comunicação (SATCOM), são muito utilizados na transmissão dos dados na funcionalidade ADS-C. O ADS-C possibilita uma série de vantagens com relação aos voos oceânicos, como por exemplo, a visualização contínua do tráfego pelo controlador, algo que, sem essa tecnologia era impossível, devido a impraticabilidade da instalação de radares em oceanos. Esse avanço permite reduções de separação em rotas oceânicas, além de

autorizações mais eficientes e diretas por parte do ATC, trazendo grandes benefícios e economias às empresas aéreas.

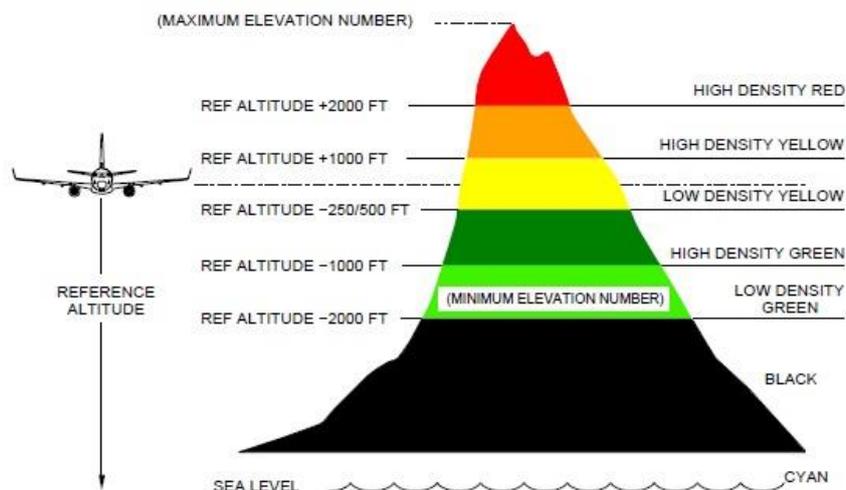
#### 2.4.1.4 O GPS e a evolução do GPWS e sistemas de aviônicos

A introdução do GPS na aviação possibilitou o aprimoramento de sistemas de alertas em relação ao solo, como o GPWS, que basicamente era dotado apenas de rádio-altímetros e sensores altimétricos, que proporcionavam alertas à tripulação nos casos de aproximações inadvertidas do solo, bem como razões de descidas excessivas, etc. Uma grande limitação desse sistema era com relação à obstáculos localizados a frente da aeronave, como montanhas e outros terrenos mais elevados, pois os alertas gerados com base apenas nos rádio-altímetros, detectavam apenas a parte do terreno localizada abaixo da mesma, baseando-se somente nos sinais de rádio refletidos do solo. O sistema era impossibilitado de “olhar a frente” da aeronave.

Com a introdução do GPS, foi possível evoluir esse sistema, desenvolvendo o chamado EGPWS (Enhanced Ground Proximity Warning System), que, aliado a um banco de dados preciso contendo todo o mapeamento do terreno sobrevoado, juntamente da exata localização da aeronave advinda dos precisos receptores GPS embarcados, além dos rádio-altímetros já existentes, tornou possível a produção de alertas não só com relação ao solo sobrevoado logo abaixo da aeronave, mas também, para todo terreno localizado ao redor da mesma, como montanhas, morros, etc.

O EGPWS possui um conjunto de 7 modos de alertas e é um grande avanço com relação ao aumento da consciência situacional das tripulações com acidentes do tipo CFIT, além de aproximações inadvertidas do solo em condições IMC (Condições meteorológicas de voo por instrumentos), etc. (HONEYWELL, 2016)

Figura 20 - EGPWS



Fonte: Embraer (AOM Vol 2, 2008)

O desenvolvimento de sistemas EGPWS possibilitou com que seu banco de dados fosse também utilizado na evolução de aviônicos indispensáveis ao voo IFR, como o PFD (Primary Flight Display) das aeronaves Glass Cockpit (instrumentos de voo representados em telas), que hoje contam com a possibilidade da instalação de sistemas de visão sintética, que mostram todo terreno sobrevoado ao redor da aeronave em três dimensões, aumentando consideravelmente a consciência situacional das tripulações com relação ao relevo sobrevoado. O Synthetic Vision System (SVS), é uma excelente ferramenta para o aumento do alerta situacional dos pilotos quando sobrevoando regiões montanhosas, principalmente em condições IMC. (HONEYWELL, 2016)

Figura 21 - PFD com a tecnologia SVS



Fonte: Honeywell (2016)

### 2.4.2 O satélite e a meteorologia aeronáutica

A meteorologia é um fator de extrema importância para a aviação e influi diretamente na segurança e no planejamento dos voos, devendo ser minuciosamente checada antes da realização de cada voo. A checagem das condições de tempo em rota como também nos aeródromos envolvidos no voo, devem fazer parte do dia a dia dos pilotos durante a preparação e planejamento de seus voos.

