

Universidade Sul de Santa Catarina

Tráfego Aéreo e CNS/ATM

UnisulVirtual
Palhoça, 2019

Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul

Reitor

Mauri Luiz Heerdt

Vice-Reitor

Lester Marcantonio Camargo

Pró-Reitor de Ensino, Pesquisa, Pós-graduação, Extensão e Inovação

Hércules Nunes de Araújo

Pró-Reitor de Administração e Operações

Heitor Wensing Júnior

Assessor de Marketing, Comunicação e Relacionamento

Fabiano Ceretta

Diretor do Campus Universitário de Tubarão

Rafael Ávila Faraco

Diretor do Campus Universitário da Grande Florianópolis

Zacaria Alexandre Nassar

Diretora do Campus Universitário UnisulVirtual

Ana Paula Reusing Pacheco

Campus Universitário UnisulVirtual

Diretora

Ana Paula Reusing Pacheco

Gerente de Administração e Serviços Acadêmicos

Renato André Luz

Gerente de Ensino, Pesquisa, Pós-graduação, Extensão e Inovação

Moacir Heerdt

Gerente de Relacionamento e Mercado

Guilherme Araujo Silva

Gerente da Rede de Polos

José Gabriel da Silva

Livro Didático

Professor conteudista

Marcos Fernando Severo de Oliveira

Designer Instrucional

Lis Airê Fogolari

Projeto Gráfico e Capa

Equipe UnisulVirtual

Diagramação

Fernanda Vieira Fernandes

Revisão Ortográfica

Diane Dal Mago

O48

Oliveira, Marcos Fernando Severo de
Tráfego aéreo e CNS/ATM : livro didático / Marcos Fernando Severo de
Oliveira. – Palhoça : UnisulVirtual, 2019.
152 p. : il. ; 28 cm.

Inclui bibliografia.

1. Navegação aérea. 2. Aeronáutica - Sistemas de comunicação. 3.
Regulamentos de tráfego aéreo. I. Título.

CDD (21. ed.) 629.1366

Marcos Fernando Severo de Oliveira

Tráfego Aéreo e CNS/ATM

Livro didático

UnisuVirtual
Palhoça, 2019

Sumário

Introdução | 7

Capítulo 1

Comunicação | 9

Capítulo 2

Navegação | 29

Capítulo 3

Vigilância | 61

Capítulo 4

ATM | 81

Capítulo 5

Tráfego Aéreo Internacional | 103

Lista de siglas e abreviaturas | 125

Considerações Finais | 129

Referências | 131

Respostas das Atividades de Autoavaliação | 149

Sobre o Professor Conteudista | 151

Introdução

Olá! Seja bem-vindo aos estudos sobre Tráfego Aéreo e CNS/ATM!

A esta altura do Curso de Ciências Aeronáuticas, você certamente já percebeu que estudar esse corpo de conhecimentos sistematizados é passar por seguidos núcleos de tempestades de siglas e abreviaturas. CNS/ATM é um dos acrônimos mais interessantes do curso: recursos de Comunicação, Navegação e Vigilância (*Surveillance*) aplicados na busca do melhor Gerenciamento de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Management*).

O assunto que você começa a estudar é amálgama de quatro campos do conhecimento aeronáutico, uma mistura heterogênea que orbita em torno da gestão do espaço aéreo com o propósito de proporcionar fluxo de tráfego aéreo seguro, ordenado, rápido, economicamente racional e ambientalmente responsável.

Essa busca é marcada por dinamismo alimentado por novas ideias na gestão do espaço aéreo e por novas tecnologias. Essa é a razão da preocupação com o registro das fontes na elaboração do livro didático, as quais, ao fim de cada capítulo, podem estar ao alcance de uma leve pressão sobre o botão esquerdo do *mouse*. É esperado que, por intermédio da consulta às fontes citadas, entre elas livros e manuais facilmente obteníveis, assim como páginas na internet, você possa obter inspiração para continuar o imprescindível processo de educação permanente em nossa profissão.

Bons estudos!

Professor Marcos Fernando Severo de Oliveira

Capítulo 1

Comunicação

Seção 1

Retrospectiva

1.1 Primórdios da comunicação aeronáutica

Até a Segunda Guerra, as comunicações entre aeronaves e estações de solo ocorriam por meio de canais de voz e, muito frequentemente, por radiotelegrafia (MASLIN, 1987). Era necessário um tripulante especializado em Código Morse e capaz de discernir no ruído da transmissão o conteúdo da mensagem (ouvido treinado). O mesmo ocorria entre diferentes estações terrestres de serviços aeronáuticos. Dada a pequena quantidade de estações retransmissoras, a emissão em alta frequência (HF) era a ideal para comunicação em longas distâncias.

Classifica-se em HF as transmissões cujas frequências oscilam entre 3 e 30 MHz e cujos comprimentos de onda vão de 100 a 10 metros (STIMAC, 2018). Também conhecida como transmissão em ondas curtas (pois quanto maior a frequência, menor será o comprimento da onda), a transmissão em HF tem a característica de reflexão na ionosfera e na superfície terrestre. Assim, o sinal de rádio em HF pode se propagar diretamente de uma antena a outra e também sofrer reflexão no solo e/ou na ionosfera, até atingir uma antena situada além da linha do horizonte (CAMPOS, 2018). As desvantagens da transmissão de voz em HF estão na reduzida confiabilidade da integridade da mensagem, necessidade de intermediação de operadores cuja habilidade de separar o ruído da mensagem está mais próxima da arte do que da técnica (STACEY, 2008. p. 165).

A comunicação em HF exige, mesmo não se tratando de radiotelegrafia manual (Código Morse), operadores que tenham anos de experiência e conhecimento profundo sobre o equipamento e o meio de transmissão (MASLIN, 1987). Isso

acrescentava elos adicionais na cadeia de transmissão de mensagens: o piloto necessitava da intermediação de um radiotelegrafista (Morse) ou operador de rádio HF (canal de voz). O mesmo acontecia com o profissional destinatário da mensagem. Esse também precisava da ajuda de um especialista em telecomunicações. Assim como na tradicional brincadeira infantil do telefone sem fio, a probabilidade de erros e incompletudes causados por operadores aumenta com o acréscimo de pessoas intermediando o processo de transmissão de mensagens.

A comunicação em HF dispensa linha de visada, alcança longas distâncias, mas, em contrapartida, é repleta de ruídos e está sujeita a interferências eletromagnéticas de toda ordem.

1.2 A comunicação aeronáutica do pós-guerra

Maslin informa que foi a Segunda Guerra que ensejou o desenvolvimento da comunicação aeronáutica em VHF e UHF (Very High Frequency / Ultra High Frequency). A partir de então, os tripulantes passaram a contar com equipamentos que operam nas faixas de frequência entre 30 MHz e 300 MHz (VHF, comprimento de onda entre 10 e 1 metro) e entre 300 MHz até 3.000 MHz (comprimento de onda entre 1 m e 10 cm) (ELSYS, 2015).

A comunicação por voz em VHF/UHF é clara, mas requer que emissor e receptor estejam em linha de visada (*line of sight*), isto é, que não haja entre as antenas obstáculos como montanhas ou que as estações estejam abaixo da linha do horizonte (WHEEN, 2011).

Destarte, para, por exemplo, informar ao ATC a hora estimada de sobrevoos de determinada posição, o tripulante tinha de emitir em VHF uma mensagem com esse conteúdo para uma estação de solo próxima, pois em VHF é necessária a linha de visada, e essa estação retransmitia, inicialmente, por telégrafo e posteriormente por HF, telefone, teleimpressor¹ ou tronco de micro-ondas, a mensagem para o órgão ATC interessado. Para comunicação além da linha do horizonte, como ocorria com voos transoceânicos, o trabalho em HF se fazia necessário.

Justamente pela clareza da informação sonora, o meio predominante de comunicação aeronáutica passou a ser a transmissão/recepção em VHF, sendo o problema da necessidade de linha de visada parcialmente resolvido com estações retransmissoras de sinais espalhadas ao longo das rotas (IT OUTSOURCING, 2018). Países de dimensões continentais necessitam de um grande número de estações retransmissoras, com a toda a redundância característica da aviação, e mesmo assim, a cobertura completa do espaço aéreo não é alcançada quando há riqueza topográfica. Impossível cobrir integralmente em VHF cânions e cadeias de montanhas.

¹ Aparelho teleimpressor empregado em comunicação aeronáutica entre estações terrestres nos anos 80. Era necessário ter uma lista telefônica especial à disposição.

Não obstante a clareza da transmissão de voz em VHF, o aumento progressivo do tráfego aéreo já anunciava a saturação inexorável do meio de comunicação nos anos 80 (BRASIL; COMAER, 2011) do século passado. A comunicação oral em VHF já apontava seus limites quando a empresa estadunidense ARINC (THE CARLYLE GROUP, 2018), *Aeronautical Radio Inc.*, apresentou, em 1978, um sistema de comunicação ar-terra inovador: o ACARS (SKYBRARY, 2018), *Aircraft Communications, Addressing and Reporting System*. Ainda em uso atualmente, o ACARS introduziu conceitos que viriam a compor os sistemas integrados de navegação, comunicação e vigilância que estão sendo implementados hoje.

1.3 A comunicação aeronáutica em pacotes de dados

O ACARS - *Aircraft Communications, Addressing and Reporting System* - objetiva reduzir a carga de trabalho da tripulação, acelerar o processo de comunicação entre aeronave e estações de solo e aumentar a integridade e velocidade das mensagens trocadas. Esses objetivos são alcançados por meio de comunicação escrita, visualizada em tela ou impressa em papel.

Na origem, o sistema servia para, tão somente, informar à empresa aérea os horários de pouso, desembarque, embarque e decolagem. Desde então, a emissão de mensagem portadora dessas quatro informações (ADAMS, 2001) é automática e, portanto, transparente para o piloto, de modo a aliviar sua carga de trabalho. Receber essas informações de forma íntegra e rápida era (e continua sendo) muito importante para o operador da aeronave no que se refere às normas de caráter trabalhista, de segurança e para o gerenciamento tático das operações aéreas. Paulatinamente, uma variedade muito maior de informações passou a ser transmitida via ACARS, na medida em que outros sistemas e equipamentos de bordo passaram a ser conectados ao dispositivo ACARS de bordo.

Pensando o ACARS sem levar em consideração seu substrato físico, palpável, isto é, o *hardware* que o compõe, o sistema é uma linguagem bem definida em documentação, qual seja, a especificação ARINC 618 – *Air/Ground Character Oriented Protocol Specification*. Esse protocolo estabelece regras, sintaxe, significantes, significados e formas de sincronização de troca de mensagens **sem, no entanto, definir os métodos ou meios de transmissão**. Mesmo após atualizações, ao não definir as formas de transmissão, a especificação ARINC 618 permite que o protocolo funcione por meio de tecnologias ainda não concebidas na origem do ACARS (1978), como internet, *WiFi*, telefonia celular e outras que ainda surgirão (CONNECTED AVIATION TODAY, 2018). Isso será muito importante no estudo de novos tipos de enlace de dados entre piloto e controle de tráfego aéreo.

Por consistir em enlace de dados (data link) baseado em caracteres ASCII, o ACARS é inviável para servir como canal de voz, ainda que digitalizada. Arquivos

cuja transmissão formaria uma corrente muito longa de dados, como imagens de satélite e cartas meteorológicas também não podem ser tratadas pelo ACARS (MUSA, 2017).

1.4 Acars: Hardware

Como foi visto, a comunicação ACARS entre aeronave e estações de solo ocorre por meio de um protocolo, um conjunto de regras de sintaxe e um corpo semântico que governam a conexão e transferência de dados entre os comunicantes. O protocolo ACARS, baseado em caracteres ASCII (MUSA, 2017), serve para converter texto em correntes de *bits* segundo um processo de encriptação específico que ocorre em aviãoico adequado, inicialmente, a ACARS *Management Unit* (UM). Modernamente, a *Communication Management Unit*, com maiores capacidades e funcionalidades é o aviãoico que executa essa tarefa e que também funciona como roteador inteligente de pacotes de dados. Funcionar como roteador inteligente significa escolher a melhor opção disponível para a troca de mensagens: VHF, HF ou satélite. Como a figura a seguir demonstra, a CMU não é operada diretamente pelo piloto e tampouco é visível, pois não está instalada na parte interna do *cockpit*.

Figura 1.1 – CMU.



Fonte: Honeywell Aerospace, 2018.

Além da impressora, equipamento que orbita a CMU, existe outra interface para permitir ao piloto ler mensagens e escrevê-las. É a CDU – *Control Display Unit*. Atualmente, nas aeronaves de transporte público de maior porte, espera-se encontrar uma MCDU – *Multipurpose Control and Display Unit* – para servir de

interface entre o piloto e uma variedade de sistemas/dispositivos. De forma mais terminologicamente correta, CDU designa interface para somente um sistema/dispositivo. Na figura 1.2, visualize a MCDU de um Airbus A320:

Figura 1.2 – MCDU



Fonte: Felici et al, 2018.

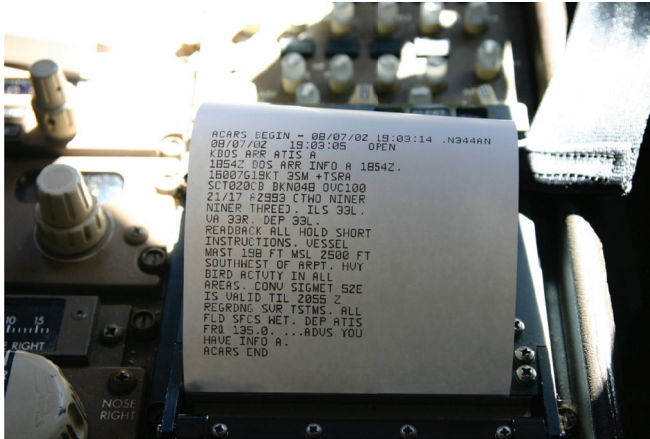
Tratando-se de aeronaves antigas, salvo atualização, as suas capacidades ACARS ficam limitadas ao VHF e HF. Cabe destacar que ACARS por VHF requer linha de visada, fato que demanda grande número de estações retransmissoras espalhadas nas áreas continentais. Essa modalidade ACARS é conhecida como *Plain Old ACARS* (POA) e é limitada a 2,4 kbps (MUSA, 2017).

Atualmente, dados referentes a horários de pouso e decolagem, consumo de combustível, desempenho do motor, *status* de funcionamento dos equipamentos e sistemas, catering e outros são dispostos em blocos de 220 caracteres (AIRLINES ELECTRONIC ENGINEERING COMMITTEE, 2006) e enviados automaticamente para uma central de **comutação**² de mensagens terrestre, que retransmite a mensagem para o órgão destinatário. Mensagens com mais de 220 caracteres podem ser enviadas mediante a transmissão de mais de um bloco.

Uma rede de satélites pode intermediar esse processo, fazendo o papel de uma estação retransmissora (SITA, 2017). O envio de mensagens a partir da aeronave pode ser automático, como as que informam o desempenho do motor, ou determinada pelo piloto, como a comunicação de necessidade especial de passageiro, mal súbito de tripulante ou desvio de rota, entre outros conteúdos.

² Operação que faz conexão entre dois circuitos, estabelecendo comunicação entre duas ou mais estações.

Figura 1.3 – Impressora de bordo ACARS



Fonte: Wien, 2018.

Inclusive quando se trata do ACARS, designam-se por *uplinks* as transmissões de estações de solo para a aeronave e, por *downlinks*, as mensagens enviadas pela aeronave. Estude a tipologia de *uplinks* e *downlinks* aeronáuticos na próxima seção.

Seção 2

Categorias de comunicação aeronáutica

Os principais tipos de *uplinks* e *downlinks* entre aeronaves e estações terrestres são:

- ATSC – Air Traffic Services Communication
- AOC – Aeronautical Operational Control
- AAC – Airline Administrative Communications
- APC – Aeronautical Passenger Communication

As mensagens ACARS relativas a **Serviços de Tráfego Aéreo (ATSC)** são limitadas às que não exigem resposta imediata. Seria inexequível, por natural, comandar uma arremetida por instrução escrita ou alertar sobre incursão irregular de viatura em pista via mensagem escrita. Por outro lado, quando se trata de voo transoceânico ou transpolar, uma autorização ATC de mudança de nível de voo pode ser emitida, haja vista que a distância entre uma aeronave e outra é maior nessas regiões e há mais tempo disponível.

As mensagens ATC, veiculadas via ACARS com maior frequência, são autorizações de rotas, de níveis de voo e informações relativas à TMA - *Terminal Control Area* (SITA, 2017). Quanto às informações de área terminal, estas não são mais do que as condições operacionais e meteorológicas de aeródromos e áreas circunvizinhas, as quais são veiculadas de duas formas principais:

- de modo automático, repetidamente, via transmissões em canal de voz em VHF (ATIS) para serem ouvidas no rádio de bordo; atualmente, essas mensagens são constituídas por vozes sintetizadas em dois idiomas (BRASIL, 2012);
- transmitidas pelo D-ATIS, ou ATIS digital. As mensagens D-ATIS podem ser visualizadas em tela ou em papel impresso.

A vantagem do D-ATIS sobre o ATIS em VHF é que este está limitado à linha de visada (VAN WAMBEKE; GINESTE, 2016) com a antena transmissora, normalmente localizada no aeródromo do qual se quer informações. Já o D-ATIS permite que uma consulta seja realizada horas antes da chegada da aeronave ao seu destino, por demanda direta do piloto, mesmo antes da decolagem.

As comunicações ACARS voltadas para **Aeronautical Operational Control (AOC)** eram, no início do emprego do sistema, exclusivamente entre a aeronave e sua empresa operadora e incluíam mormente horários de decolagem e pouso, reportes meteorológicos e dados relativos ao funcionamento dos motores. Por esse motivo, uma padronização dos termos e sintaxe das mensagens não era necessária (ARINC AVIATION, 2018). Cada empresa aérea estabelecia seu próprio padrão.