Atualmente pode-se afirmar que as previsões meteorológicas para a aviação evoluíram de uma forma muito significativa, principalmente com o uso de satélites que possibilitam a geração de imagens mais precisas de nuvens e outros fenômenos meteorológicos, de forma muito mais abrangente, com total cobertura do globo terrestre. As imagens e informações obtidas a partir dos diversos satélites meteorológicos que cobrem todo o globo, contribuem de forma positiva para uma série de modelos matemáticos que ajudam na previsão do tempo, prevenção de desastres naturais, além de proverem estudos climáticos mais detalhados, importantes à uma série de setores além da aviação, como agricultura, indústria, etc. (AEB, 2018)

De acordo com o site da AEB (Agência Espacial Brasileira), “O setor espacial contribui de forma ativa com a meteorologia e com a prevenção de desastres naturais decorrentes de mudanças climáticas e de fenômenos atmosféricos.”

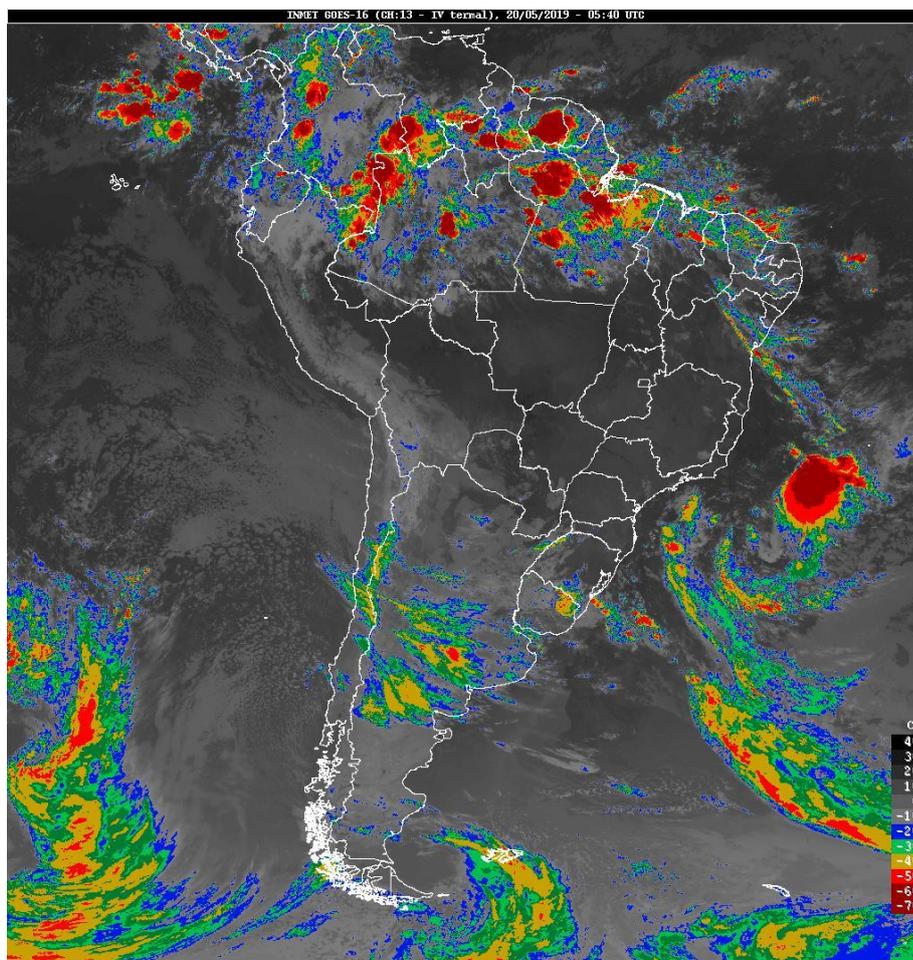
O início do uso de satélites para estudos meteorológicos remonta aos tempos da corrida espacial, quando o programa TIROS (Television Infrared Observational Satellite), de satélites destinados a observações meteorológicas, foi colocado em prática com o lançamento do primeiro satélite do programa, o TIROS-1, em abril de 1960, considerado o primeiro satélite meteorológico bem-sucedido da história. O programa TIROS proporcionou imagens importantíssimas sobre fenômenos meteorológicos já em 1965 aos meteorologistas, além de pavimentar o caminho para outros importantes programas como o Nimbus. A extensão do programa TIROS, colocou em órbita os satélites utilizados atualmente pela agência científica norte americana NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), dedicada ao estudo da atmosfera, oceanos e correntes marítimas.

O programa Nimbus, lançado logo em seguida ao pioneiro TIROS, foi também muito importante para o desenvolvimento de estudos climáticos do planeta Terra, além de trazer importantes comprovações para a ciência, como a relação do uso do CFC (Clorofluorcarbono) com o aumento do buraco na camada de ozônio

sobre a Antártica. O programa Nimbus era formado por um total de 7 satélites meteorológicos, lançados em um período de 14 anos entre os anos de 1964 a 1978.