Atualmente, no entanto, aeronaves emitem *downlinks* não só para a empresa aérea operadora, mas também para fornecedores de combustível, serviços de *catering*, *aeroportos privados*, empresas de manutenção, de remoção de gelo que se acumula na aeronave estacionada durante períodos de precipitação de neve, entre outros parceiros comerciais. Isso levou à necessária padronização introduzida pela ARINC, na forma da especificação (publicação que contém normas e procedimentos) *ARINC 633 AOC Air-ground Data and Message Exchange Format* (ARINC, 2019). Sinteticamente, o Anexo X à Convenção de Chicago define **AOC** como comunicação requerida para o exercício da autoridade sobre o início, continuidade, modificação ou término de voo por motivos de segurança, regularidade ou eficiência (ICAO, 2016).

Por seu turno, **Airline Administrative Communications (AAC)** engloba comunicações de natureza administrativa e que não guardam relação com a segurança ou operacionalidade do voo (ICAO, 2016). Exemplos de mensagens AAC típicas são listas de passageiros, informações relativas a pessoas de

destaque a bordo (VIPs), pedidos para que uma assepsia especial na aeronave seja agendada e outros comunicados de natureza semelhante.

A última categoria de comunicação, ***Aeronautical Passenger Communication*** (APC), **não é veiculada mediante protocolos ACARS** e é transparente para o piloto, eis que se trata de enlace por canal de voz e troca de pacotes de dados para atender às demandas pessoais de passageiros e tripulantes.

Aeronaves de transporte comercial doméstico e de longa distância fabricadas neste século trocam mensagens com dispositivos ACARS com capacidades que vão além do VHF/HF analógico (POA – *Plain Old ACARS*). O entendimento dessas capacidades requer estudo sobre modulação nos enlaces de dados (*data links*) em uso na comunicação aeronáutica.

Seção 3

Modulação

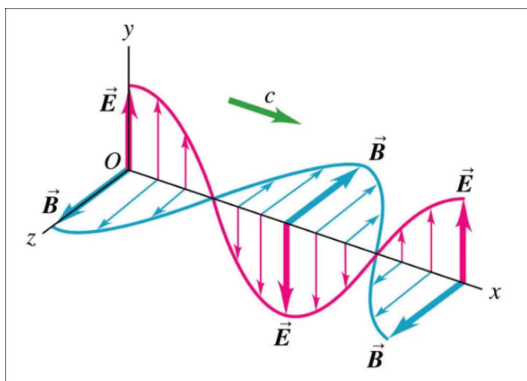
Interessante para este estudo é a transmissão de dados por sinais em ondas que são irradiadas por antenas, uma vez que a comunicação por cabos ocorre entre equipamentos dentro da aeronave ou entre estações terrestres. É por intermédio de uma antena que a aeronave troca dados com satélites, estações terrestres e outras aeronaves. Por seu turno, a compreensão sobre a comunicação sem fio (*wireless*) requer breve revisão sobre ondas e modulação.

3.1 Onda portadora

Onda portadora é energia irradiada (onda de rádio em propagação) composta de um campo elétrico e de um campo magnético. Os campos são perpendiculares e oscilatórios (TOOLEY; WYATT, 2011). A composição de campo elétrico e magnético dá origem à designação de onda portadora eletromagnética.

Confira na Figura 1.4 os planos de propagação do campo elétrico ($E \rightarrow$) e do campo magnético ($B \rightarrow$).

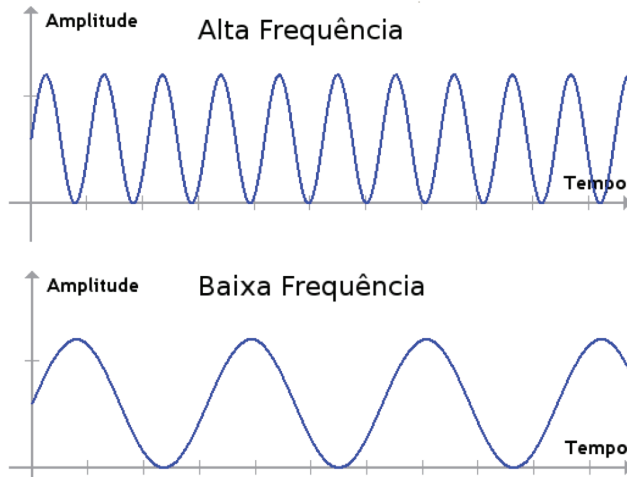
Figura 1.4 – Onda eletromagnética.



Fonte: Mini Physics, 2017.

Note que a onda eletromagnética acompanha a forma de uma senoide com três características variáveis: **amplitude**, **frequência** e **fase**. Amplitude pode ser entendida como altura da onda, frequência como a quantidade de oscilações por segundo e fase como o posicionamento do sinal no tempo. A Figura 1.5 mostra duas ondas de igual amplitude e diferentes frequências.

Figura 1.5 – Diferença de frequência.

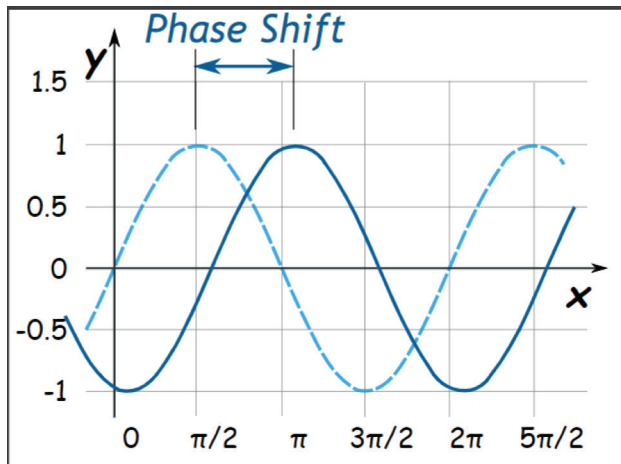


Fonte: Wikipedia, 2018.

O posicionamento do sinal no tempo (fase) ganha importância quando ondas são comparadas quanto a essa característica. Dessa comparação surge o conceito de **diferença de fase**. A diferença de posicionamento entre duas ondas pode ser expressa em tempo, graus ou radianos. Quando uma diferença de fase é expressa em tempo, uma quantidade de frações de segundo é usada para indicar o período que decorre entre os picos de uma e outra onda. Uma vez que

estamos tratando de ondas senoidais, a diferença de fase pode ser expressa por uma distância angular, indicada em graus que separam duas ondas. A Figura 1.6 mostra que radianos, por configurarem unidade de mediada de ângulo, podem ser usados para descrever diferença de fase.

Figura 1.6 – Mudança de fase.



Fonte: Math is fun, 2018.

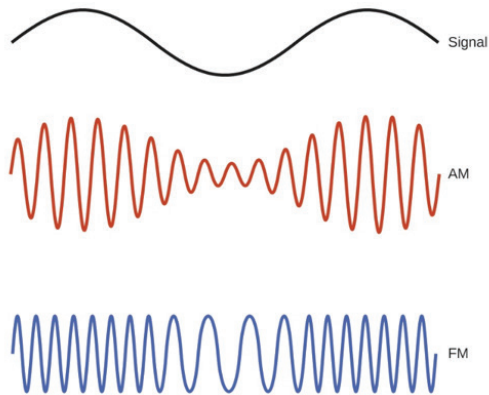
Quando a diferença de fase é referida em relação aos estados de uma mesma onda em diferentes momentos, está se indicando uma mudança de fase (*Phase Shift*). Mudar a fase de uma onda é uma das formas de modular uma onda, recurso sobremodo importante, haja vista que a onda portadora eletromagnética contínua não conduz nenhuma informação por si mesma. Para que isso aconteça, é necessário alterar intencionalmente suas características. Dá-se o nome de modulação a essa modificação da onda.

3.2 Modulação da onda portadora

Modular a onda portadora é modificar suas características para transmitir informação. Essa informação pode ser analógica, como a voz humana, uma música ou uma série de sinais sonoros específicos, como os tons de um telefone. A informação também pode ser digital, de sorte que a onda portadora modulada possa ser interpretada como uma sequência de zeros e uns.

Modular em amplitude é alterar a altura do pico da portadora conforme um sinal modulante que traz uma informação codificada. Modular em frequência e alterar a quantidade de oscilações por segundo da onda portadora segundo o sinal de interesse a transmitir. Observe na Figura 1.7 um sinal alterando uma onda portadora em amplitude (AM) e em frequência (FM).

Figura 1.7 – AM/FM



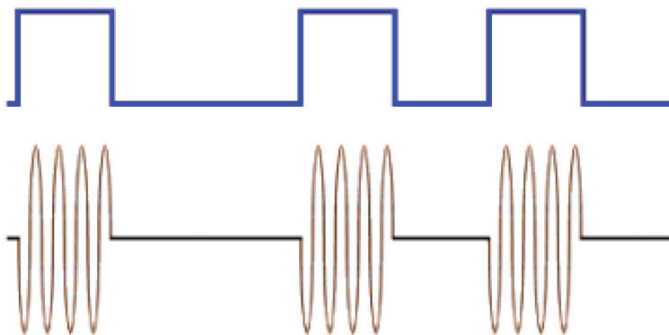
Fonte: BCCampus Open Education, 2018.

Modular em fase (PM, de *phase modulation*) é modificar a fase de uma onda portadora, conforme um sinal que contém mensagem codificada. Nesse caso, a onda portadora é atrasada ou adiantada conforme o sinal de mensagem.

3.3 Modulação por Chaveamento de Amplitude - ASK

A modulação por chaveamento de amplitude (*Amplitude Shift Keying*) consiste em modificar a onda portadora conforme um sinal digital. Quando o sinal codifica um *bit* de valor 1, a onda portadora é irradiada com determinada amplitude. Já quando o sinal codifica um *bit* de valor zero, a amplitude passa a ser também zero.

Figura 1.8 – ASK.



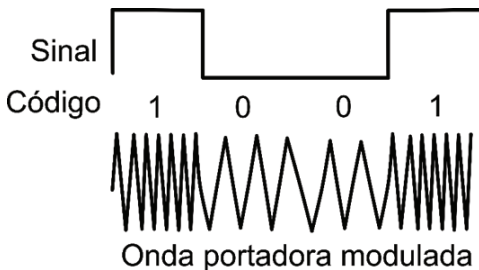
Fonte: Wells, 2009.

O processo é muito semelhante a ligar e desligar a transmissão.

3.4 Modulação por Chaveamento de Frequência – FSK/BFSK

FSK é a sigla para *Frequency Shift Keying*. Nesse tipo de modulação, duas frequências muito próximas são utilizadas, uma para o bit 0 e outra para o bit 1.

Figura 1.9 – FSK/BFSK.



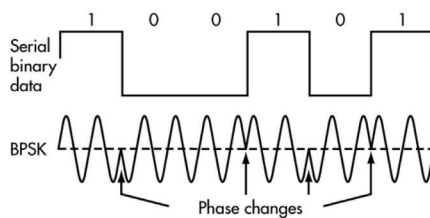
Fonte: Adaptação de Faruque, 2017.

Por transmitir *bits* de dois valores, o método de modulação também é designado por *Binary Frequency Shift Keying* (BFSK).

3.5 Modulação por Chaveamento de Fase – PSK

No processo de Modulação por Chaveamento de Fase (*Phase Shift Keying* - PSK) ocorre a inversão de fase da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido. As inversões de fase significam mudanças de 0 para 1 e de 1 para 0. Essa possibilidade de modulação, em que pese exigir equipamentos mais sofisticados, apresenta resultados melhores em comparação com ASK e FSK (COMPUTER/ELECTRONICS QUESTIONS AND ANSWERS, 2014).

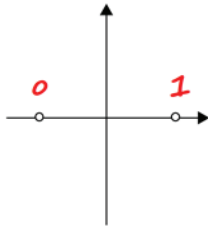
Figura 1.10 – Modulação PSK



Fonte: Frenzel, 2018.

O sinal modulado (onda portadora já modificada) por chaveamento de fase costuma ser representado em diagrama que relaciona cada *bit* com uma posição medida em graus.

Figura 1.11 – Diagrama BPSK.



Fonte: Adaptação de Akaiwa, 2015.

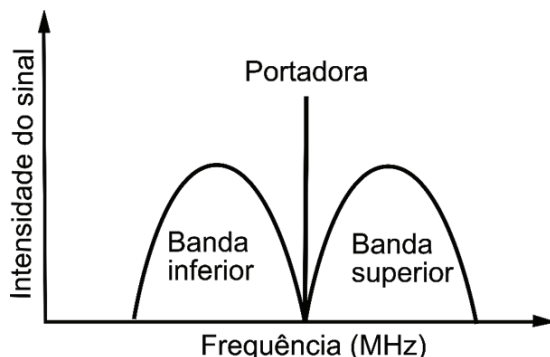
Note que no diagrama mostrado na Figura 1.12, o dígito 1 está no segmento de reta correspondente a 0° e o dígito 0 está no segmento de reta posicionado em 180° . Esse tipo de modulação também é chamado de BPSK.

Uma das modalidades de modulação por chaveamento de fase é a **Modulação por Chaveamento Diferencial de 8 Fases (D8PSK)**. O método requer modificação de fase na onda portadora em oito posições angulares da senoide: 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° e 315° . Cada posição angular representa 3 bits: 000, 001, 011, 010, 110, 111, 101 e 100.

3.6 Modulação Mínima por Chaveamento (de frequência) - MSK

A transmissão de dados binários por chaveamentos de frequência implica mudanças abruptas entre estados da onda portadora, isto é, súbitas alterações entre bits de valor 0 e 1. A rapidez dessas mudanças tende a criar deslocamentos exagerados do valor da frequência, isso significa dizer que a banda da frequência (vide Figura 1.12) varia demasiadamente sua largura (GUIMARÃES, 2008). Como consequência das variações intensas e velozes da largura da banda, ocorrem interferências indevidas em outros canais de comunicação, fato que leva à saturação do espectro disponível de canais.

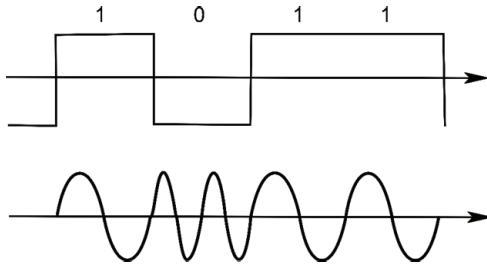
Figura 1.12 – Largura da banda de frequência



Fonte: Adaptado de Eletronic Notes, [2019].

Uma das formas de minimizar a modulação para evitar os efeitos indesejados da oscilação excessiva da largura da banda é provocar a mudança de frequência (chaveamento) quando a senoide da onda portadora passa pelo zero. Esse recurso também evita deslocamentos de fase, como se percebe na Figura 1.13.

Figura 1.13 – Sinal digital MSK.



Fonte: Adaptado de Mandayam, 2002.

Note que a mudança de dígito coincide com a mudança de frequência que ocorre quando a senoide da portadora cruza o nível zero (em graus e voltagem). Existem outras formas de modulação que fogem ao escopo da obra, cujo foco está nas modulações de interesse aeronáutico. As formas de modulação estudadas até aqui foram aquelas atinentes aos procedimentos de comunicação, navegação e gerenciamento de tráfego aéreo, os quais são cada vez mais exigentes em termos de enlaces de dados.

Seção 4

Enlaces de dados FANS

A Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) cria comitês e painéis com o fito de alcançar seus objetivos institucionais. No começo dos anos 80, um comitê especial foi criado para identificar novas tecnologias com potencial de desenvolver a aviação civil internacional. Foi o comitê FANS – *Future Air Navigation System*, o qual traçou diretrizes e especificações para os sistemas de navegação aérea do futuro. Suas diretrizes para comunicação aeronáutica incluíram especificações para a construção de sistema de enlace de dados entre o controlador de tráfego aéreo e o piloto.

Tal enlace foi pensado para mensagens não urgentes, pré-formatadas e padronizadas ou em formato de texto livre. Nesse sentido, vislumbra-se analogia com a fraseologia aeronáutica padrão e sua incompletude, que frequentemente força pilotos e controladores a abandonar temporariamente o léxico padronizado

para desempenhar com segurança suas atribuições operacionais. Esse elo foi designado por CPDLC, ou *Control Pilot Data Link Communications* (DIEZ, 2009). Diretrizes operacionais relativas ao CPDLC estão dispostas no ICAO Doc. 4444 PANS-ATM e são internalizadas pela autoridade de tráfego aéreo de cada país.

O CPDLC é ferramenta desenvolvida para aumentar a segurança das operações aéreas por meio da redução de erros de comunicação e da carga de trabalho de pilotos e controladores. Também visa a descongestionar os canais de voz, aumentar a quantidades de aeronaves controladas por setor ATC e permitir o atendimento simultâneo de pilotos (SKYBRARY, 2017).

Exsurge - por natural - que um dos princípios do ATC é o da unicidade de controle, isto é, em dado momento uma aeronave deve estar sob controle de somente um só órgão ATC. A ferramenta CPDLC obedece a esse princípio por meio do conceito de *Data Authority* (ICAO, 2016): somente dois órgãos de controle podem estar em enlace de dados com cada aeronave e somente um enlace estará ativo, restando o outro em espera.

Durante a década de 90, Boeing e Airbus trataram de projetar protocolos e dispositivos de comunicação compatíveis com as diretrizes FANS, respectivamente, denominados FANS1 e FANS2. A designação genérica para a primeira geração da tecnologia passou a ser FANS1/A. Aviônicos da geração FANS1/A fornecem aos usuários capacidade CPDLC, sem, no entanto, prover ao usuário a certeza de que a mensagem transmitida foi recebida (ONEYWELL AEROSPACE, 2015). A estrutura aplicada para comunicação ar-terra no contexto FANS1/A foi aquela então disponível, ACARS por VHF e via satélite (MAHMOUD, 2014). Natural que o *backup* em áreas remotas ou oceânicas seja o canal de voz por HF e em caso de falha do equipamento em regiões continentais não agrestes venha a ser o canal de voz em VHF.