Atualmente os pilotos contam com um conjunto de satélites meteorológicos que fornecem imagens precisas de nuvens, frentes, células de tempestades, furacões, cinzas vulcânicas, entre outras importantes informações, para o correto planejamento de suas rotas com um maior nível de segurança possível. Os satélites do programa GOES, desenvolvido ainda nos anos 70, são os mais utilizados atualmente para a produção de imagens de satélites para a aviação. O satélite GOES 13, por exemplo, cobre toda a América do Sul fornecendo imagens em alta definição das diversas atividades atmosféricas. Os satélites GOES são administrados em conjunto atualmente pela NASA e o NOAA. (ANUSUYA DATTA, 2016)

Figura 22 - Imagem produzida pelo satélite meteorológico GOES 16



Fonte: INMET (2019)

### 2.4.3 O satélite e a comunicação aeronáutica

Em julho de 1962 o satélite Telstar 1 impressionou o mundo todo ao realizar as primeiras transmissões de TV via satélite, como também ligações telefônicas, fax e transmissões de dados entre continentes. Com o passar das décadas a tecnologia e o número dos satélites de comunicações em órbita aumentou consideravelmente, permitindo uma ampla cobertura de comunicações e transmissões de dados em todo o globo.

Um dos preceitos do novo conceito CNS-ATM da ICAO, é a preferência do uso de tecnologias de transmissão de dados (datalink), em substituição aos métodos convencionais de comunicação por voz principalmente em áreas remotas e oceânicas, onde tradicionalmente o contato com o controle é feito por bandas HF (High Frequency), que possuem um grande alcance de envio porém péssima qualidade de transmissão, devido as grandes interferências eletromagnéticas nas altas camadas da atmosfera terrestre. A falta de uma boa qualidade nas transmissões HF oceânicas dificultam muito a comunicação entre pilotos e controladores, requerendo um maior espaçamento entre os tráfegos, além de aumentar a carga de trabalho dos controladores e pilotos, com riscos de um não correto entendimento de autorizações e mensagens. (DECEA, 2018)

A tecnologia datalink ou enlace de dados, utilizada nas aplicações CPDLC, ACARS e na funcionalidade ADS, aliada ao uso de satélites de comunicação, permite com que mensagens de texto sejam enviadas entre pilotos e controladores, em substituição a comunicação HF, além de um contínuo acompanhamento do posicionamento da aeronave em áreas oceânicas ausentes de cobertura radar e antenas de comunicação. Uma série de vantagens são obtidas com o uso dessas tecnologias, como uma maior precisão no envio de autorizações ATC em áreas oceânicas, reduzindo as chances de possíveis equívocos, reduções nos tempos de envio e resposta das mensagens, registro do histórico de comunicação, possibilidade da impressão das mensagens, entre outras. (DECEA, 2018)

A história do uso da tecnologia datalink na aviação remonta ao final dos anos 70, mais precisamente em 1978, com a introdução do sistema ACARS na aviação, pela ARINC (Aeronautical Radio, Incorporated), empresa norte americana provedora de soluções de comunicações para o transporte aéreo, inicialmente utilizando-se de redes VHF e HF para a transmissão de dados. Posteriormente, a

introdução de satélites de comunicação (SATCOM), na rede de transmissão de dados ACARS, possibilitou uma grande ampliação na cobertura de envio dos dados do sistema.

A grande finalidade da aplicação ACARS é possibilitar um acompanhamento dos voos por parte das companhias aéreas, a partir do envio automático de mensagens com informações relevantes dos voos, além da possibilidade do envio de mensagens livres “free text” por parte dos pilotos às empresas. O ACARS também possibilita o envio de mensagens aos órgãos ATC, como autorizações de rota, além da possibilidade da solicitação de mensagens meteorológicas como ATIS (Automatic Terminal Information Service), METAR, TAF, etc.

Figura 23 - Mensagem CPDLC



Fonte: Code 7700 (2019)

A aplicação CPDLC representou uma evolução do sistema ACARS já existente, possibilitando uma comunicação mais constante e completa entre ATC e piloto, trazendo as várias vantagens já citadas anteriormente. O CPDLC foi introduzido na aviação no início dos anos 90, a partir de um esforço de dois grandes fabricantes do setor aeroespacial, a Boeing e a Airbus, que, em conjunto com a ICAO, desenvolveram pacotes de aviônicos para suas aeronaves, que incluíam basicamente as aplicações e tecnologias do novo conceito CNS-ATM da ICAO.

O desenvolvimento dos pacotes de aviônicos FANS-1 (Boeing) e FANS-A (Airbus), hoje comumente referenciados como FANS-1/A, traziam basicamente as aplicações CPDLC, ADS-C e GPS, representando o primeiro grande passo da indústria aeronáutica com relação a introdução das novas tecnologias CNS-ATM. No futuro o CPDLC será ampliado também para as rotas continentais

### 3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1 INFLUÊNCIA DA PESQUISA ESPACIAL NAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS RESPONSÁVEIS PELO SURGIMENTO DO ATUAL CNS/ATM DA ICAO.

Ao analisar o novo conceito CNS-ATM da ICAO, suas principais funcionalidades e tecnologias, conclui-se com facilidade, que a conquista espacial e os consequentes avanços advindos desse processo, estão diretamente ligados em cada pilar desse novo conceito, conforme conclui a ICAO, DOC 9750, (2002, p. 1.1.1) “[...] a tecnologia de satélite oferecia uma solução viável para superar as deficiências dos sistemas convencionais”.