Diz-se que uma aeronave está equipada FANS1/A se é capaz de notificar o ATC de que um enlace de dados está disponível (*ATS Facility Notification* – AFN) para o início da troca de mensagens de texto. Quando ocorre o logon via AFN, o órgão ATC se torna a autoridade de tráfego presente (*Current Data Authority*). A interface de rádio para a troca de mensagens de texto pode ser analógica (dois sinais de áudio para os bits 0 e 1) ou digital (protocolo ARINC 429), fluxo de 2,4 kbps e **modulação por amplitude MSK** (TOOLEY; WYATT, 2011).

A geração tecnológica seguinte, FANS-2/B, contempla modalidade CPDLC superior em velocidade na transmissão de dados: *Protected Mode* CPDLC (PM-CPDLC). Mais importante que a velocidade, o PM-CPDLC fornece confirmação lógica de recebimento de mensagens (LACK - *Logical ACKnowledgement*). Uma mensagem LACK (EUROCONTROL, 2009) informa ao controlador que a instrução transmitida foi recebida pelo sistema de enlace de dados de bordo e julgada

íntegra para ser apresentada ao piloto. Assim, o piloto fica dispensado de efetuar o *read back* e o controlador de ouvir o cotejamento. A ferramenta CPDLC no contexto FANS2/B tem como interface humana o CDU/MCDU.

Seção 5

Meios para fluxo de dados aeronáuticos

5.1 HFDL

High Frequency Data Link, de forma análoga ao POA (*Plain Old Acars*), consiste em protocolo de enlace de dados conforme especificação ARINC 635 para troca de mensagens AOC, CPLDC e de vigilância. Essas últimas serão estudadas mais adiante. A comunicação via HFDL pode ocorrer entre aeronaves e entre aeronaves e estações de solo. Atualmente, é realizada com modulação D2PSK, D4PSK e D8PSK, com velocidades respectivas de 300, 600 e 1.200/1.800 kbps (UTILITY DXERS, 2019).

5.2 VDLm1

VHF *Data Link mode 1* foi projetado com padronização ICAO para plataforma POA, com consequente baixa velocidade de transmissão de 2,4 kbps. Foi removido do Anexo 10 à Convenção de Chicago por ter sido superado tecnologicamente (AIRBUS, 2004).

5.3 VDLm2

VHF *Data Link mode 2* opera em plataforma ACARS avançada, isto é, ACARS sobre AVLC (AOA), sendo que AVLC significa *Aviation VHF Link Control*. Usado para CPDLC conforme padronização ICAO e para AOC. Funciona com modulação D8PSK e com velocidade de 31,5 kbps. O protocolo de controle de acesso à onda portadora é CSMA (*Carrier-Sense Multiple Acces*), método que exige que o transmissor verifique se há outra transmissão ocorrendo antes de iniciar a modulação da onda portadora (YOCHI; HEINKE, 2015). Eventualmente ocorre colisão de mensagens (sobremodulação ou modulação simultânea) e, nesses casos, é efetuada a retransmissão do pacote de dados.

5.4 VDLm3

VDL *mode* 3 tem sido estudado no âmbito da FAA com vistas a futura implementação de meio de transmissão de voz e dados em um mesmo canal para finalidade ATC, exclusivamente. O protocolo de controle de acesso é TDMA (*Time Division Multiple Access*), o qual requer que aeronaves e estações de solo tenham um mesmo referencial de tempo, uma vez que uma janela temporal é alocada para cada usuário efetuar sua transmissão (MEDINA; HOFFMANN, 2016). Isso evita a sobremodulação e a consequente perda de mensagens que, frequentemente, ocorrem no CSMA. Modulação D8PSK e velocidade de 31,5 kbps (GÓMEZ, 2012).

5.5 VDLm4

VDL *mode* 4 foi padronizado pela ICAO com o objetivo de permitir enlaces de dados para navegação e vigilância: ar-ar e ar-terra. Opera mediante modulação de frequência (Gaussiana). Velocidade de 19,2 kbps e protocolo de controle de acesso S-TDMA ou *Self-Time Division Multiple Access* (mais veloz) (GÓMEZ, 2012).

5.6 AeroMacs

Aeronautical Mobile Airport Communications System, AeroMACS, é tecnologia de enlace de dados em banda larga e sem fio. Segue as mesmas especificações de segurança de redes privadas de comunicação digital (SIEMENS, 2018). Trata-se de tecnologia wireless recomendada pela ICAO e validada pela FAA e Eurocontrol. Um aeródromo com AeroMACS em operação permitiria que aeronaves deixassem de efetuar suas comunicações ATSC, AOC e AAC pelos meios usuais, quando estivessem no solo. Viaturas também poderiam se valer desse meio de comunicação.

Outros meios existem ou estão em projeto, todavia, descrevê-los fugiria ao escopo da obra, de sorte que se abre oportunidade para síntese do que foi estudado até o momento

Seção 6

Semelhanças e diferenças entre ACARS e CPDLC

CPDLC é ferramenta exclusiva para controle de tráfego aéreo e ACARS serve para AOC, AAC e, também, para comunicação com o ATC.

ACARS é global, alcançando polos, oceanos e regiões agrestes. Satélites em órbitas geoestacionárias e polares permitem esse alcance, a depender do grau de sofisticação dos aviônicos.

Figura 1.14 – DCDU com mensagem CPDLC.



Fonte: Bousquie, 2015 .

CPDLC não é global. A depender da Região de Informação de Voo (FIR) e do Prestador de Serviços de Navegação Aérea, o qual pode ou não estar provendo o serviço.

CPDLC emprega como meio VDLm2 e enlace por intermédio de satélites. ACARS troca mensagens por HF (POA), HFDL, VDLm2 e por intermédio das redes de satélites Inmarsat ou Iridium, isto é, uma das duas (ARINC AVIATION, 2018), não sendo comum ambas em razão dos custos operacionais.

Os provedores de serviços de navegação aérea (ANSPs) europeus, a fim de cumprir disposições normativas, mantêm rede ATN/VDLm2 para CPDLC. Voando na Europa, o mesmo canal VDLm2 é usado para comunicação AOC e ATC (SITA, 2010).

Atividades de autoavaliação

1. Associe as colunas (você pode pesquisar na internet):

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| (A) MF – Medium Frequency | () – 3 GHz até 300 GHz |
| (B) HF – High Frequency | () – 30 MHz até 300 MHz |
| (C) VHF – Very High Frequency | () – 300 KHz até 3.000 KHz |
| (D) UHF – Ultra High Frequency | () – 3 MHz até 30 MHz |
| (E) SHF – Super High Frequency | () – 300 MHz até 3.000 MHz |

2. ACARS pode ser empregado para telefonia APC? Justifique sua resposta.

3. Qual a velocidade e forma de modulação VDLm2?

4. Qual a primeira plataforma empregada para troca de mensagens CPDLC?

Capítulo 2

Navegação

Seção 1

Recapitulando...

Antes de aprofundar conhecimentos acerca do componente Navegação na concepção CNS/ATM, cabe uma revisão das modalidades de navegação aérea, as quais podem ser agrupadas em três categorias: **Navegação Absoluta**, **Navegação Estimada** e **Navegação por Comparação Cartográfica** (KAYTON, 2015).

1.1 Navegação Absoluta

Sistemas de navegação absoluta funcionam de duas formas nas quais a trajetória ou posições anteriormente ocupadas não são relevantes. Na primeira, a posição da aeronave é informada em termos de coordenadas geográficas ou polares (LOGSDON, 1995). Na segunda, uma orientação (direção e sentido), um rumo, é informado. Nessa última, a combinação de rumos é capaz de produzir coordenadas geográficas ou polares. O mesmo ocorre com a combinação de um rumo e uma distância. Esses conceitos ficarão mais claros em seguida.

A navegação absoluta se divide em navegação celestial e radionavegação.

A milenar **navegação celestial** atualmente é assistida por sensores eletrônicos e por processadores de dados. Duas observações seguidas permitem a obtenção do sentido do deslocamento e da velocidade (vetor).

A **radionavegação**, segundo o autor, divide-se em referencial e relativa.

Os sistemas de **radionavegação referencial** produzem, como resultado, coordenadas, as quais podem ser objeto de processamento computadorizado para descrever, em telas, trajetórias. São exemplos de radionavegação referencial:

GNSS, LORAN (navegação hiperbólica em desuso), e Multi-DME (também referida por DME/DME). GNSS, acrônimo para *Global Navigation Satellite System*, é o termo genérico para designar sistemas de navegação auxiliados por satélites artificiais e será de relevo ao longo dos estudos que seguem.

Em navegação, os segmentos de uma rota ou trajetória são chamados de pernas (*legs*) (CROCKER, 2005). Quando se trata de **radionavegação relativa**, as extremidades das pernas são fixadas em um auxílio terrestre à navegação, como VOR, NDB (em desuso), TACAN (militar: **Tactical Air Navigation**), VORTAC (**Tactical** VOR). A posição da aeronave e a direção a seguir (*guidance*) é informada em relação à posição dos auxílios à navegação (NAVAID). Caso interessante ocorria quando o dispositivo de radionavegação relativa era empregado para fornecer orientação para o sobrevoo de determinado auxílio à navegação, que se enquadrava como de radionavegação referencial. Para exemplo, dispositivo de radionavegação relativa (ADF), sendo usado para indicar rumo para antena de NAVAID LORAN (até 2010, segundo SKYBRARY, 2018) ou Ômega (encerrado em 1997, segundo Major, 2014).

As coordenadas que marcam os extremos de um segmento de rota são designadas, no contexto de sistemas de navegação absoluta, por *waypoints*: um ponto imaginário no espaço que pode ser indicado bidimensional (coordenadas) ou tridimensionalmente (coordenadas + altitude) (GAMEIRO, 2013). Por outro lado, o vetor da aeronave é revelado mediante cálculos que envolvem diferentes observações ao longo do tempo, mormente frações de segundo. Entende-se vetor, nesse contexto, como velocidade, direção e sentido nos modos bi ou tridimensionais. O modo quadridimensional (4D) surge quando um processador de dados fornece orientação (*guidance*) composta por vetor com velocidade ajustada para o alcance de determinado *waypoint*, em certo tempo estabelecido pela tripulação ou pelo ATC. A navegação 4D é muito útil para o desenho das rotas no gerenciamento do tráfego aéreo (nível estratégico) e para o controle do tráfego aéreo (nível tático).

1.2 Navegação Estimada (*Dead Reckoning*)

Na navegação estimada, ao contrário do que ocorre na navegação absoluta, a posição anteriormente ocupada em determinado momento passado é relevante. A partir de dados relativos à velocidade, aceleração e rumo de uma aeronave, sua posição pretérita é extrapolada para revelar o que se estima ser a posição presente. Natural que a presente posição também possa servir de entrada nos cálculos de posições estimadas futuras. A acumulação de pequenos erros decorrentes de medições imprecisas é inerente à navegação estimada (FAA (U.S.A.) 2011).

O Efeito Doppler é importante recurso para a obtenção da velocidade. Radares Doppler emitem feixes de micro-ondas que são refletidos pela superfície, solo ou corpos de água, com desvios na frequência que, quando analisados, permitem estimar um valor para a velocidade (ALABASTER, 2012). Múltiplos feixes de micro-ondas possibilitam até mesmo o cálculo do vetor da aeronave. Ferramenta muito útil para helicópteros, cujo tubo de Pitot deixa de gerar dados confiáveis quando a aeronave efetua deslocamento lateral ou retrógrado.

O sistema de navegação estimada mais evoluído atualmente é composto por acelerômetros que alimentam o processador IRU (SKYBRARY, 2018) (*Inertial Reference Unit*), utilizado para fornecer dados essenciais para o FMS (*Flight Management System*).

1.3 Navegação por Comparação Cartográfica (*Map-Matching*)

A navegação por comparação cartográfica (*map-matching*) é, em essência, muito semelhante à navegação em voo VFR realizado com o auxílio de cartas WAC. As diferenças residem nos seguintes elementos: os olhos do piloto são substituídos por sensores eletrônicos que mapeiam o terreno e a comparação dessa observação com a carta é realizada pelo tripulante ou por processadores de dados.

Entre os sensores eletrônicos utilizados na navegação por comparação cartográfica podem ser elencados radares de sensoriamento remoto e sensores óticos capazes de atuar em espectros aquém e além da luz visível. Nos casos de aeronaves não tripuladas e autônomas, o resultado das observações é automaticamente comparado com dados estocados em memória eletrônica que contém as características do terreno. Trata-se de recurso de navegação muito usado em mísseis de cruzeiro (LOGSDON, 1995).

Quadro 2.1 – Modalidades de navegação

Navegação Absoluta	Radionavegação	Referencial	GPS, DME/DME, Hiperbólicas
		Relativa	ILS, MLS, ADF, VOR, DME/VOR
	Celestial	Manual, mecânica e eletrônica.	
Navegação Estimada	Manual e eletrônica (INS, Doppler)		
Navegação por Comparação Cartográfica	Manual e eletrônica		

Fonte: Elaboração do autor, 2019.

O melhor resultado que se pode obter de um sistema de navegação é uma orientação para uma rota ortogônica entre a origem e o destino. Todavia, esse proceder ótimo tem uma relação custo/benefício a ponderar. Houve época na qual os equipamentos para rotas ortogônicas eram caros e de interface pouco amigável, de sorte que o mais admissível era o voo entre NAVAIDs, ainda que não estivessem bem posicionados. A navegação ortogônica simples, direta e de baixo custo, ou *freeflight*, precisava ser alcançada.

Seção 2

Navegação de Área

Nos dias de hoje, é comum associar navegação de área aos sistemas cujos auxílios à navegação são satélites, como o GPS. Todavia, de fato, a navegação de área na aviação geral remonta ao final dos anos 60 (TERPSTRA, 2000), já com essa designação, bem antes do surgimento de sistemas globais de navegação assistida por dispositivos orbitais. Anteriormente, nos anos 50, aeronaves militares e de transporte aéreo de longo curso faziam uso de navegação inercial, que também é uma forma de navegação de área. Veja o porquê na definição de navegação de área usualmente empregada nos documentos da ICAO, no caso, Doc. 9613 (ICAO, 2013):

Método de navegação que permite a operação de aeronaves em qualquer trajetória de voo desejada dentro da cobertura de auxílios à navegação (quer baseados no solo ou no espaço) ou conforme a capacidade de equipamentos de navegação independentes de auxílios externos ou, ainda, de uma combinação de ambos.

A primeira técnica de navegação de área de acesso facilitado fazia uso de VOR/DME. Uma radial e uma distância adequada eram selecionadas para criar um *waypoint* conveniente, cujos dados eram guardados na memória do dispositivo de navegação de área. O número de *waypoints* memorizados dependia da capacidade de cada dispositivo e eram escolhidos *waypoints* dentro do alcance operacional de cada VOR/DME de forma a compor uma rota o mais possível ortogônica (TERPSTRA, 2000).

Observe na Figura 2.1 o indicador da esquerda: os botões seletores foram manipulados para que um ponto na radial 260 a 10 NM de distância de determinado VOR/DME fosse escolhido como *waypoint*. O indicador da direita funciona como CDI, indicador de desvio de curso, para orientar o piloto na

direção do *waypoint*. Os indicadores da imagem compunham o conjunto *Course Line Computer CLC-60* (MARTIN, 2018) produzido pela Narco Inc. em 1968.

Figura 2.1 – RNAV Course Line Computer



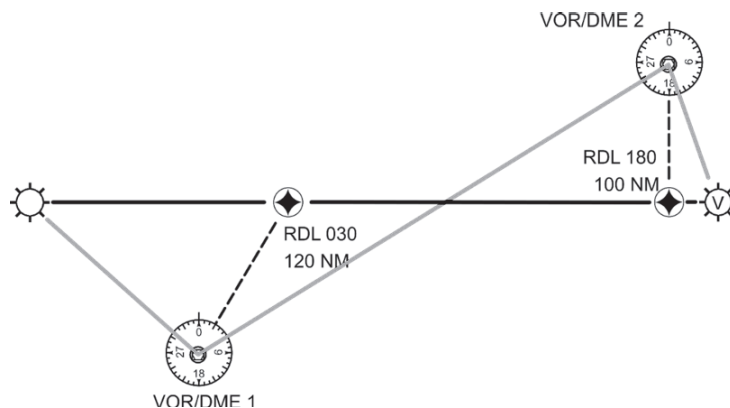
Fonte: Martin, 2018.

Além da economia de tempo e combustível proporcionada por rotas diretas ou compostas por seções ortogônicas, quando os alcances dos NAVAID assim exigiam, a navegação de área passou a permitir o voo IFR para aeródromos não servidos por qualquer auxílio à navegação.

A Figura 2.2 descreve esse cenário. Há um aeródromo IFR na lateral esquerda e outro aeródromo limitado à operação VFR à direita. Entre eles, na horizontal e em preto, a rota direta. Outra rota, em cinza e indireta, liga o aeródromo de origem ao VOR/DME 1, depois ao VOR/DME 2 e, por fim, ao aeródromo de destino.

A rota direta, em preto, possui dois *waypoints* dentro do alcance operacional dos NAVAID 1 e 2 para que o piloto possa se orientar usando o CDI em rota mais curta.

Figura 2.2 – Rotas RNAV e ATS



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

A rota em cinza é designada no Brasil, que adota a padronização ICAO, por Rota ATS. A rota direta servida pelos *waypoints*, aqui é indicada por Rota RNAV, Rota de Navegação de Área (BRASIL. DECEA, 2017).

Atualmente, o conceito RNAV está imbricado com de GNSS. Fato que enseja estudo mais detalhado dos fundamentos teóricos e das características das espécies que compõem o gênero GNSS.

Seção 3

GNSS

Nesta seção, serão abordados assuntos importantes para entendimento mais profundo acerca do funcionamento dos sistemas de navegação baseados em satélites artificiais, eis que, sobretudo, relevantes para o conceito CNS/ATM.

3.1 Triangulação e trilateração

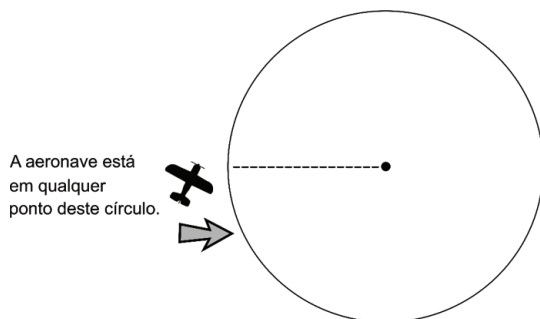
Medir ângulos é mais barato e mais rápido do que medir distâncias. Instrumentos de construção simples como balhastilha, quadrantes e astrolábios permitem uma leitura rápida dos ângulos. Sextantes são mais elaborados, mas poderiam ter sido construídos antes de sua época, pois os materiais necessários já existiam ao tempo da criação do telescópio (1608, pelo holandês Hans Lippershey, segundo Veiga, 2010).

Não por outro motivo, a **triangulação** - método de se calcular distâncias e posições a partir de valores angulares - foi o método preferido pelos navegadores até meados do o séc. XX. Os primeiros NAVAID funcionavam com triangulação: ADF/NDB, VOR, VOR/DME permitiam ao piloto/navegador medir ângulos e encontrar sua posição em uma carta a partir do cruzamento retas orientadas segundo os ângulos colhidos. A tolerável imprecisão inerente às projeções cartográficas é diminuída nos computadores de navegação de área, eis que esses efetuam seus cálculos segundo a geometria esférica¹.

Por seu turno, a **trilateração** é método de se calcular posições e ângulos a partir da medição de distâncias, mormente, neste estudo, comprimentos de raios do que propriamente de lados. As tecnologias de navegação hiperbólica, como Omega e LORANC, usam a medição de distâncias. Na geometria plana, o raio de uma circunferência é uma distância. Uma vez conhecida a distância de uma aeronave em relação ao centro de círculo, cuja posição é conhecida, pode-se afirmar que esta aeronave está em um ponto qualquer do perímetro desse círculo.

1 Na geometria esférica, a soma dos ângulos de um triângulo esférico é sempre maior que 180° e menor que 540°.

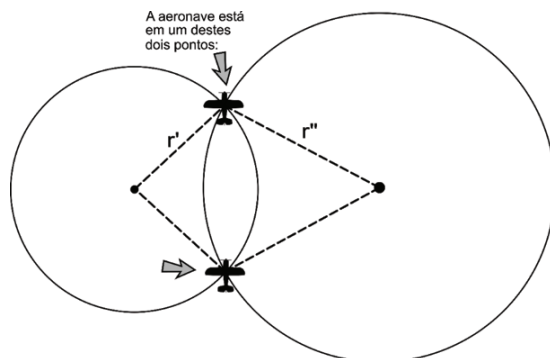
Figura 2.3 – Trilateração plana: um círculo.



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

Adicionando-se outro círculo cujo raio seja conhecido, poder-se-á afirmar que a aeronave está no ponto de tangência dos dois círculos ou em um dos dois pontos de intersecção dos círculos, caso haja intersecção.

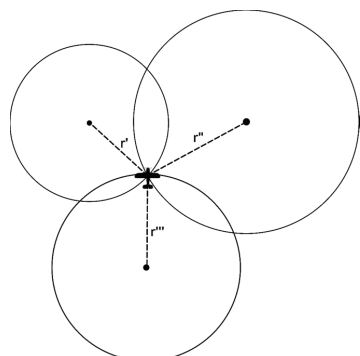
Figura 2.4 – Trilateração plana: dois círculos.



Fonte: Elaboração do autor, 2019.

Um terceiro círculo elimina a dúvida:

Figura 2.5 – Trilateração plana: três círculos.

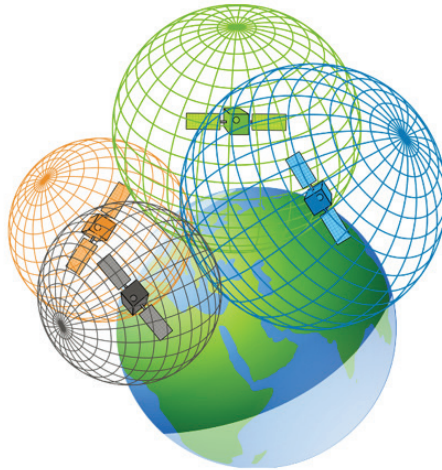


Fonte: Elaboração do autor, 2019.

Os sistemas de navegação cujos auxílios estão baseados em satélites artificiais, de forma semelhante, aplicam trilateração em três dimensões: contudo, em lugar de círculos, esferas.

É proveitoso acompanhar: se o piloto de uma aeronave souber que está a 20.000 km de um satélite, poderá afirmar que está em qualquer ponto de uma superfície de uma esfera de 20.000 km de raio centrada no satélite. A intersecção de duas esferas gera um círculo. Um segundo satélite de distância conhecida permitirá concluir que a aeronave está em algum ponto de um círculo formado pela intersecção dessas duas esferas. Se um terceiro satélite vier em seu auxílio, teremos a intersecção de um círculo com uma esfera. Essa intersecção ocorre em dois pontos. Um desses pontos estará na superfície terrestre e o outro em uma posição impossível, como no interior do planeta ou além da atmosfera.

Figura 2.6 – Trilateração esférica



Fonte: Gis Geography, 2019.

Essa é a geometria fundamental da tecnologia GNSS. Conclusa essa importante etapa, cabe abrir o estudo do processo de medição de distâncias a partir de informações recebidas da rede de satélites de navegação.

3.2 Da medição de distâncias no GNSS

O GPS – *Global Positioning System* – é a primeira espécie do gênero GNSS, sendo estruturado em torno da rede de satélites Navstar. Há que sustente que Navstar é acrônimo para **N**avigation **S**ystem with **T**iming **A**nd **R**anging, mas o tema é controverso. Segundo Parkinson (PARKINSON, 1996), o operador do sistema, o Departamento de Defesa dos E.U.A. não atribuiu nenhum sentido técnico ao nome.

O sistema GPS é composto de três segmentos (KHOURY; ZGHEIB, 2018):

- Segmento espacial
- Segmento de controle
- Segmento dos usuários

Os satélites Navstar compõem o **segmento espacial** do sistema. São 31 satélites ao tempo da edição desta obra, 24 em operação contínua e distribuídos em seis órbitas inclinadas em 55°. Cada satélite leva 12 horas para completar uma órbita e carrega 3 ou 4 relógios atômicos (DORSEY, 2017).

O **segmento de controle** é composto por estações terrestres de monitoramento, atualização e ajuste. Os satélites sofrem perturbações em suas órbitas devido ao vento solar e ao arrasto causado pelos resíduos atmosféricos em suas órbitas. Tais perturbações provocam alterações de velocidade e altitude que são monitoradas e corrigidas pelas estações de controle (U.S.A. Gps.gov. Department Of Defense, 2018). Os relógios atômicos, em que pese a precisão extrema, também precisam ser periodicamente atualizados (U.S.A. Space And Missile Systems Center. Department Of Defense, 2016). Informações relativas às órbitas de todos os satélites são arquivadas e atualizadas nas memórias dos computadores de bordo. Essas informações, chamadas de almanaque (KEALY; MOORE, 2017), são transmitidas para os receptores de GPS na superfície ou na atmosfera planetária.

O **segmento do usuário** é composto por você. Voando ou dirigindo seu automóvel para o aeroporto, portando um dispositivo para calcular distâncias até os satélites.

Fundamentalmente, a distância entre o receptor do usuário e cada elemento do segmento espacial é calculada pela medição do tempo dispendido pelas ondas de rádio para percorrer o caminho entre a antena do satélite e a antena do receptor GPS. Vale estudar como funciona:

Considere-se um satélite Navstar em órbita típica de 20.000 km de altitude que emita sinal contendo identificação, hora da transmissão e posição do satélite. Se a hora de transmissão for 12h 20min 10s e o usuário receber esse pacote de dados às 12h 20min e 10,125413524s, será possível saber o tempo decorrido entre a emissão do sinal e chegada no receptor: tempo decorrido = $\Delta t = 10,125413524s - 10 = 0,125413524s$.

Uma vez que as ondas de rádio viajam à velocidade da luz (c), que no vácuo percorre 299.792.458m/s, restam conhecidas as variáveis que resolvem a conhecida equação $d = v \cdot \Delta t$, onde d é distância, t é tempo e v é velocidade.

Seja:

$$v = c = 299.792.458 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 0,125413524 \text{ s}$$

e d a distância percorrida pelo sinal.

Aplicados em:

$$d = v \cdot \Delta t$$

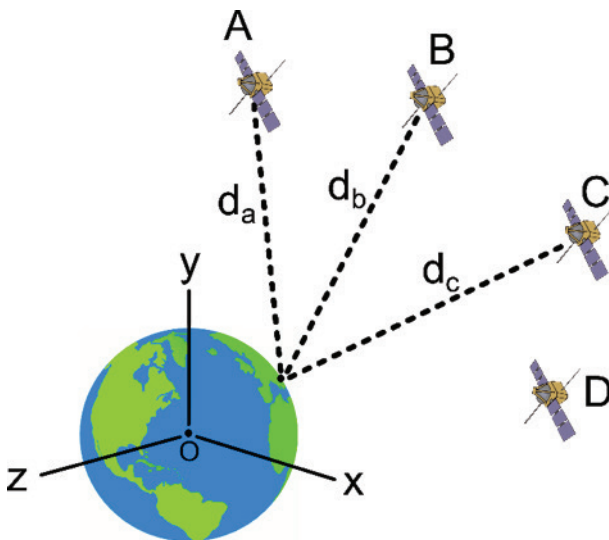
$$d = 299.792 \cdot 458 \text{ m/s} \cdot 0,125413524 \text{ s}$$

$$d = 37.598028,626401 \text{ m}$$

Em um primeiro momento, seria o caso de repetir o processo com mais dois satélites para se ter as três distâncias correspondentes aos raios das três esferas da Figura 2.6. Mas há um problema ainda a resolver: o descompasso entre os relógios. Os relógios dos usuários não são tão precisos quanto os relógios atômicos em órbita. Hora de ser estudada a solução para esse problema.

Como foi estudado, a posição dos satélites é conhecida, ainda que se desloquem a 4.000 m/s (MISRA, 2006), eis que constantemente monitorada pelo segmento de controle. Assim, são conhecidas as variáveis que permitem a construção de um sistema de coordenadas cartesianas com três ordenadas (x, y e z) cuja origem O é o próprio centro do planeta, como demonstrado na Figura 2.7. Considere a posição da aeronave como origem para os segmentos de reta d_a , d_b e d_c .

Figura 2.7 – Geometria GNSS

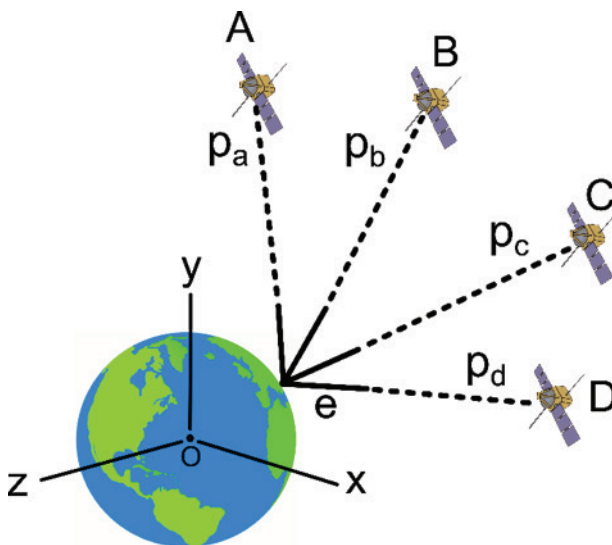


Adaptado de: Scannavino, 2015.

O trabalho no segmento de controle permite a obtenção de outras variáveis, como a distância entre o satélite A e a origem O no centro da Terra, assim como o ângulo entre os segmentos $\mathbf{d}_a$ e $\mathbf{d}_b$. Importante notar que vários triângulos podem ser formados para revelar as coordenadas x, y e z da aeronave. Para exemplo: o triângulo cujos vértices são a origem O, o satélite A e o ponto de sua projeção ortogonal no eixo Y, o triângulo formado pela aeronave e os satélites A e B e assim por diante.

Se os relógios de alta precisão não fossem tão caros, bastariam esses três satélites. Ocorre que, ainda hoje não é técnica e economicamente viável a instalação de relógios atômicos, ou tão precisos quanto esses, no segmento do usuário. Consequentemente, há defasagem entre a hora do relógio atômico orbital e o relógio do receptor GPS e, por isso, ocorre um erro no cálculo das distâncias que gera medidas falsas (*pseudoranges*). A diferença entre a distância verdadeira e aquela calculada pelo receptor GPS, o desvio de cronometragem (*user clock bias*), é afortunadamente igual para todas as medições. Logo, trata-se de uma **constante** ignorada e há uma solução elegante para esse problema. Não é necessário efetuar cálculos para entendê-la. Observe na Figura 2.8 a representação gráfica das distâncias verdadeiras, compostas, cada uma, pela *pseudorange* e *user clock bias*, sendo p_a , p_b , p_c , e p_d as *pseudoranges* e o desvio de cronometragem e:

Figura 2.8 – Pseudo Range e User Clock Bias



Fonte: Adaptado de Scannavino, 2015.

É útil acompanhar a solução para se encontrar o valor das distâncias verdadeiras, compostas pela soma da *pseudorange* e da distância percorrida pelo sinal GPS durante o tempo de defasagem entre os relógios:

Dado um sistema ortogonal de coordenadas cartesianas, em três dimensões, com origem O, e dado um ponto P qualquer de coordenadas x, y, z , a distância entre O e P é dada por $d(O,P) = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$. A formulação genérica decorrente para a distância entre dois pontos quaisquer, sejam $P = (x, y, z)$ e $S = (u, v, w)$, é expressa por $d(P,S) = \sqrt{(x-u)^2 + (y-v)^2 + (z-w)^2}$.

Agora, seja P a posição da aeronave, S a aposição de cada um dos satélites (S_a, S_b, S_c e S_d) e, ainda:

- $dS_a = p_a + e$
- $dS_b = p_b + e$
- $dS_c = p_c + e$
- $dS_d = p_d + e$

Então, se a distância entre a aeronave e um satélite é dada por $(p + e)$ e substituindo-se $d(P,S)$ por $(p + e)$, surge:

$$d(P,S) = \sqrt{(x-u)^2 + (y-v)^2 + (z-w)^2}.$$

$$(p + e) = \sqrt{(x-u_x)^2 + (y-v_x)^2 + (z-w_x)^2}$$

Sendo quatro os satélites, cujas posições u, v, w são conhecidas e informadas via GPS pelo segmento de controle, podem ser elaboradas quatro equações, com as incógnitas marcadas em negrito:

$$(p_a + e) = \sqrt{(x - u_a)^2 + (y - v_a)^2 + (z - w_a)^2}$$

$$(p_b + e) = \sqrt{(x - u_b)^2 + (y - v_b)^2 + (z - w_b)^2}$$

$$(p_c + e) = \sqrt{(x - u_c)^2 + (y - v_c)^2 + (z - w_c)^2}$$

$$(p_d + e) = \sqrt{(x - u_d)^2 + (y - v_d)^2 + (z - w_d)^2}$$

Note-se que são quatro equações e quatro incógnitas: **e, x, y, z**. Restando, assim, desconhecidos os valores para desvio de cronometragem (**e**: *user clock bias*) e as coordenadas ortogonais de posição da aeronave (**x, y, z**). Uma vez que o número de equações é igual ao número de incógnitas, um sistema de equações pode ser construído e a solução para o problema da posição da aeronave encontrada.

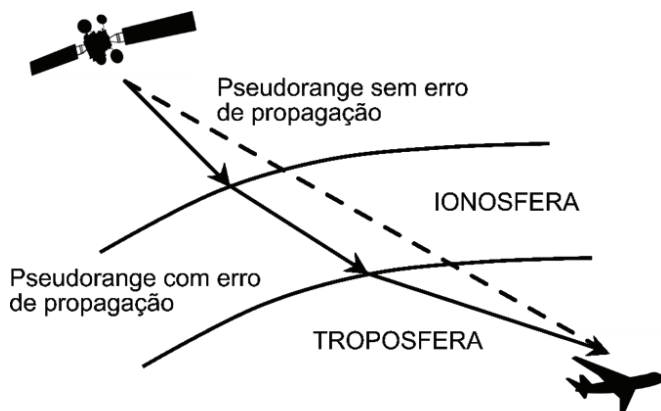
Cabe destacar que, conhecendo-se os valores das coordenadas ortogonais da posição da aeronave, é possível calcular a altitude da aeronave, eis que o raio planetário é conhecido.

O erro de cronometragem é intrínseco ao GNSS: é um erro interno. Existem erros externos, circunstanciais e ambientais que merecem correção. Esses erros e desvios serão estudados agora.