Ao analisar o primeiro pilar do conceito, a comunicação aeronáutica, conclui-se que a utilização de satélites de comunicação aliada as tecnologias de enlace de dados (datalink), aumentou consideravelmente a cobertura de comunicação desses sistemas, possibilitando uma comunicação via texto mais completa entre pilotos e controladores (CPDLC), principalmente em áreas remotas e oceânicas, incrementando a segurança das comunicações nessas áreas, reduzindo as chances de equívocos durante as transmissões ATC, comuns em comunicações por voz, principalmente em bandas HF, que pecam com a baixa qualidade e chiados nas transmissões, além de proporcionar benefícios econômicos às companhias aéreas, com menores espaçamentos entre as aeronaves, além de um controle ATC mais eficiente, com possibilidades de autorizações mais diretas. A rede de satélites SATCOM, ampliou também a cobertura de comunicações ACARS com as empresas aéreas, que podem agora contar com um acompanhamento mais completo dos voos, com informações importantes sendo transmitidas a todo momento, também nos voos mais remotos.

Ao analisar o segundo pilar do conceito CNS-ATM, a navegação aérea, conclui-se também com facilidade, que a introdução da navegação por satélite na aviação civil, no início dos anos 90, possibilitou o desenvolvimento do método de navegação RNAV, também para fases mais críticas de voo como aproximações e pousos. Também permitiu o desenvolvimento de um conceito de espaço aéreo de navegação RNAV, o PBN, onde rotas RNAV são estabelecidas com requisitos de desempenho específicos, criando uma estrutura de espaço aéreo completa para o método RNAV de navegação, diminuindo cada vez mais a dependência de uma

estrutura de voo convencional, com auxílios-rádio à navegação em solo, caros de instalação e dependentes de manutenção constantes.

O emprego do GNSS juntamente de sistemas RNAV mais sofisticados, dotados de sistemas de alertas de integridade, como exigido na especificação RNP, permitiu com que aproximações GNSS cada vez mais precisas, incluindo aproximações com trajetórias curvas sejam desenvolvidas, flexibilizando ainda mais os procedimentos de aproximação IFR, permitindo o desenvolvimento de procedimentos GPS também em regiões montanhosas e carentes de auxílios à navegação para pouso.

Por último, a vigilância do espaço aéreo com as funcionalidades ADS-B e C, que utilizam-se das tecnologias de satélites, foi também muito evoluída, permitindo uma redução cada vez mais contínua da dependência de equipamentos de vigilância em solo como os radares, que possuem uma atualização lenta de posição, além de certas deficiências como os chamados “buracos negros” em sua área de cobertura. A tecnologia ADS, permite com que a própria aeronave, com base nos precisos receptores GPS embarcados, informe sua posição ao controlador de solo, com extrema precisão e rapidez, além de permitir o envio de um conjunto maior de informações importantes do voo, o que não é possível no controle radar convencional.

A funcionalidade ADS-C, aliada a satélites de comunicação, melhorou em muito, a segurança dos voos em áreas oceânicas, permitindo também a visualização contínua dos tráfegos nessas áreas, o que não era possível na vigilância convencional, pela óbvia impossibilidade da instalação de radares de solo em oceanos.

### 3.2 EVOLUÇÃO DO MÉTODO RNAV DE NAVEGAÇÃO, DESDE A SUA ORIGEM E OS PRIMEIROS SENSORES UTILIZADOS, ATÉ O ATUAL CONCEITO PBN.

Analisando os textos pesquisados sobre a evolução dos sistemas RNAV, conclui-se que a introdução do GPS na aviação civil, trouxe imensos benefícios a esse método de navegação, já que sua solução de posição extremamente precisa, aliada a enorme disponibilidade e cobertura de sinais, possibilitou um aumento considerável da confiabilidade dos sistemas RNAV das aeronaves, tornando possível a realização de voos completos sem o balizamento de equipamentos físicos de navegação em solo.

Os benefícios que a navegação por satélite proporcionou ao método RNAV de navegação são imensos, desde a redução da dependência de sistemas físicos de navegação em solo como os sistemas de rádio navegação VOR e NDB, até grandes economias às companhias aéreas com reduções dos tempos de voo, com rotas mais eficientes e diretas.

A introdução da navegação por satélite, baseada no sistema de navegação global por satélite (GNSS), trouxe o RNAV para o alcance de todos os operadores, e tornou possível considerar a transição total das operações em rota e terminais para operações baseadas em sistemas RNAV. (ICAO, DOC 9613, 2008, p. 1-B-2-4.)

A pesquisa espacial trouxe importantes benefícios à navegação aérea, além da introdução da navegação por satélite. O início do desenvolvimento do método RNAV no final dos anos 60, teve também, a grande contribuição do sistema de navegação inercial (INS), muito desenvolvido durante o programa espacial americano. Os grandes esforços e estudos realizados por Charles Draper e seus cientistas do MIT Instrumentation Laboratory, permitiu com que esse importante sistema de navegação se tornasse confiável o bastante, para que seu uso fosse ampliado além de espaçonaves e aeronaves militares, mas também, para aeronaves comerciais de transporte civil de passageiros. Em 1968, o Boeing 747-100 revolucionou a aviação comercial, com a introdução do primeiro sistema inercial de fábrica em uma aeronave civil, o Delco Carousel IV, que permitia a inserção de até 9 waypoints, possibilitando uma navegação mais autônoma e automatizada, algo muito parecido com que os modernos computadores de navegação atuais, como o FMS, realizam.