3.3 Erro de propagação

O sinal emitido pelo satélite reduz sua velocidade ao ingressar na atmosfera. Ainda, além da velocidade, a trajetória do sinal varia conforme a camada atmosférica que atravessa, destacadamente a ionosfera (CERUZZI, 2018). Outra circunstância a ser considerada nesse contexto é a posição relativa dos satélites. O sinal de um satélite próximo ao horizonte percorre uma trajetória atmosférica maior que o sinal de um satélite no zênite do receptor (LOGSDON, 1992). Os atrasos serão, portanto, diferentes. Ponto relevante é que frequências diferentes atravessam a atmosfera em velocidades diferentes. Esse é um dos motivos pelos quais um satélite a menos de 5° de elevação do horizonte é excluído do processo de cômputo de posição (SPIKER JUNIOR, 1996).

Figura 2.9 – Erro de propagação



Adaptado de: Groves, 2013.

O **erro de propagação** pelo atraso originado na troposfera é mitigável com a transmissão de dois sinais em frequências diferentes e de atraso conhecido. O erro decorrente das variações de velocidade na ionosfera é corrigível com a transmissão pelo satélite de dados relativos às condições presentes da ionosfera. Esses dados são processados no segmento do usuário para a obtenção de valores corretos.

3.4 Erro de reflexão (*multipath*)

Erro de reflexão, de multicaminho ou de trajetória múltipla, é o fenômeno da recepção de sinal GNSS por meio de mais de uma trajetória devido à reflexão das ondas nas diferentes superfícies no entorno da antena do usuário. A ser refletido por uma montanha, edifício, solo ou corpos de água, o sinal percorre uma distância maior, influenciando o valor da *pseudorange*.

As formas de solução passam pelo ajuste e proteção da posição da antena do receptor e pela adoção de modelos especialmente construídos para a rejeição de sinais refletidos (SOUZA; MONICO; POLEZEL, 2004).

3.5 Erro de efeméride

Efeméride, no contexto GNSS, é a posição esperada de um satélite em sua órbita. O **erro de efeméride** é a diferença entre a posição orbital transmitida pelo satélite e sua posição real. Essa diferença tem origem na variação das forças que atuam sobre o satélite, perturbando sua órbita. Entre os fatores capazes de levar o receptor GNSS a receber uma informação de posição orbital com incorreções, podem ser indicados: vento solar, atração gravitacional do Sol, da Lua e o arrasto aerodinâmico provocado por resíduos atmosféricos na órbita (NPTEL, 2018).

A recepção de sinais com um número maior de satélites é uma forma de eliminar o erro. Outra forma de eliminação será estudada mais adiante, em GNSS diferencial.

3.6 Erros relativísticos

Sem o conhecimento do conceito de espaço-tempo e sem a Teoria da Relatividade o GPS não seria funcional. De fato, tanto a Teoria da Relatividade Especial (ou Restrita) quanto a Teoria da Relatividade Geral não são, para o aviador, temas estranhos ao seu cotidiano.

Entenda o porquê nesta lição de José Natário (NATÁRIO, 2014):

Em finais do século XIX tornou-se claro que a velocidade da luz era especial: cuidadosas experiências desenhadas para detectar variações na velocidade da luz devidas ao movimento anual da Terra em torno do Sol registavam resultados teimosamente nulos. A velocidade da luz parecia ser sempre a mesma, independentemente das velocidades da fonte e do observador. Isto é altamente contra-intuitivo, uma vez que um observador que se mova na mesma direcção que um raio de luz, por exemplo, vê esse raio de luz percorrer uma distância menor num dado intervalo de tempo, e portanto deveria obter uma velocidade

menor. Após um período de grande confusão, Einstein sugeriu, em 1905, uma solução tão simples quanto engenhosa: a única forma de observadores diferentes obterem o mesmo valor para a velocidade da luz seria medirem intervalos de tempo diferentes entre os mesmos acontecimentos. Esta explicação, que veio a ser conhecida como a Teoria da Relatividade Restrita, revelou-se correcta: relógios em movimento (num referencial inercial) atrasam-se em relação a relógios parados.

Mais tarde, ao tentar incorporar a gravitação na sua teoria, Einstein desenvolveu a chamada Teoria da Relatividade Geral, publicada em 1915, na qual concluiu que o ritmo de um relógio depende não só da sua velocidade mas também do local em que este se encontra: relógios colocados em pontos mais baixos de um campo gravitacional atrasam-se em relação a relógios colocados em pontos mais altos.

Ora, o segmento espacial do GPS é composto por relógios muito precisos, altos e velozes. Um típico satélite Navstar se desloca a 14.000 km/h em órbita em torno de 20.000 km de altitude (ASTRONOO, 2013). Aplicando esses valores na equação da **dilatação temporal da Teoria Especial** e sendo:

Δt_{ACFT} = variação de tempo para o observador parado (aeronave no pátio)

Δt_{SAT} = variação de tempo para o observador em movimento (satélite)

v = velocidade do corpo em movimento (satélite a 3.899 m/s)

c = velocidade da luz

Surge, para um dia inteiro no satélite (86.400 segundos):

$$\Delta t_{ACFT} = \frac{\Delta t_{SAT}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\Delta t_{ACFT} = \frac{24 \times 60 \times 60 \text{ s}}{\sqrt{1 - \frac{(3.899 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{(299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}}}$$

$$\Delta t_{ACFT} = 86.400,000007269 \text{ s}$$

Essa diferença de 7 microssegundos é levada em consideração pelo segmento de controle nos ajustes dos relógios atômicos do segmento espacial. Cálculo análogo ocorre no caso da **Relatividade Geral**. Essa é a equação para a dilatação temporal de ordem gravitacional:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_o}{\sqrt{1 - \frac{2MG}{rc^2}}}$$

Para a qual, neste cálculo, far-se-á:

Δt_{CM} = variação de tempo para o observador no centro de massa

Δt_{ACFT} = variação de tempo para aeronave no pátio do aeroporto

Δt_{SAT} = variação de tempo para o satélite

M = Massa planetária terrestre ($5,972 \times 10^{24}$ kg)

G = Constante Gravitacional Universal ($6,6742867 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)

r_{ACFT} = distância do centro de massa até a aeronave (6.371.000m)

r_{SAT} = distância do centro de massa até o satélite (26.371.000m)

c = velocidade da luz

Considerando esses dados, tem-se para o cálculo da dilatação temporal para uma aeronave no solo:

$$\Delta t_{ACFT} = \frac{\Delta t_{CM}}{\sqrt{1 - \frac{2MG}{r_{ACFT}c^2}}}$$

$$\Delta t_{ACFT} = \frac{86.400s}{\sqrt{1 - \frac{2 \times 5,972 \times 10^{24} \text{ kg} \times 6,6742867 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}}{6.371.000 \text{ m} \times (299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}}}$$

$$\Delta t_{ACFT} = \frac{86.400s}{\sqrt{1 - \frac{2 \times 5,972 \times 10^{24} \text{ kg} \times 6,6742867 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}}{6.371.000 \text{ m} \times (299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}}}$$

Note-se que as grandezas no denominador se anulam, restando somente a medida de tempo (segundo) no numerador da equação.

$$\Delta t_{ACFT} = \frac{86.400s}{0,9999999993} = 86.400,00006048 s$$

$$\Delta t_{ACFT} = 86.400,00006048 s$$

Assim, para cada dia no centro de massa planetário (86.400 segundos) se passa um pouco mais na superfície (86.400,00006048 segundos). Já para o satélite, uma variável se modifica no cálculo de dilatação temporal em relação ao centro de massa: o raio r passa a ser a soma do raio planetário (6.371.000 m) com a altitude orbital (20.000.000 m). Vale acompanhar o cálculo:

$$\Delta t_{SAT} = \frac{\Delta t_{CM}}{\sqrt{1 - \frac{2MG}{r_{SAT}c^2}}}$$

$$\Delta t_{SAT} = \frac{86\,400\,s}{\sqrt{1 - \frac{2 \times 5,792 \times 10^{24}\,kg \times 6,6742867 \times 10^{-11}\,m^3kg^{-1}s^{-2}}{26.371.000\,m \times (299.792.458\,\frac{m}{s})^2}}}$$

$$\Delta t_{SAT} = \frac{86\,400\,s}{0,9999999998}$$

$$\Delta t_{SAT} = 86.400,00001728$$

Portanto, cada dia no centro do planeta corresponde a 86.400,00001728 segundos no satélite.

A dilatação temporal gravitacional entre a aeronave e o satélite é dada pela diferença entre Δt_{ACFT} e Δt_{SAT} :

$$\Delta t_{ACFT/SAT} = \Delta t_{ACFT} - \Delta t_{SAT}$$

$$\Delta t_{ACFT/SAT} = 86.400,00006048 s - 86.400,00001728 s$$

$$\Delta t_{ACFT/SAT} = 0,00004320 s$$

Estabelecidos os resultados para as dilatações temporais da Relatividade Especial e Geral, é oportuno fazer a comparação:

- pela velocidade, o relógio **atrasa** no satélite 0,000007269 segundo a cada dia;
- pela gravidade, o relógio **adianta** no satélite 0,00004320 segundo a cada dia.

Desse modo, revela-se uma defasagem de 35,931 microssegundos por dia entre os cronômetros da aeronave e do satélite. A luz percorre 10,7 km nesse período, fato que tornaria inútil o cálculo das *pseudoranges*, não fosse o ajuste dos cronômetros segundo a relatividade especial e geral.

Mesmo com correções relativísticas e outras medidas para sanar defasagens internas e externas ao GNSS, restam circunstâncias imponderáveis a impactar o sistema, tais como variações no vento solar, anomalia magnéticas terrestres, variações de centros gravitacionais, modificações ionosféricas, anomalias geomagnéticas, interferências eletromagnéticas provocadas por transmissores no solo, entre outras, talvez, desconhecidas no momento. Essas variáveis impedem que seja assegurada a exatidão na ordem dos centímetros necessária para procedimentos de precisão. Recursos que aumentam a exatidão do serviço GNSS são designados por sistemas de aumentação.

Seção 4

Sistemas de aumentação GNSS

Os sistemas de aumentação atuam de forma independente do segmento de controle GNSS e, além de aumentar a precisão do GNSS pelo fornecimento de correções para os seus erros inerentes e circunstanciais, são capazes de detectar falhas mais rapidamente que o segmento de controle GNSS. Por vezes, o segmento de controle GNSS pode levar dezenas (WALTER, 2017) de minutos para perceber um problema grave, configurando situação inaceitável em procedimentos de pouso ou regiões de tráfego aéreo intenso.

Os sistemas de aumentação (e, mais importante, de detecção de falhas) são classificados pela ICAO (2005) em sistemas baseados em satélites, em aeronaves e no solo:

- **SBAS** – **S**atellite-**b**ased **A**ugmentation **S**ystem
- **GBAS** – **G**round-**b**ased **A**ugmentation **S**ystem
- **ABAS** – **A**ircraft- **b**ased **A**ugmentation **S**ystem

4.1 SBAS

A locução “segmento de controle” foi reiterada no primeiro parágrafo desta seção, com o qualificador “GNSS” pelo seguinte motivo: o SBAS também funciona com seu próprio segmento espacial e seu específico segmento de controle. GNSS e SBAS comungam, naturalmente, do segmento de usuário.

O **segmento de controle SBAS** é composto por estações de monitoramento do **segmento espacial GNSS** e do próprio **segmento espacial SBAS**. As estações de monitoramento do segmento de controle SBAS, cujas posições geográficas são precisamente determinadas, coletam as informações de posicionamento recebidas dos satélites GNSS e as transmitem para uma estação central. A estação central compara as informações de posicionamento das estações de monitoramento obtidas a partir do GNSS, com aquelas já disponíveis para a detecção de disparidades. As disparidades encontradas são processadas para a geração de mensagens de correção a serem enviadas para os satélites. Isto é, mensagens de aumentação são preparadas. As mensagens de aumentação são enviadas pela estação central para estações de *uplink*, com o objetivo de retransmiti-las para o **segmento espacial SBAS** (BAIERLE, 2018).

O **segmento espacial SBAS** é composto de poucos satélites geoestacionários que efetuam a difusão das mensagens de aumentação para o segmento dos usuários equipados com receptores GNSS/SBAS.

Os usuários GNSS/SBAS contam com as seguintes vantagens:

- alertas, em até seis segundos (STANFORD GPS LAB, 2018), de qualquer inoperância ou deficiência sistêmica capaz de causar erros de navegação;
- aumento na precisão das informações de posicionamento vertical e horizontal (SKYBRARY, 2017);
- procedimentos de pouso independentes de auxílios terrestres com desempenho equivalente a ILS Cat. 1 (SKYBRARY, 2017).

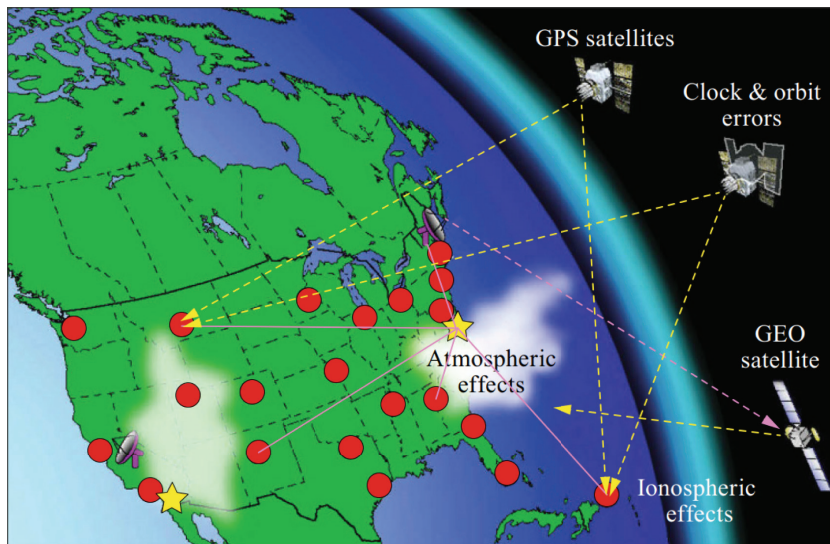
Pode-se afirmar que SBAS é gênero cujas espécies predominam no Hemisfério Norte. A conferir, em lista não exaustiva de Giovanini (2018), uma vez que há SBAS's voltados para, até mesmo, agricultura (NAVIPEDIA, 2014):

- WAAS (*Wide Area Augmentation System*), disponível na América do Norte e nas regiões oceânicas circunvizinhas, é operado pelo departamento de Defesa dos E.U.A.;
- EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), serve os usuários GNSS/SBAS na Europa e parte do Atlântico Norte, é serviço provido pela Agência Espacial Europeia;

- SDCM, Система Дифференциальной Коррекции и Мониторинга – СДКМ (FEDERAÇÃO RUSSA. SDMC. ROSCOSMOS, 2018), caso o leitor não esteja com o russo atualizado, significa Sistema de Monitoramento e Correção Diferencial. Com pretensão de cobertura global, tem estações de monitoramento na Eurásia, na Antártica e na América do Sul (Brasília);
- MSAS (*Multi-Functional Satellite Augmentation System*) é operado pelo Japão.
- GAGAN (*GPS and GEO Augmented Navigation*), Índia.

A Figura 2.10 representa graficamente a estrutura WAAS. Círculos vermelhos para as estações de monitoramento e estrelas amarelas para as estações centrais.

Figura 2.10 – Estrutura WAAS



Fonte: Walter, 2017.

Os serviços SBAS devem, conforme orientações do Escritório para Assuntos do Espaço Exterior das Nações Unidas, por meio do Comitê Internacional para GNSS, favorecer o intercâmbio de informações e a interoperacionalidade de seus recursos, de tal sorte que um usuário GNSS/SBAS possa usufruir, com um só receptor de sinais de posicionamento, dos serviços prestados por todas as agências (NAVIPEDIA, 2019).

4.2 GBAS

O GBAS (*Ground Based Augmentation System*) funciona com NAVAIDs instalados no solo. Esses auxílios, de posição geográfica precisa e conhecida, são constituídos de receptores GNSS instalados no aeródromo. Funcionam a partir do assertiva de que, se a aeronave estiver próxima do aeródromo, as circunstâncias que reduzem a precisão da informação de posicionamento serão as mesmas, tanto para o receptor GNSS de bordo quanto para os receptores instalados nas cercanias das pistas. Logo, a diferença entre a posição previamente conhecida da antena GNSS no solo e aquela posição obtida a partir dos sinais dos satélites será quase a mesma diferença entre a posição real da aeronave e aquela que o sistema de navegação por satélite de bordo indica ao piloto (FARNWORTH, 2017).

Transmissores GBAS alimentam os sistemas de navegação de bordo na mesma frequência do localizador ILS (108-118 MHz). Nessa frequência, transmitem dados de correção diferencial, margens de erro e, importante sublinhar, guias de aproximação de precisão (STANFORD GPS LAB, 2019), que são visualizadas pelo piloto em mostradores no estilo ILS. Diferentemente do que ocorre com ILS e MSL, **um só NAVAID GBAS** pode atender múltiplas cabeceiras e até mesmo mais de um aeródromo, se houver proximidade suficiente. Tal situação, ainda que vantajosa, não seria operacionalmente prudente, eis que a redundância de equipamentos é de natureza principiológica.

Durante missões nos territórios dos E.U.A., o piloto poderá ainda encontrar documentação da FAA fazendo referência a GBAS pela locução LAAS - *Local Area Augmentation System* (GROVES, 2013).

4.3 ABAS

Aircraft-based Augmentation Systems foram criados com o objetivo de melhorar a integridade e a precisão das informações obtidas pelo GNSS, a partir de dispositivos de bordo. Uma das modalidades de ABAS passa pela integração dos receptores e processadores de dados GNSS, com relógios de bordo mais precisos (e mais caros), sistemas altimétricos variados e, principalmente, outras plataformas de navegação (inercial, por exemplo), para cheque cruzado das informações de posicionamento. Essa modalidade ABAS recebeu a designação ICAO de *Aircraft Autonomous Integrity Monitoring* (**AAIM**) (ICAO, 2005).

Uma segunda modalidade faz uso um algoritmo para detectar incongruências nas informações de posicionamento oriundas de grupos de satélites em linha de visada. Com cinco satélites espaçados com geometria favorável, isto é, guardando em torno de 90° de distância angular, medida a partir do receptor GNSS, é possível detectar se há incorreção na *pseudorange* de um dos satélites e um alerta possa ser emitido para o piloto. Com seis satélites, é possível identificar o satélite incongruente e excluí-lo

do cálculo de posição, garantindo a integridade da informação de posicionamento (HEGARTY; FOLEY; KALYANARAMAN, 2015). Essa ferramenta SBAS é designada por *Receiver Autonomous Integrity Monitoring* (**RAIM**).

Como se estudou até aqui, há variedade de recursos de navegação. Diante da variedade, escolhas devem geralmente ser feitas, porquanto não se pode ter tudo na vida ou a bordo.

4.4 Adequação às necessidades do usuário

Para fins de tratamento das escolhas a fazer diante da variados sistemas de navegação, o usuário deve ser, por ora, entendido como piloto, controlador/gerente de tráfego aéreo, órgão prestador de serviço de navegação aérea (ANSP) e operador da aeronave, quer esse último seja estatal ou privado. As características dos sistemas de navegação que devem ser avaliadas ou consideradas pelos usuários são as que seguem (KAYTON, 2015):

- Custos: os usuários devem levar em conta os gastos com treinamento de pessoal, aquisição, construção e manutenção dos insumos necessários para cada tipo de sistema ou dispositivo de navegação. Instalação de NAVAID, lançamento ou aluguel de recursos de satélites e aquisição de *hardware* e *software* para sistemas de bordo são, entre outros, fatores relevantes para consideração por parte dos usuários.
- Precisão (*accuracy*): na medição de velocidade e posição, há uma margem de erro típica para cada sistema de navegação. O usuário deve descobrir qual a margem de erro tolerável em face de suas escolhas e necessidades.
- Latência (*latency*): semelhantemente à precisão, o atraso no cálculo da velocidade e posição é diferente em cada sistema de navegação e deve ser levado em consideração.
- Cobertura Geográfica: alguns sistemas operam localmente e outros oferecem cobertura global ou regional.
- Grau de complexidade da operação: quando elevado, requer treinamento mais custoso e elaborado dos envolvidos e consome mais tempo na operação.

O GPS é operado pelo ramo militar do governo estadunidense, o qual, diante de circunstância geopolíticas, tem a faculdade de modificar os parâmetros de precisão e cobertura geográfica. Assim, ainda que oferecido ao mundo sem custos e às expensas do pagador de impostos daquela nação, outros governos

interessados nos benefícios da navegação GNSS passaram a conceber e construir seus próprios sucedâneos para o GPS.

4.5 GLONASS

O sistema GLONASS tem estações de monitoramento concentradas no território da Federação Russa e de algumas repúblicas vizinhas antigamente pertencentes à União Soviética, circunstância que reduz a precisão das *pseudoranges* (PETROVSKI, 2014). O sistema é composto de 24 satélites, três em *standby*, dispostos em três planos orbitais inclinados (ESA, 2018) na altitude de média de 19.000 km.

4.6 Galileo

Projetado com 30 satélites, esse sistema GNSS é operado pela *European Global Navigation Satellite Systems Agency* (ESA, 2018). Os satélites são distribuídos em três planos orbitais, altitude de 23.200 km e inclinação de 56° com o plano equatorial terrestre. Iniciou as operações no fim de 2016 (ESA, 2019). Tratando-se de sistema desenvolvido décadas depois do GPS e GLONASS, conta com desenvolvimentos tecnológicos mais avançados e flexíveis que podem resultar em vantagens futuras para o usuário.

4.7 Compass - BDS (Beidou)

O sistema chinês tem arquitetura diferenciada no segmento espacial, com previsão de cinco satélites em órbita geoestacionária, 27 em órbita de altitude mediana e três em órbita geossíncrona inclinada (ESA, 2018). Se um satélite em órbita geoestacionária pudesse ser visto por um observador na superfície do planeta, seria visto como um objeto parado em um ponto da abóboda celeste. Já um satélite em órbita geossíncrona, levemente inclinada, descreveria uma trajetória semelhante ao número oito em uma pequena região do céu (KELSO, 2018).

4.8 IRNSS

O *Indian Regional Navigation Satellite System* também possui uma arquitetura adequada a um sistema de navegação regional, no que se refere ao segmento espacial. Três satélites em órbita geoestacionária: um sobre o leste da África (Lago Vitória), outro sobre uma posição ao sul do Sri Lanka e um terceiro sobre Papua Ocidental. Outros quatro satélites percorrem órbitas geossíncronas inclinadas, descrevendo um par de oitos orientados na direção norte-sul e posicionados a leste e oeste da Índia (INDIA, 2019).

Os sistemas de navegação estudados ensejaram a transição da navegação voltada para a busca de NAVAIDs em distância útil para uma nova forma de navegação centrada no desempenho.

Seção 5

PBN (*Performance Based Navigation*)

Conceito PBN

A Navegação Baseada em Desempenho, a partir deste ponto designada por PBN, é uma modalidade diferenciada de navegação área, que requer que **exigências de desempenho** (*required performances*) sejam atendidas conforme o previsto para determinados espaços aéreos, rotas ou procedimentos (ICAO, 2013). Para facilitar a leitura, a locução “espaços aéreos, rotas ou procedimentos” passa a ser designada pela sigla **EARP**.

As exigências de desempenho se referem à **precisão, integridade, disponibilidade e continuidade** necessárias para operação em determinado espaço aéreo, rota ou procedimento (EARP). O sentido dos termos nucleares deve ser explanado devidamente no contexto PBN.

Precisão (*accuracy*)

É a medida adequada de rigor (ESA, 2018) nas informações de posicionamento e orientação exigidas para navegação em determinado EARP. O grau de rigor exigido na navegação baseada em performance tem sido obtido por meio de GNSS e, a depender das especificidades de navegação requerida, alguma forma de aumento pode se fazer necessária.

Integridade (*integrity*)

No contexto PBN, integridade é a medida de confiança atribuída à informação fornecida por um sistema de posicionamento e orientação. São fatores, entre outros, que afetam a medida de confiança, a integridade da informação:

- Limite para Alerta (*Alert Limit*, *AL*) – erro tolerado que provoca emissão de alerta quando ultrapassado. Cada EARP tem seu AL.
- Risco de integridade – probabilidade de o limite de alerta ser excedido (ESA, 2018).

Disponibilidade (*availability*)

Percentual, proporção de tempo durante o qual informação de posicionamento e orientação confiável é fornecida para a tripulação, piloto automático ou outros sistemas gerenciadores do voo (CAE OXFORD AVIATION ACADEMY (U.k.), 2014).

Continuidade (*continuity*)

É a capacidade do sistema de navegação de prover informações de posicionamento e orientação sem interrupção – com suficiente integridade e precisão – uma vez iniciada uma operação específica (HONEYWELL AEROSPACE (U.S.A), 2016). A continuidade é de importância crítica durante procedimentos de pouso por instrumentos ou em espaços aéreos congestionados. Naqueles, erros de continuidade podem levar a colisões contra o terreno e, nestes, a colisões entre aeronaves.

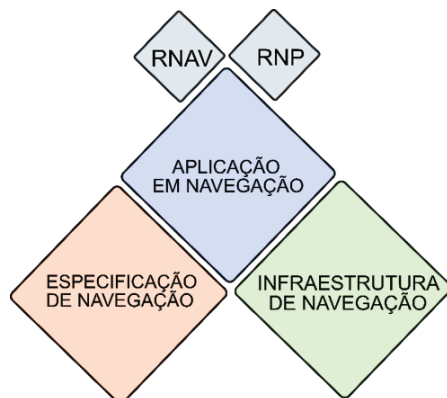
5.1 PBN: composição e resultado

A navegação baseada em performance é constituída de três componentes (EUROCONTROL, 2019):

- Especificações de navegação – conjunto de exigências voltadas para aeronave e tripulação com o objetivo de orientação e posicionamento em determinado EARP;
- Infraestrutura de navegação – conjunto de NAVAIDs (no solo ou em órbita);
- Aplicação em navegação – emprego dos componentes anteriores para aquisição de uma solução de navegação adequada a EARP específico.

A solução de navegação obtida será navegação de área GNSS (**RNAV/GNSS**) ou navegação de desempenho requerido (**RNP – Required Navigation Performance**).

Figura 2.11 – RNAV+RNP



Adaptado de: Oliveira, 2017.

Atualmente, é razoável ressignificar RNAV para o exercício da profissão. No cotidiano, RNAV significa um dos dois tipos de navegação baseada em desempenho. Assim, pode-se afirmar que PBN se divide em especificação RNAV e especificação RNP, estudadas mais profundamente em seguida.

5.2 Aplicações para aproximação (*approach applications*)

Approach applications são ferramentas RNP que permitem o alcance de parâmetros meteorológicos específicos e descritos em cartas de procedimentos de pouso. A autoridade britânica de aviação civil oferece uma síntese bastante adequada das aplicações para aproximação (U.K. CAA. U.K, 2014):

- **Aplicação de Navegação Lateral (LNAV)** Procedimento de não precisão ou aproximação 2D com guia lateral provido por GNSS/ABAS. RAIM é o mais usual.
- **Aplicação com desempenho de localizador (LP – *Localiser Performance*)** Procedimento de não precisão (2D) com guia lateral provido por GNSS/SBAS. WAAS é o SBAS estadunidense. Sem guia vertical, vale frisar. Diz-se desempenho de localizador porque o mostrador de guia lateral aumenta a precisão na medida em que a aeronave se aproxima da cabeceira da pista, como ocorre em uma aproximação ILS.
- **Aplicação de Navegação Lateral/Vertical (LNAV/VNAV)** Procedimento 3D com guia lateral e vertical. Guia lateral provido por GNSS/ABAS, guia vertical provido por altímetro barométrico.
- **Aplicação com desempenho de localizador com guia vertical (LPV).** Guia lateral e vertical provido por GNSS/SBAS.

5.3 PBN: RNAV e RNP

A primeira diferença a acentuar entre as especificações RNAV e RNP pode ser assim clarificada (EUROCONTROL, 2019):

- **RNAV – sem exigência** de dispositivo de bordo para monitoramento e alerta de variações no desempenho de prover informações sobre posicionamento;
- **RNP – é exigido** um dispositivo de bordo para monitoramento e alerta de variações no desempenho de prover informações sobre posicionamento.

Há mais subespécies de RNP do que de RNAV. As subespécies, a partir deste ponto, designações, recebem qualificadores que podem ser um número, uma letra ou uma palavra para as distinguir. O número indica a quantidade de milhas náuticas que a aeronave, eventualmente, poderá se distanciar lateralmente da trajetória planejada em um EARP. Essa precisão (*accuracy*) não é absoluta (BRASIL, 2011) e se refere a 95% do tempo de permanência da aeronave no EARP. Sinteticamente, as designações PBN podem assim ser descritas, a partir do Doc. 9613, *Performance-based Navigation (PBN) Manual* (ICAO, 2013):

5.3.1 PBN RNAV 10

- Aplicável em rotas oceânicas ou vastas regiões continentais agrestes ou remotas;
- **Sem** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta;
- Desvio lateral limitado a 10 NM em 95% do tempo;
- Separação lateral e longitudinal de 50 NM;
- Duplo sistema de navegação de longa distância (inerciais ou GNSS);

5.3.2 PBN RNP 4

- Aplicável em rotas oceânicas ou vastas regiões continentais agrestes ou remotas;
- **Com** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta;
- Desvio lateral limitado a 4 NM em 95% do tempo;
- Separação lateral e longitudinal de 30 NM;
- Duplo sistema de navegação de longa distância (deve dispor de GNSS);

5.3.3 PBN RNAV 5

- Rotas e aproximações;
- **Sem** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta;
- Desvio lateral limitado a 5 NM em 95% do tempo;
- Separação conforme determinado pela autoridade aeronáutica local;
- VOR/DME, DME/DME, inercial ou GNSS;

5.3.4 PBN RNAV 2

- Rotas continentais, chegadas e saídas;
- **Sem** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta;
- Desvio lateral limitado a 2 NM em 95% do tempo;
- Separação conforme determinado pela autoridade aeronáutica local;
- Navegação VOR/DME, DME/DME, inercial ou GNSS;
- O voo de SID ou STAR só pode ser realizado se o procedimento estiver previamente contido em base de dados do sistema de navegação.
- SID ou STAR previamente contidas na base de dados podem ser modificadas pela exclusão ou inclusão de *waypoints*.
- A entrada manual de procedimentos (SID ou STAR) não é autorizada em RNAV 2.

5.3.5 PBN RNP 2

- Aplicável em rotas oceânicas, continentais e EARP considerados remotos;
- **Com** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta;
- Desvio lateral limitado a 2 NM em 95% do tempo;
- Navegação GNSS;
- O voo de SID ou STAR só pode ser realizado se o procedimento estiver previamente contido em base de dados do sistema de navegação.
- SID ou STAR previamente contidas na base de dados podem ser modificadas pela exclusão ou inclusão de *waypoints*.
- A entrada manual de procedimentos não é autorizada em RNP 2.

5.3.6 PBN RNAV 1

- Aplicável chegadas e saídas;
- **Sem** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta;
- Desvio lateral limitado a 1 NM em 95% do tempo;
- Navegação VOR/DME, DME/DME, inercial ou GNSS;

- O voo de SID ou STAR só pode ser realizado se o procedimento estiver previamente contido em base de dados do sistema de navegação.
- SID ou STAR previamente contidas na base de dados podem ser modificadas pela exclusão ou inclusão de *waypoints*.
- A entrada manual de procedimentos não é autorizada em RNAV 1.

5.3.7 PBN RNP 1

- Aplicável chegadas e saídas.
- **Com** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta;
- Desvio lateral limitado a 1 NM em 95% do tempo;
- Navegação GNSS;
- O voo de SID ou STAR só pode ser realizado se o procedimento estiver previamente contido em base de dados do sistema de navegação.
- SID ou STAR previamente contidas na base de dados podem ser modificadas pela exclusão ou inclusão de *waypoints*.
- A entrada manual de procedimentos não é autorizada em RNP 1.

5.3.8 PBN RNP APCH

- Aplicável chegadas e saídas;
- **Com** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta;
- Desvio lateral variável de acordo com a fase do procedimento: segmento inicial, intermediário, final ou de aproximação perdida;
- LNAV: GNSS
- LNAV/VNAV: GNSS + altimetria barométrica
- LP ou LPV: GNSS/SBAS
- O voo de SID ou STAR só pode ser realizado se o procedimento estiver previamente contido em base de dados do sistema de navegação.

5.3.9 PBN RNP AR (*Authorisation Required*)

- Somente aproximação;
- **Com** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta;
- Desvio lateral abaixo do previsto para o procedimento por 95% do tempo;
- Navegação GNSS + altimetria barométrica

5.3.10 PBN RNP 0.3

- Qualquer EARP, exceto rotas oceânicas, remotas e segmento de aproximação final;
- **Com** sistema de monitoramento de desempenho e de alerta (RAIM ou SBAS);
- Desvio lateral de 0,3 NM por 95% do tempo;
- Navegação GNSS;
- Voltado para asas rotativas.

Como se constata nesse estudo, a navegação não PBN é centrada em sensoriamento de NAVAID, ao passo que a navegação PBN valoriza o desempenho. Na navegação convencional, não PBN, a monitoração do desempenho do sistema e a emissão de alertas de redução de eficiência não são relevantes. Por seu turno, monitoração e alerta são essenciais para o PBN RNP.

Há quem sustente que a navegação anterior à PBN lidava com a leituras de dados não tratados e que a PBN lida com leituras de informações tratadas por computação digital (ICAO, 2013). Parece razoável discordar, uma vez que a RNAV dos anos 60 funcionava com processadores de dados. Ainda que com capacidade incomparavelmente menor que um telefone celular, eram computadores em essência.

A precisão dos dados de posicionamento GNSS e a comunicação por *data link* podem ser conjugados em uma forma diferenciada e, em muitos aspectos, superior de vigilância ATS, em seguida, objeto de mais estudo.

Atividades de autoavaliação

1. Erro de efeméride relaciona-se com:

- a) () Posição orbital
- b) () Ionosfera
- c) () Velocidade da aeronave
- d) () Reflexão de ondas

2. Erro de multicaminho guarda ligação com:

- a) () Condições ionosféricas
- b) () Distância do centro de massa planetário
- c) () Montanhas e prédios
- d) () Relatividade Especial

3. Identifique uma aproximação 2D:

- a) () ILS
- b) () LPV
- c) () LNAV
- d) () LNAV/VNAV
- e) () RNP 0.3

4. Qual dos recursos abaixo é necessário para aproximação LNAV/VNAV?

- a) () SBAS
- b) () GNSS
- c) () VOR
- d) () DME/DME

5) Qual dos recursos abaixo é relevante para RNAV?

e) () ILS

f) () GNSS

g) () RADAR

h) () ADF

Capítulo 3

Vigilância

GNSS é categoria da Ciência Aeronáutica que remete, de plano, à navegação aérea. Sem embargo, os sistemas de navegação baseados em satélites têm ligação estreita com as novas formas de vigilância. O mesmo ocorre com a comunicação aeronáutica por enlace de dados. GNSS e data link convergem para dar forma à vigilância sem radar, ou vigilância automática dependente (*Automatic Dependent Surveillance* – ADS).

Seção 1

Automatic Dependent Surveillance – ADS

A vigilância automática dependente é tecnologia voltada para transmissão contínua de informações da aeronave para estações de tráfego aéreo e outras aeronaves que evoluem no mesmo espaço aéreo circunvizinho. As informações transmitidas são relativas, mormente, a posicionamento e progressão de tráfego.