Hoje em dia, modernas aeronaves continuam fazendo uso de sistemas inerciais em conjunto de sistemas GPS, os chamados sistemas multi-sensores, permitindo um aumento da confiabilidade de suas operações RNAV. Os modernos inerciais atuais, possuem a tecnologia de giroscópios a “laser”, substituindo os antigos sistemas mecânicos, mais pesados e menos precisos.

### 3.3 O FUNCIONAMENTO DE UM SATÉLITE ARTIFICIAL E SUAS DIVERSAS UTILIZAÇÕES NA AVIAÇÃO ATUALMENTE

Durante a realização da pesquisa, foi possível identificar o princípio de funcionamento de um satélite artificial como também suas diversas aplicações na aviação atual, bem como no conceito CNS-ATM da ICAO.

Como devidamente exposto na pesquisa, um receptor GNSS necessita do sinal de um mínimo de quatro satélites, para que sua localização em três dimensões (3D), ou seja, latitude, longitude e altitude, seja determinada. Para isso, o receptor necessita medir a pseudo-distância de cada satélite, juntamente de sua exata localização em órbita, conhecida com efemérides. Cada satélite da constelação GNSS, envia um sinal contendo importantes informações aos diversos receptores em terra, como o exato tempo e data do envio do sinal, juntamente de seu status, efemérides e o almanaque, este último contendo informações a respeito de todos os satélites ativos na constelação. A partir dessas informações, os receptores triangulam sua posição em terra.

Também foi exposto que os receptores GPS para uso em procedimentos IFR necessitam de sistemas ABAS embarcados, como o RAIM, que monitora a integridade dos sinais da constelação GNSS, através de medições redundantes de sinais. Os dados do almanaque também permitem que uma predição RAIM seja realizada, algo muito importante para a realização de procedimentos IFR que possuem o GNSS como sensor primário de navegação.

Predictive RAIM é calculado usando a informação almanaque GPS. O almanaque dentro do GPS é atualizado automaticamente sempre que o GPS está ligado e recebendo os sinais dos satélites. (Embraer, AOM Vol 2, 2008)

As pesquisas também mostraram as diversas utilizações do GPS na aviação, bem como seus imensos avanços à atividade aeronáutica. Desde do aprimoramento do método RNAV de navegação, até sua utilização em funcionalidades como o ADS-B e C, que melhoram consideravelmente os serviços de vigilância ATC.

O GPS também trouxe avanços e evoluções à sistemas de alertas em relação ao solo, como o EGPWS, que a partir da exata localização da aeronave, aliada a precisos e completos bancos de dados, que contém toda topografia da região

sobrevoada, podem alertar os pilotos com relação a todo terreno sobrevoado, incluindo o que está a frente da aeronave, como montanhas, morros, etc.

O advento do EGPWS e a consequente utilização do GPS juntamente de seu preciso banco de dados, permitiu o desenvolvimento de sistemas de aviônicos mais sofisticados, como os PFDs dotados de sistemas SVS (Synthetic Vision System), que permitem uma visualização completa do terreno voado em três dimensões.

### 3.4 O QUE AINDA ESTÁ POR VIR EM TERMOS DE BENEFÍCIOS PARA O SETOR AERONÁUTICO, COM O USO DE SATÉLITES NA AVIAÇÃO.

A pesquisa também destacou a utilização cada vez mais abrangente de sistemas de aumento de sinal GPS, como o SBAS, que aumentam consideravelmente a precisão do sistema, permitindo aproximações RNAV com os mesmos mínimos de sistemas convencionais de aproximação de precisão como ILS. Em um futuro próximo, sistemas ILS também serão substituídos pelo uso de sistemas de aproximação GPS, com total segurança e eficiência. Sistemas SBAS ainda precisam ser muito ampliados para que os benefícios de sua utilização, sejam compartilhados por todo o mundo. Atualmente os sistemas mais utilizados e operacionais são o WAAS (SBAS americano), e o EGNOS (Europa).

No futuro, a contínua utilização de sistemas ADS pelas aeronaves para as atividades de vigilância e controle de espaço aéreo, substituirão de vez os equipamentos radares utilizados na cobertura ATC, possibilitando enormes economias, além de avanços à segurança do controle de tráfego, como por exemplo, o fim dos “buracos negros” nas áreas de cobertura radar, entre outros.

De acordo com dados do DECEA, em um futuro próximo, sistemas CPDLC também serão utilizados em operações continentais diminuindo cada vez mais a dependência de sistemas convencionais de comunicação por voz, passíveis de congestionamentos nos canais de comunicação, além de serem vulneráveis a equívocos de entendimento por parte dos usuários, devido a ruídos, problemas linguísticos, etc.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve por objetivo geral identificar o nível de influência da pesquisa espacial nas diversas tecnologias utilizadas na aviação do século 21, bem como os diversos avanços e benefícios trazidos por essas tecnologias. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em fontes nacionais e internacionais, como revistas, artigos, sites, bem como documentos e normas, entre outros trabalhos científicos, buscando relacionar as conquistas espaciais com a realidade tecnológica encontrada na aviação atual.

Foi possível compreender que as principais funcionalidades utilizadas no atual conceito CNS-ATM da ICAO, dependem em sua maioria, de tecnologias advindas do espaço como satélites de navegação, meteorológicos, entre outros. Os satélites estão presentes nos principais pilares que formam o espaço aéreo e o controle de tráfego aéreo do futuro.

Na comunicação aeronáutica, os satélites de comunicação fornecem uma ampla cobertura nas transmissões que utilizam a tecnologia datalink, como o ACARS e o CPDLC, proporcionando enormes avanços e uma maior segurança em voos transoceânicos, que pecam com a falta de cobertura radar e antenas de comunicação VHF. Em um futuro próximo, o método de comunicação via datalink entre controladores e pilotos, também se transportará para os voos continentais, trazendo ainda mais segurança e avanços à aviação e ao controle de tráfego aéreo, mitigando cada vez mais as chances de equívocos e mal-entendidos nas comunicações, devido a ruídos, problemas linguísticos, entre outros.

Constatou-se que a navegação aérea foi muito desenvolvida com a introdução da tecnologia de navegação por satélite, o GNSS, reduzindo a dependência de equipamentos físicos em solo para balizamento de rotas e procedimentos. Hoje em dia, a grande maioria das aeronaves e operadores, contam com receptores GPS instalados, altamente precisos, economicamente viáveis, aptos a realizar a solução de posição da aeronave em qualquer parte do globo terrestre, contando com a ampla cobertura de sinais providos pela constelação de satélites. Com os satélites, o método RNAV de navegação foi amplamente desenvolvido, bem como o conceito PBN de navegação, que hoje estabelece rotas e procedimentos mais diretos e eficientes, disponíveis para todas as fases de um voo, da decolagem ao pouso da aeronave, com total segurança, sem as amarras dos rádio-auxílios em solo

que dependem de instalação e manutenção constantes, além de impossibilitar o desenvolvimento de rotas mais diretas e eficientes devido suas limitações de alcance de sinal.

Foi possível concluir que a vigilância e o controle do espaço aéreo, que contam hoje com as funcionalidades ADS-B e C das aeronaves, provenientes do uso de tecnologias de satélites, foi também muito desenvolvida, permitindo um controle e vigilância de tráfego com total cobertura, também em áreas oceânicas e remotas, carentes de cobertura radar convencional e antenas de comunicação.

O GPS também proporcionou a evolução de aviônicos e sistemas de alertas ao solo, aumentando ainda mais a segurança dos voos, reduzindo as chances de acidentes do tipo CFIT.

No futuro, os satélites estarão cada vez mais presentes nas tecnologias e atividades aeronáuticas, possibilitando aposentar de vez os limitados equipamentos físicos convencionais de navegação, comunicação e vigilância aérea, tornando a navegação aérea e a atividade aeronáutica como um todo, cada vez mais eficiente, segura e econômica.

Essa pesquisa teve por finalidade destacar os principais avanços tecnológicos que a pesquisa espacial trouxe para o dia a dia operacional aeronáutico, limitando-se, portanto, as tecnologias mais visíveis e de uso mais contínuo, nas áreas de navegação aérea, vigilância, comunicação e aviônicos. Porém, os benefícios advindos da conquista espacial para o setor aeronáutico são imensos, estendendo-se muito além do que foi explanado nessa monografia. Outras pesquisas poderão explorar ainda mais esses benefícios, clareando cada vez mais o entendimento sobre a importância do setor espacial nas diversas facilidades e funcionalidades disponíveis atualmente na aviação.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Aprovação Operacional de Navegação Baseada em Desempenho (PBN)** (IS Nº 91-001-REV E). 24 mai. 2017. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-91-001e/@@display-file/arquivo\\_norma/IS91-001E.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-91-001e/@@display-file/arquivo_norma/IS91-001E.pdf)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Meteorologia**. Brasil, 22 abr. 2018. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/programa-espacial-brasileiro/aplicacoes-espaciais/meteorologia/>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

ANDRADE, Sonia Maria Oliveira de. **A Pesquisa Científica em Saúde: concepção e execução**. 4. ed. 2011. Disponível em: <<http://www.esp.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/66/2015/05/dologia-4-edicao-2011.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

ALFRED, Randy. **April 1, 1960: First Weather Satellite Launched**. Wired, 2008. Disponível em: <<https://www.wired.com/2008/04/dayintech-0401-2/>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

AZRIEL, Merryl. **Fire and Spaceflight**. 27 jan. 2014. Disponível em: <<https://www.spacesafetymagazine.com/space-disasters/apollo-1-fire/fire-spaceflight/>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

BETTINGER, Pete. **Introduction to GPS**. Warnell School of Forestry and Natural Resources, University of Georgia. Disponível em: <[http://introgps.uga.edu/course/Satellites\\_Almanac\\_and\\_Ephemeris.html](http://introgps.uga.edu/course/Satellites_Almanac_and_Ephemeris.html)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

BARROS, João Filipe De Alemida. **Aproximação com curva: Novos procedimentos RNP APCH no aeroporto Santos Dumont permitem que as aeronaves voem trajetórias sinuosas**. 14 jun. 2012. Aero Magazine. Disponível em: <[https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/aproximacao-com-curva\\_543.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/aproximacao-com-curva_543.html)>. Acesso em: 25 mai. 2019.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; DA SILVA, Roberto. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. Disponível em: <<http://unisul.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788576050476/pages/1>>. Acesso em: 23 mai. 2019.