Trata-se de **vigilância** (*surveillance*) porque proporciona ao ATC indicador plano de posição das aeronaves que circulam no espaço aéreo sob sua responsabilidade. Indicador plano de posição é dispositivo semelhante a uma tela de vigilância radar (FRENZEL JUNIOR, 2016). É **automática** na medida em que as transmissões de posicionamento e identificação são irradiadas sem necessária interrogação eletrônica por parte do ATS ou de outras aeronaves. Diz-se **dependente** (VISMARI, 2007), porquanto o ATC/ATM não pode, como ocorre com a vigilância por radar, vigiar o espaço aéreo sem a participação ativa da aeronave e do GNSS.

Os primeiros estudos sobre ADS remontam ao Comitê FANS da ICAO de 1983. GPS e sua contraparte soviética foram alguns dos meios de navegação levados em conta. À época, OMEGA, navegação inercial, VOR, DME e LORAN

foram seriamente considerados (HEGARTY; FOLEY; KALYANARAMAN, 2015). Os estudos iniciados no Comitê FANS levaram a duas modalidades ADS que se distinguem pela forma de transmissão e pelos receptores da mensagem e, todavia, assemelham-se na tecnologia de navegação escolhida, o GNSS.

Seção 2

ADS-A/ADS-C

ADS-A (A de *addressed*, locução em desuso) mais conhecida por ADS-C (C de *contract*) merece considerações quanto ao sentido das palavras. *Addressed*, ou endereçada, pois o aviônico na aeronave envia a mensagem ADS para um receptor específico. Já a semântica de contrato em ADS-C não guarda relação com o direito civil ou internacional, mas com aspectos da informática e telemática. De fato, o contrato no ADS-C ocorre entre computadores: um na aeronave e outro no órgão prestador de serviços de navegação aérea (PSNA). Interessante saber como isso acontece:

Uma solicitação de *logon* é apresentada pelo piloto ao órgão ATC, normalmente via satélite. Ao processar a solicitação, o ATC escolhe o tipo de contrato mais adequado dentre três modalidades (SKYBRARY, 2017): **contrato periódico**, **contrato de evento** e **contrato por demanda**.

2.1 Contrato ADS periódico

O contrato periódico contém determina, a partir de uma escolha do ATC, o intervalo de tempo entre uma mensagem (*downlink*) ADS-C e outra a ser enviada pela aeronave. A mensagem básica ADS-C reporta **latitude**, **longitude**, **atitude**, **hora da transmissão** e informa o grau de precisão da navegação. Esse grau de precisão é designado por **figura de mérito (Figure of Merit – FOM)** e é descrito por um valor inteiro de zero a sete. O menor valor (0) indica a perda completa das capacidades navegacionais e o maior valor (7) aponta que o sistema de navegação apresenta a precisão de GNSS com aumentação.

Proveitoso conhecer o sentido e o alcance dos graus intermédios da FOM no Quadro 3.1:

Quadro 3.1 – Valores de FOM

FOM	Precisão da posição	Observações
0	Perda completa das capacidades navegacionais	A incapacidade de determinar a posição dentro de 30 milhas náuticas é considerada perda total de navegação. Inclui a incapacidade de associar um tempo válido com a posição.
1	< 30 nm	Consistente com a navegação inercial em voo longo sem atualizações.
2	< 15 nm	Consistente com a navegação inercial em voo de distância intermediária sem atualizações.
3	< 8 nm	Consistente com a navegação inercial em voo de distância curta e além de 50 milhas náuticas do VOR.
4	< 4 nm	Consistente a precisão VOR de 50 milhas náuticas ou menos e com GPS.
5	< 1 nm	Consistente com aplicações RHO-RHO de DME de solo, RNAV usando múltiplas atualizações de posição DME ou GPS.
6	< 0.25 nm	Consistente com RNAV usando GPS.
7	< 0.05 nm	Consistente com precisões GPS aumentadas.

Fonte: Brasil, 2017.

O ATC pode programar o contrato de grupos de informações adicionais de conteúdo disciplinado no Doc. 4444 PANS-ATM (ICAO, 2016):

- vetor de solo, informando rumo, *ground speed*, razão de subida/descida;
- vetor de voo, reportando proa, Mach/IAS, razão de subida/descida;
- intenção de voo, incluindo próximo *waypoint* com altitude e hora estimada;
- informe meteorológico de vento, temperatura, turbulência e humidade;
- intenção de voo imediata com indicação de *waypoint* inserido pelo piloto.

Os intervalos de tempo entre mensagens ADS-C periódicas variam efetivamente entre 64 segundos e aproximadamente 68 minutos. Caso o controlador não especifique a periodicidade, um contrato de 304 segundos será estabelecido (BRASIL. DECEA, 2017). Não é de todo óbvio e sem serventia salientar que os custos da comunicação serão proporcionais à periodicidade escolhida.

2.2 Contrato ADS de evento

O contrato por (ocorrência de) evento(s) programa o envio de uma mensagem *downlink* para notificar o ATC de uma alteração na razão de subida ou de descida, desvio lateral, vertical ou ainda outros acontecimentos (CLAY LACY AVIATION, 2015). Os downlinks em contratos de evento permitem a atualização do *display* do órgão ATC (tela que mimetiza visualização radar), favorecendo a consciência situacional do controlador.

O Doc 10.037 – *Global Operational Data Link (GOLD) Manual* prevê que um órgão ATC pode estabelecer somente um contrato de evento por aeronave. Não obstante, esse contrato pode fazer referência a mais de um evento. Frutífera é a comparação dos eventos previstos no GOLD (ICAO, 2016) com a nomenclatura pátria adotada pela autoridade de tráfego aéreo brasileira (BRASIL. DECEA, 2017):

Quadro 3.2 – Eventos ADS-C

<i>Waypoint Change Event</i>	WCE	Evento de mudança de <i>waypoint</i>
<i>Level Range Deviation Event</i>	LRDE	Evento de desvio de faixa de altitude
<i>Lateral Deviation Event</i>	LDE	Evento de desvio lateral
<i>Vertical Rate Change Event</i>	VRE	Evento de mudança de razão vertical

Fonte: Elaboração do autor (2019).

Quando um reporte ADS-C, um *downlink*, não é recebido dentro do prazo esperado, especialmente quando se tratar de mudança de *waypoint* ou contrato periódico, o controlador deve estabelecer um contrato por demanda (do ATC) e, caso não haja resposta, solicitar reporte de posição por canal de voz ou CPDLC (BRASIL. DECEA, 2017). Trata-se de medida prudente, eis que a aeronave pode estar em situação adversa ou com uma pane ADS.

2.3 Contrato ADS por demanda

Modalidade de contrato imediato, é iniciado pelo controlador e tem o objetivo de atualizar informações de posicionamento pela geração de um único reporte *downlink*, cujo conteúdo é o da mensagem básica ADS-C. O contrato por demanda não

suspende ou anula contratos previamente estabelecidos (ICAO, 2016). Trata-se de recurso muito útil no monitoramento de aeronaves que cruzam níveis de voo em rotas oceânicas (ICAO, 2013). Visto que o *display* do órgão ATC somente é atualizado ao fim do tempo previsto, em contrato periódico ou no acontecimento esperado no contrato de evento, o controlador pode revelar a separação vertical, lateral e longitudinal entre duas ou mais aeronaves, mediante solicitações quase simultâneas endereçadas às aeronaves por via de contratos por demanda. As interações *uplink/downlink* estudadas até aqui são iniciadas pelo controlador e, no mais das vezes, por ele encerradas. Mas existe um tipo de mensagem ADS-C iniciada exclusivamente pelo piloto: o reporte ADS-C de emergência.

2.4 Reporte ADS-C de emergência

O reporte ADS-C de emergência é periódico (64 segundos, ICAO, 2016) e pode ser disparado manual, indireta ou simuladamente para teste de equipamento. O acionamento de código transponder da família 7500/7600/7700 é forma indireta de emissão de reporte ADS-C de emergência.

2.5 Falha de enlace ADS-C

Naquilo que atine à falha de enlace ADS-C, a norma matriz para as autoridades de tráfego aéreo dos países membros da ICAO é o Doc. 4444. A diretriz inicia o tema alertando que não deve ser esperado que o piloto tome conhecimento de falha de enlace ADS-C por intermédio de algum dispositivo de monitoramento embarcado, e prossegue abordando tópicos de relevo (ICAO, 2016):

2.5.1 Falha ADS-C na aeronave detectada pelo ATC

Caso no qual o controlador deve:

- alertar o piloto da pane;
- solicitar novas notificações via canal de voz ou CPDLC;
- considerar a necessidade de outros protocolos de separação.

O documento prevê que os órgãos ATC envolvidos enviem esforços para a condução de aeronave em falha ADS-C até o aeródromo de destino ou consoante o plano de voo, mesmo que espaços aéreos nos quais o emprego de ADS-C é obrigatório estejam envolvidos. Sem embargo, o Doc. 4444 admite a eventual necessidade circunstancial do retorno da aeronave ao aeródromo de origem ou o pouso em outro aeródromo adequado nos casos nos quais o quadro de tráfego aéreo presente assim exigir, por segurança.

2.5.2 Desligamento ADS-C planejado pelo PSNA

Espera-se, nesse caso:

- emissão prévia de NOTAM;
- ativação de protocolos para CPDLC;
- ativação de protocolos específicos de separação não ADS-C, se for o caso.

2.5.3 Falha ADS-C nas instalações do PSNA

Diante desse quadro, o controlador deve:

- alertar as aeronaves da necessidade do reporte de posição via CPDLC ou canal de voz;
- considerar a possibilidade de modificar os critérios de separação;
- informar os órgãos de controle de tráfego aéreo responsáveis pelos espaços aéreos adjacentes da inoperância ocorrida;
- emitir NOTAM quando cabível.

2.6 Separação no contexto ADS-C

Ao disciplinar a separação de tráfego em espaços aéreos ADS-C, novamente o Doc. 4444 inicia a abordagem do tema com um alerta: a precisão da informação de posicionamento mostrada no indicador plano (tela) do controlador depende de condições alheias ao ATC (ICAO, 2016). São exemplos dessas condições, em lista não exaustiva:

- deficiências do sistema de navegação embarcado;
- deficiências na rede GNSS empregada;
- falhas no segmento de controle GNSS;
- cintilações ionosféricas.

Note-se que o desempenho da ADS-C é superior aos métodos tradicionais de vigilância no que remete ao alcance e clareza do reporte de posicionamento, todavia, deixa a desejar em termos de latência (atraso da informação), a ponto de o Doc. 4444 vedar a vetoração por ADS-C e anunciar que vetoração ADS-C poderá vir a ser possível no futuro, quando o desempenho dos sistemas ADS-C alcançar níveis comparáveis aos do RADAR e da comunicação em VHF (ICAO, 2016).

2.7 Separação ADS-C para cruzamento de níveis de voo

A recomendação da ICAO incorporada ao direito administrativo aeronáutico brasileiro (ICA 100-37) para o cruzamento de níveis em espaço ADS-C é dirigida às aeronaves em mesma rota. Assim, para que ocorra regular cruzamento de níveis de voo em espaço ADS-C, é necessário que reportes de posicionamento por demanda quase simultâneos sejam realizados e que a precisão seja de ao menos 0,25 NM e ainda:

- separação mínima de 15 MN se a aeronave na vanguarda (precedente) for mais veloz ou estiver na mesma velocidade que a aeronave que a segue (seguinte);
- separação mínima de 25 MN quando a aeronave seguinte for até 10 kt mais veloz que a aeronave na vanguarda;
- a diferença de altitude entre aeronave precedente e seguinte não deve ser superior a 2.000 pés;
- o piloto que cruza o nível de voo seja informado da hora na qual a separação vertical deva ser reestabelecida. Essa hora não deve ser posterior a 15 minutos do reporte de posicionamento por demanda realizado;
- Contato CPDLC permanente.

Mais comumente, a ADS-C se manifesta como aplicação sobre ACARS e, justamente por isso, importa sublinhar sua distinção do *old plain* ACARS, o qual também pode ser usado para transmissão de reportes de posição, inclusive a pedido do ATC, mas que se trata de ferramenta completamente diferente. Há outra modalidade de vigilância dependente automática, essa semelhante somente no nome, que independe do ACARS e usa um recurso ainda mais tradicional: a ADS-B, que guarda estrita relação com *transponder* ModoS.

Seção 3

SSR

Antes de se abordar o tema ADS-B, uma breve recapitulação da tecnologia de vigilância via radar secundário deve ter lugar, sobretudo porquanto as tecnologias comungam das mesmas frequências.

O radar secundário, quer esteja acoplado ao radar primário ou não, irradia pulsos de interrogação em 1.030 MHz e recebe respostas em 1.090 MHz. Aeronaves

equipadas com *transponder* – radiotransmissor e receptor capaz de transmitir sinal com resposta adequada à interrogação recebida – podem ser identificadas pelo ATC e podem ativar alertas de sistemas anticolisão embarcados (ACAS/TCAS) de outras aeronaves. Viaturas operando em aeródromos também podem dispor de *transponders*.

3.1 Modo de operação de *transponder* SSR

Usualmente, aeronaves civis operam transponders nos seguintes modos:

- Modo A (modo alfa) – transmissão de identificação via código de quatro algarismos limitados de 0 a 7 (octal). São possíveis 4.096 códigos (MELLO, 2014);
- Modo C (modo Charlie) – código *transponder* de 4 algarismos e altitude em intervalos de 100 pés são transmitidos pela aeronave e capturados pela antena do radar secundário (SKYBRARY, 2018);
- Modo S ELS (Elementary Surveillance) – transmissão de identificação da aeronave (mais de 16 milhões de códigos disponíveis); altitude em intervalos de 25 pés; reporte de capacidade do *transponder* (permite ao PSNA detectar a capacidade de enlace de dados do *transponder*); informe sobre a aeronave estar em voo ou no solo (EUROCONTROL, 2019) e um código adicional que permite que somente a aeronave especificamente interrogada responda (INDIA. OFFICE OF DIRECTOR GENERAL OF CIVIL AVIATION, 2015).
- Modo S EHS (Enhanced Surveillance) – funcionalidades do modo ELS acrescidas de nível de voo programado no FMS; parâmetros de trajetória que permitem aos computadores do PSNA melhorar a capacidade de detecção e de previsão de trajetória de voo pelo sistema ATC; velocidade relativa ao solo; rumo magnético; velocidade indicada; razão de descida/subida; reportes TCAS (avisos de resolução) (SKYBRARY, 2018).

O Modo S pode ser aperfeiçoado para transmitir pacotes de dados aumentados de forma a operacionalizar vigilância dependente automática para aeronaves, em linha de visada e para o ATC.

Seção 4

ADS-B

A ICAO define ADS-B (B para *broadcast*, radiodifusão) como meio pelo qual aeronaves, viaturas e outros recursos podem transmitir e receber dados, principalmente identificação e posição, via enlace de dados por radiodifusão (ICAO, 2016).

O leitor pode, com justiça, lembrar que a ADS-C também funciona por radiodifusão. Diante dessa evidência, a primeira distinção a salientar é que a ADS-C é endereçada, dirigida, a um órgão ATC específico, é ponto a ponto. Por seu lado, a ADS-B não é endereçada. É ponto a multiponto, de um ator para toda a comunidade de interessados do espaço aéreo. Interessados, não somente usuários propriamente ditos, pois há empresas (FLIGHTRADAR24 (U.S.A.), 2019) que, fazendo uso de ADS-B, divulgam na internet, em tempo quase real, informações de posicionamento, origem, destino e outros dados de aeronaves. Importante saber como essa arquitetura aberta funciona.

4.1 Arquitetura ADS-B

Essa modalidade de vigilância combina satélites, transmissores e receptores, esses, tanto no solo quanto a bordo, para prover tripulações e controladores/gerentes de tráfego aéreo de informações atualizadas de identificação, posicionamento e vetor velocidade de aeronaves e outros veículos em circulação, em determinado espaço aéreo ou aeródromo.

A ADS-B depende de satélites GNSS para a difusão da informação de posicionamento de cada aeronave para o ATC e outras aeronaves que estejam em linha de visada. As estações de solo, por seu turno, além de alimentar o ATC, transmitem para as aeronaves no seu alcance informações meteorológicas e dados de apresentação plana de posição do tipo *display* radar.

Os aviônicos ADS-B apresentam duas configurações:

- ADS-B *Out* – menos custoso e simples, difunde dados de posicionamento e identificação para outras aeronaves em linha de visada e para o ATC via estações de retransmissão. Não proporciona capacidade de vigilância ar-ar para o piloto.
- ADS-B *In* – mais completo e caro, permite a visualização de dados de tráfego aéreo, informação aeronáutica e meteorológica. Proporciona capacidade de vigilância ar-ar e ar-solo (ATC).

A configuração ADS-B *Out* requer interação com GNSS para obtenção de dados de posicionamento que são transmitidos, junto com a identificação da aeronave, para um **transponder** de solo do provedor de serviços de navegação aérea (PSNA). Uma vez de posse desses dados, o PSNA elabora uma mensagem ADSB *Out* para ser difundida, a partir de suas estações remotas, para as aeronaves e simultaneamente oferece ao ATC a atualização de posição das aeronaves equipadas ADS-B *Out*.

Já a configuração ADS-B *In* requer TCAS para que as antenas recebam pacotes ADSB *Out* de outras aeronaves. Após processamento, as informações recebidas são exibidas em tela adequada: **Cockpit Display of Traffic Information (CTDI)**.

Figura 3.1 – CDTI



Fonte: FAA (2019).

A FAA publicou regramento em 2010, determinando que até 2020 todas as aeronaves operando no NAS (*National Air Space*) deverão estar equipadas com ADS-B *Out*. A autoridade de tráfego estadunidense optou pela transmissão de pacotes de dados ADSB em duas frequências: 1.090 MHz e 978 MHz. A segunda frequência (978 MHz) foi escolhida devido ao progressivo congestionamento do canal de 1.090 MHz, o qual ocorre pelos seguintes motivos:

- 1.090 MHz é a frequência do SSR;
- mesma frequência do TCAS;
- utilizada para *data link* ADS-B para mensagens meteorológicas e AIS.