CLEYNEN, Olivier. **747-100 cockpit flight controls**. Bourget Museum. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:747-100\\_cockpit\\_flight\\_controls.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:747-100_cockpit_flight_controls.jpg)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

COMANDO DA AERONÁUTICA. **Orientação para utilização de equipamentos GPS (Global Positioning System) em operações IFR em rota e em terminais e em procedimentos de não-precisão por instrumentos no espaço aéreo brasileiro (IAC 3512)**. Brasil, 26 abr. 2001. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/iac/iac-3512/@@display-file/arquivo\\_norma/IAC3512.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/iac/iac-3512/@@display-file/arquivo_norma/IAC3512.pdf)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

DATTA, Anusuya. **A Brief History of Weather Satellites**. Geospatial World, 19 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.geospatialworld.net/blogs/a-brief-history-of-weather-satellites/>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

DEPARTAMENTO DO CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Implementação Operacional do Conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN) no Espaço Aéreo Brasileiro** (AIC N 41/17). Brasil, 01 mar. 2018. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4695&refresh=A8E599A8-54BD-4050-B8BDA9D92DBDCB10>> . Acesso em: 23 mai. 2019.

DEPARTAMENTO DO CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Sistema Global de Navegação por Satélites - GNSS** (AIC N 10/09). 09 abr. 2009. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=3400&refresh=47496D74-6B9C-4075-A215FFC211E312C1>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

DEPARTAMENTO DO CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Comunicação por enlace de dados também será aplicada no espaço aéreo continental brasileiro. Brasil, 30 mai. 2018.** Disponível em: <[https://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg\\_noticia&materia=comunicacao-por-enlace-de-dados-tambem-sera-aplicada-no-espaco-aereo-continental-brasileiro](https://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=comunicacao-por-enlace-de-dados-tambem-sera-aplicada-no-espaco-aereo-continental-brasileiro)>. Acesso em: 25 mai. 2019.

DIEZ, David. **ICAO FANS committee.** 31 jan. 2012. Disponível em: <<https://fanscnatm.com/archives/19>>. Acesso em: 24 mai 2019.

DENNIS, Michael Aaron. **Charles Stark Draper: American Engineer.** Encyclopedia Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Charles-Stark-Draper#ref114368>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

EMBRAER. **Airplane Operations Manual - Volume 2** (AOM-1502-208). 05 jun. 2008. Rev 17. 05 mar. 2019.

EYLES, Don. **Tales From the Lunar Module Guidance Computer.** Disponível em: <<https://www.doneyles.com/LM/Tales.html>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **ACE PLAN: Aviation Capacity Enhancement Plan.** USA, 2002. Disponível em: <[http://128.173.204.63/courses/ace\\_plan2002/02\\_ACE.pdf](http://128.173.204.63/courses/ace_plan2002/02_ACE.pdf)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Instrument Flying Handbook.** U.S Department of Transportation, 2001. Disponível em: <<http://www.sheppardair.com/download/faa-h-8083-15.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

FAN, Carrie. **Honeywell by Letters - EGPWS.** USA, 25 aug. 2016. Honeywell Aerospace. Disponível em: <<https://aerospace.honeywell.com/en/blogs/2016/august/honeywell-by-the-letters-egpws>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

HATTIS, Phillip D. **How Doc Draper Became the Father of Inertial Guidance.** Laboratory Technical Staff, Complexity Solutions Division, Cambridge, MA, 02139. Disponível em: <<https://wehackthemoon.com/sites/default/files/2019-03/AAS%202018%20Doc%20Draper%20History%20Paper%20by%20Hattis.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

HELLER, Martin. **GPS Approach Minima - "How Low Can You Go".** USA, 2006. Federal Aviation Administration News. Disponível em: <<https://www.faasafety.gov/files/qslac/library/documents/2006/Oct/9082/GPS%20Approach%20Minima%20JulAug06.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2019

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2002. Disponível Em: <<https://docplayer.com.br/4893888-Antonio-carlos-gil-como-elaborar-projetos-de-ui-sa.html>>. Acesso em: 23 mai. 2019

GNIPPER, Patrícia. **Há 57 anos, Yuri Gagarin se tornava o primeiro homem a ser lançado no espaço**. 12 abr. 2018. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/espaco/ha-57-anos-yuri-gagarin-se-tornava-o-primeiro-homem-a-ser-lancado-no-espaco-111752/>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

HISTORY. **The Space Race**. 22 feb. 2010. Disponível em: <<https://www.history.com/topics/cold-war/space-race>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

HANSEN, James R. **O Primeiro Homem: A vida de Neil Armstrong**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Intrínseca Ltda, 2018.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems** (DOC 9750). Montreal, Canadá: ICAO, 2002. Disponível em: <[https://www.icao.int/publications/Documents/9750\\_2ed\\_en.pdf](https://www.icao.int/publications/Documents/9750_2ed_en.pdf)>. Acesso em 25 mai 2019.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **What is Area Navigation? Airspace Concept Workshop**. Disponível em: <[https://www.icao.int/MID/Documents/2014/PBN%20Workshop-Tunis/01%20What%20is%20Area%20Navigation\\_VJUL13.pdf](https://www.icao.int/MID/Documents/2014/PBN%20Workshop-Tunis/01%20What%20is%20Area%20Navigation_VJUL13.pdf)>. Acesso em 24 mai 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Imagens de Satélites**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/satelites/>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

JET PROPULSION LABORATORY (JPL-NASA). **An Early History of Satellites**. USA, California Institute of Technology. Disponível em: <<https://www.jpl.nasa.gov/infographics/infographic.view.php?id=11182>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

KING, A. D. **Inertial Navigation: Forty Years of Evolution**. GEC Review, Vol. 3. NO. 3. 1998. Disponível em: <[https://www.imar-navigation.de/downloads/papers/inertial\\_navigation\\_introduction.pdf](https://www.imar-navigation.de/downloads/papers/inertial_navigation_introduction.pdf)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

LEARNINGS, Flight. **GPS and RNAV (GPS) Approaches**. Disponível em: <<http://www.flightlearnings.com/2017/08/01/gps-and-rnav-gps-approaches/>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

LEWIS, Elspeth. **How Sputnik Changed The World**. National Space Centre, 03 out. 2017. Disponível em: <<https://spacecentre.co.uk/blog-post/sputnik-changed-world/>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 3.ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 1995.

MUELLER, F. K. **A History of Inertial Guidance**. USA, Army Ballistic Missile Agency. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/419538.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Explorer and Early Satellites**. Disponível em: <[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/explorer/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/explorer/index.html)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Apollo 11 Crew**. Disponível em: <[https://www.nasa.gov/topics/people/galleries/armstrong\\_may1969.html#XOhYdlhKjIU](https://www.nasa.gov/topics/people/galleries/armstrong_may1969.html#XOhYdlhKjIU)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

OLIVEIRA, André Jorge De. **Sputnik entrava em órbita há 57 anos – relembre a missão**. Revista Galileu, 2014. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2014/10/sputnik-entrava-em-orbita-ha-57-anos-relembre-missao.html>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

POWERS, Stephen T; PARKINSON, Brad. **The Origins of GPS**. GPS World, 2010. Disponível em: <[https://www.u-blox.com/sites/default/files/the\\_origins\\_of\\_gps.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/the_origins_of_gps.pdf)>. Acesso em: 24 mai. 2019.

RICHARDSON, Roberto Jarry et al. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2015.

PODSADA, Janice. **50 years ago, they rolled it out: the first Boeing 747**. 30 set. 2018. Disponível em: <<https://www.heraldnet.com/business/50-years-ago-they-rolled-it-out-the-first-boeing-747/>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

PAWLOWICZ, Leszek. **Improving Position Measurement Accuracy In Consumer-Grade GPS Receivers – Part II**. Disponível em: <<https://freegeographytools.com/2008/improving-position-measurement-accuracy-in-consumer-grade-gps-receivers-part-ii>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

SKYKEN, J.M. **Boeing 747-100: The Plane that Changed the World**. PDH Center. Disponível em: <<https://pdhonline.com/courses/m554/m554handout.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

SKY, New Southern. **Surveillance**. Disponível em: <<https://www.nss.govt.nz/workstreams/surveillance/>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

TIMES, Mankato. **A Moment in Time: Apollo-Soyuz Paved Way for ISS, Space Cooperation**. 2 aug. 2017. Disponível em: <<http://mankatotimes.com/2017/08/02/a-moment-in-time-apollo-soyuz-paved-way-for-iss-space-cooperation/>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

TAMPERE, University of Technology. **Basic Principles of Inertial Navigation**. Seminar on Inertial Navigation Systems. Disponível em: <<http://atlas.physics.arizona.edu/~kjohns/downloads/inertial/InertialNavigationSystems.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

TIME, Magazine. **Yuri Gagarin Cover**. Disponível em: <<http://content.time.com/time/covers/0,16641,19610421,00.html>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

WILDE, John. **GNSS integrity**. DW International. Disponível em: <<https://slideplayer.com/slide/4054412/>>. Acesso em: 24 mai. 2019.

ZWERDLING, Robert. **Buracos negros nunca mais**. 07 nov. 2011. Aero Magazine. Disponível em: <[https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/buracos-negros-nunca-mais\\_104.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/buracos-negros-nunca-mais_104.html)>. Acesso em: 25 mai. 2019.

7700, Code. **CPDLC - Communications**. Disponível em: <[http://code7700.com/communications\\_cpdlc.htm](http://code7700.com/communications_cpdlc.htm)>. Acesso em: 25 mai. 2019.