No espaço aéreo estadunidense, a frequência de 978 MHz é menos utilizada – uma vez que não está sendo ocupada por outras tecnologias – e está servindo para a transmissão gratuita de informações aeronáuticas.

Aeronaves equipadas com ADS-B Out usualmente empregam o padrão ICAO para transmissão de pacotes de dados, 1.090 MHz (**Extended Squitter**). Nesse ponto cabe uma breve explicação terminológica: *Squawk* é uma resposta a um pulso interrogador SSR ao passo que *Squitter* é um pacote de dados continuamente transmitido, geralmente um por segundo, independentemente de interrogação.

Universal Access Transceiver (UAT) é a designação da tecnologia de transmissão contínua de pacotes de dados da aeronave e recepção de informação de tráfego e de condições meteorológicas na frequência de 978 MHz. A tecnologia UAT permite dois serviços aeronáuticos:

- a transmissão de pacotes de dados contendo informação de tráfego, serviço designado por **TISB** (**Traffic Information Service – Broadcast**), semelhantemente ao que ocorre na frequência de 1.090 MHz;
- a divulgação de informação aeronáutica (e.g. NOTAM) e informação meteorológica. Esse serviço é denominado **FISB** (**Flight Information Service – Broadcast**), funciona somente em UAT e é gratuito no NAS estadunidense.

No caso dos U.S.A., por haver o emprego de duas frequências para o serviço de ADSB, as antenas das estações terrestres transmitem informação de tráfego visualizável no **CDTI**, tanto em 1.090 ES quanto em UAT. Sublinhe-se que o piloto de uma aeronave ADSB *In* que opera 1.090 ES não verá em seu CDTI o indicador e etiqueta de informações relativas a uma aeronave que faça radiodifusão somente em UAT, caso as aeronaves estejam fora do alcance de uma estação ADS-B terrestre. Sem embargo, com maior proximidade, o TCAS da aeronave 1.090 ES acusará a presença do tráfego UAT.

4.2 ADS-R

Automatic Dependent Surveillance-Rebroadcast (ADS-R) denomina a tecnologia instalada nas estações ADS de solo que reformata e retransmite pacotes UAT para aeronaves operando 1.090 ES, e VICE-VERSA. Em acréscimo, destacadamente para benefício de aeronaves equipadas com ADSB *In*, a modalidade ADSR instalada em espaço aéreo, o radar irradia informação de tráfego relativa às aeronaves não ADS-B detectadas, tanto para o tráfego UAT quanto para 1.090 ES. Note-se que aeronaves, sobretudo da aviação geral nos E.U.A, podem estar equipadas com ADSB *Out* 1.090 ES e com 978 UAT *In*. Ainda,

considera o autor, existem dispositivos ADS-B In de difícil enquadramento na categoria tradicional de aviônicos: são portáteis, recebem GPS/WAAS, 1.090 ES, 978 UAT e, em lugar de CDTI, usam um *tablet* para visualização TISB e FIS-B.

Os equipamentos ADS-B das estações de solo são mais baratos, menores e consomem menos energia que as antenas SSR, essas geralmente acopladas a uma antena rotativa de radar primário. Por essa razão, antenas ADSB podem ser distribuídas ao longo de vales e regiões remotas geralmente desprovidas de cobertura radar. Tal capacidade é capaz de resolver uma deficiência grave dos radares primários e secundários com o uso de dispositivos e recursos já existentes, como os aviônicos que manejam as frequências de 1.030 e 1.090 MHz. Essa possibilidade não é a única vantagem oferecida pela ADSB.

4.3 ADS-B In Trail Procedure

Diz-se que aeronaves estão *In Trail* quando seguem a mesma trajetória no plano horizontal, isto é, estão no mesmo caminho projetado no solo. Aeronaves *In Trail* podem estar no mesmo ou em diferentes níveis de voo.

Já o Procedimento *In Trail* (ITP) é método de subida ou descida de aeronaves que seguem a mesma trajetória no plano horizontal e respeitam mínimos de separação longitudinal específicos. Tais mínimos de separação longitudinal são específicos para aeronaves devidamente equipadas, as **aeronaves ITP** (BRASIL. DECEA, 2018).

ADS-B In Trail Procedure remete aos mínimos de separação longitudinal para o cruzamento de níveis de voo no contexto ADS-B.

Tais mínimos de separação longitudinal são denominados **mínimos ITP** e se aplicam somente às aeronaves ITP. A aeronave que mantém determinado nível de voo recebe a designação de **aeronave de referência** e a aeronave que efetua o cruzamento de níveis de voo é chamada de **aeronave ITP**. Os mínimos ITP não devem ser aplicados para separação entre uma aeronave ITP e mais de duas aeronaves de referência.

A solicitação de procedimento *In Trail* e a consequente autorização ATC só podem ser realizadas via CPDLC. Quanto à solicitação, há critérios cujo atendimento o piloto deve conferir **antes de a formular** ao ATC via CPDLC:

- a distância entre a aeronave ITP e a aeronave de referência mais próxima não deve ser inferior a 15 MN, se a **velocidade de aproximação** máxima em relação ao solo for de 20 kt (velocidade de aproximação entre a aeronave ITP e a de referência, vale esclarecer);

- a distância entre a aeronave ITP e a aeronave de referência mais próxima não deve ser inferior a 20 MN, se a **velocidade de aproximação** máxima em relação ao solo for de 30 kt;
- o equipamento de navegação ITP de bordo deve indicar que o ângulo entre as rotas é inferior a 45 graus (isto é, estão na mesma rota, sendo que rotas idênticas são aquelas cuja diferença angular é nula);
- a razão de subida ou de descida possa ser de 300 pés por minuto ou superior;
- a diferença de altitude entre a aeronave solicitante e a aeronave de referência mais próxima deve ser de 2.000 pés ou menos;
- não deve ser esperada alteração de velocidade.

Fotografia 3.1 – Mostrador multifuncional no modo ITP



Fonte: Astronautics (2019).

Tais critérios visam à separação mínima de 10 MN durante o procedimento ITP. As próximas figuras mostram as possibilidades de procedimentos ITP. As aeronaves com setas indicando cruzamento de níveis de voo são aeronaves IPT, as demais, são aeronaves de referência.

Figura 3.2 – ITP *behind climb* + ITP *behind descent*



Adaptado de: ICAO (2016).

Por seu turno, o controlador deve autorizar um procedimento ITP em caso de solicitação do piloto e se os seguintes critérios puderem ser atendidos:

- a identificação das aeronaves de referência for positiva;
- a distância entre a aeronave ITP e as aeronaves de referência for de 15 MN ou mais;

Figura 3.3 – ITP *Ahead of climb* + ITP *ahead of descent*



Adaptado de: ICAO (2016).

- a aeronave ITP e as de referência devem estar em mesma rota (ou rota idêntica) e qualquer curva em um *waypoint* ser inferior a 45 graus;
- a aeronave ITP e as de referência devem estar em mesma rota ou em rotas paralelas, sem que curvas sejam permitidas durante o procedimento;

Figura 3.4 – ITP *Combined behind/ahead of climb* + *combined behind/ahead of descent*



Adaptado de: ICAO (2016).

- não haja mudança de velocidade ou de rota para a aeronave ITP;
- a diferença de altitude entre a aeronave solicitante e a aeronave de referência mais próxima seja de 2.000 pés ou menos;
- nenhuma instrução com o fito de alterar trajetória, nível de voo ou velocidade das aeronaves de referência venha a ser necessária;
- a velocidade máxima de aproximação seja de Mach 0.06.

Importante destacar que um procedimento ITP somente pode ser autorizado se a aeronave solicitante não for aeronave de referência em relação a outra autorização ITP já concedida.

4.4 Vantagens operacionais da ADS-B

Em cenário ADS-B, a visualização do ATC, também disponível para o piloto, tem uma taxa de atualização superior à taxa do radar. Essa atualização pode ser de até seis vezes por segundo. Vale lembrar que antenas de radar executam seis a doze rotações por minuto (BARROS, 2014), de sorte que o espaço aéreo servido por ADS-B garante ao ATC maior segurança na tomada de decisão, pois as informações de progressão de voo são, para efeitos práticos, apresentadas em tempo real.

Precisão e atualização em tempo real proporcional ao uso mais racional e econômico do espaço aéreo, inclusive com economia para empresas aéreas. Para exemplo, a descida por etapas é mais dispendiosa, em termos de combustível, que a descida contínua. A ADS-B permite ao ATC, por causa da precisão e elevada taxa de atualização, a descida contínua.

Outra vantagem para o piloto é a possibilidade de recepção de dados de visualização de radares meteorológicos de solo para exibição em tela. Um radar meteorológico de bordo está limitado a uma faixa de 40 a 80 milhas náuticas à frente. Essas limitações deixam de existir para aeronaves devidamente equipadas, evoluindo em espaço aéreo servido por ADS-B.

Em resumo, são vantagens operacionais de ADS-B:

- informação de tráfego e informação aeronáutica no *cockpit*;
- melhor aproveitamento do espaço aéreo;
- permite ao operador da aeronave conhecer a posição da aeronave (ou da frota);
- redução de gastos com ATC/ATM;
- vetores mais apurados e econômicos;
- menor consumo de combustível;

- consciência situacional mais homogênea nas tripulações;
- percepção do cenário de tráfego no ar e no solo;
- o maior alcance em linha de visada permite margem de atuação superior para o ATC;
- redução da separação em espaço aéreo não servido por radar;
- maior precisão na execução do serviço SAR.

O ambiente de controle de tráfego aéreo ADS-B é mais cooperativo, mormente em espaços aéreos remotos, no quais o ATC pode delegar, a depender da autoridade aeronáutica, a separação IFR para os pilotos em fase de voo em rota. Note-se que quando o ATC delega a responsabilidade pela separação entre duas aeronaves, sua atenção pode ser dedicada ao monitoramento de outros voos.

Seção 5

Multilateração (MLat)

Multilateração é espécie de navegação hiperbólica, pois o tempo que os sinais levam para percorrer a distância entre um alvo e estações fixas de posição conhecida é usado para cálculo de posicionamento. Esse princípio de funcionamento é conhecido por diferença de tempo de chegada (**TDoA – Time Difference of Arrival**).

TDoA pode ser utilizado de duas maneiras recíprocas (SKYBRARY, 2018):

- o tempo de deslocamento de sinais oriundos de estações fixas de posição conhecida é usado por processadores embarcados para determinar a posição da aeronave (**recurso de navegação**).
- o tempo de deslocamento de um sinal de um alvo móvel até estações fixas terrestres é usado por uma unidade central no solo para cálculo de posição e trajetória de aeronaves (**recurso de vigilância**);

Sublinhe-se que a hora da transmissão não é necessária na multilateração, como ocorre no GNSS.

Como solução de navegação, a multilateração é antiga. Sistemas de navegação já abandonados, como DECCA, LORAN e Omega já a utilizaram como princípio de operação. Modernamente, GNSS é bom exemplo de multilateração. Igualmente,

como solução de vigilância (e interceptação), a multilateração já era conhecida e aplicada na Segunda Guerra Mundial (ERA SYSTEMS CO, 2018).

Os sistemas de multilateração atuais usam aviônicos como *transponders* operativos nos modos A/C, Modo S ELS e Modo S EHS (ADS-B) (INDRA SISTEMAS (Espanã), 2018).

5.1 Aplicações MLat

As aplicações MLat são variadas, desde vigilância em aeródromo, passando por automação na emissão de faturas até a facilitação do trabalho de busca e salvamento. A ICAO lista mais de uma dezena de aplicações, aparentemente em lista não exaustiva (ICAO, 2007).

5.2 WAM

WAM (*Wide Area Multilateration*) funciona com estações espalhadas em distâncias de até 60 NM (NEVEN, 2005). Solução para substituir redes de radar e para cobertura de vigilância em regiões agrestes. As estações MLat cobrem áreas mais amplas que os radares convencionais e a um custo de instalação e manutenção mais reduzido. Podem ser instaladas em plataformas marítimas de exploração de petróleo e ilhas isoladas (devido ao baixo consumo de energia).

Fotografia 3.2 – Antena de estação de multilateração



Fonte: Calaan, 2014.

5.3 MLat PRM

MLat PRM (**P**recision **R**unway **M**onitor) é solução de baixo custo para possibilitar as operações simultâneas em pistas paralelas. Também conhecido por PRM-A MLat (A para *Alternative*), já está em operação em aeroportos sob regulação da FAA (U.S.A. FAA. U.S., 2015).

5.4 A-SMGCS

Vigilância de tráfego em aeródromo via **A-SMGCS** (**A**dvanced **S**urface **M**ovement **G**uidance and **C**ontrol **S**ystem). A multilateração é ferramenta mais barata e mais eficiente que os radares de aeródromo. Mais barata porque não funciona com peças móveis, como as antenas giratórias de radar que ainda podem ser vistas no topo de algumas torres de controle. Mais eficiente em razão da invulnerabilidade às condições meteorológicas adversas, assim como pela capacidade de não perder funcionalidade em face da interposição de obstáculos entre a antena e os alvos de interesse (efeito sombra). Pequenos dispositivos *squitter* podem ser instalados nas viaturas e podem ser portados pelos funcionários que deambulam pela área de movimento do aeródromo (SAAB, 2018). Esses atributos fazem a superioridade da multilateração na vigilância do movimento de aeródromo.

Seção 6

Separação horizontal ADS-B/MLat

O Doc. 4444, que não tem o *status* de padrão normativo (*standard*), recomenda separação horizontal mínima em ambiente **ATS radar**, **ADSB** e **MLat** de 5,0 MN, salvo as disposições para espaçamento em operações aéreas ocorridas nas cercanias de aeródromos (ICAO, 2016).

O mesmo diploma da ICAO recomenda que as autoridades aeronáuticas de cada país contratante, ao estabelecerem mínimos inferiores a 5,0 MN, no contexto descrito no parágrafo anterior, não o façam abaixo de:

- 3 MN quando as capacidades dos sistemas de vigilância assim o permitirem;
- 2,5 MN entre aeronaves em sequenciamento para pouso nas 10NM que antecedem a cabeceira da pista, respeitando-se os mínimos relativos à esteira de turbulência.

A separação mínima de 2,5 MN, ora referida, requer alguns pré-requisitos recomendados:

- tempo médio de ocupação da pista de 50 segundos, no máximo;
- eficiência na frenagem boa;
- sistema de vigilância atualizado a cada 5 segundos ou menos;
- monitoramento da aérea de manobras por contato visual ou assistido por sistemas de vigilância;
- monitoração da velocidade das aeronaves;
- alerta aos pilotos para uso racional do tempo de ocupação da pista e
- publicação em AIP.

A multiplicidade de recursos de vigilância, navegação e comunicação disponíveis para alocação nos espaços aéreos, dificulta a escolha para os governos dos países e para os organismos responsáveis pelas decisões técnicas atinentes à prestação dos serviços de navegação aérea, em comunidades regionais de nações. Os sistemas de comunicação, navegação e vigilância guardam relação de mútua influência com o gerenciamento de tráfego aéreo, cujas escolhas são, por definição, estratégicas.

Atividades de autoavaliação

1. Classifique as assertivas como verdadeiras (V) ou falsas (F):

- a) () Os contratos ADSB podem ser periódicos, por eventos ou por demanda do ATC;
- b) () Os contratos ADSC podem ser periódicos, por eventos ou por demanda do piloto em caso de emergência;
- c) () O ATC pode estabelecer somente um contrato por de evento por aeronave;
- d) () O *display* ADS-C é atualizado conforme o número de rotações por minuto da antena do radar de rota oceânica.

2. Qual o procedimento que o ATC deve executar quando um *downlink* ADS-C não é recebido no prazo previsto?

3. No contexto ADS-C, a precisão do posicionamento das aeronaves apresentadas no *display* do controlador só depende da qualidade dos equipamentos e dos cuidados de manutenção executados pelo PSNA. Julgue a assertiva como verdadeira ou falsa e justifique sua resposta.

4. O ATC pode regularmente vetorar aeronaves fazendo uso dos recursos ADSC para efetuar desvio de rota com o objetivo de afastar aeronaves de formações meteorológicas adversas ou cinzas vulcânicas em suspensão na atmosfera. Julgue a assertiva como verdadeira ou falsa e justifique sua resposta.

5. Uma aeronave ITP em procedimento ITP pode ser aeronave de referência para outra aeronave ITP em procedimento ITP. Julgue a assertiva como verdadeira ou falsa e justifique sua resposta.

Capítulo 4

ATM

Diz-se que gerir ou gerenciar é ato, processo ou efeito de administrar. Seja nos negócios públicos ou privados, a administração resulta, entre outros elementos, em medidas. Em nosso estudo, medidas de tráfego aéreo podem ser listadas. Entretanto, antes do estudo de tais disposições, cabe um ajuste semântico para apontar o sentido próprio, aeronáutico das palavra e locuções relevantes no estudo de CNS/ATM.

Seção 1

Definição de gerenciamento de tráfego aéreo

A definição de gerenciamento de tráfego aéreo, usualmente referido pela sigla **ATM** (***A**ir **T**raffic **M**anagement*), requer o entendimento de outros conceitos prévios, quais sejam:

1.1 Serviços de Tráfego Aéreo (ATS – *Air Traffic Services*)

Locução que engloba vários serviços: informação de voo, alerta, assessoramento e controle de tráfego aéreo.

1.2 Organização de espaço aéreo

Organização de espaço aéreo é o conjunto de estratégias, planos, normas, protocolos e procedimentos que estruturam o espaço aéreo com o objetivo de acomodar variadas atividades aéreas, volumes de tráfego aéreo e diferentes níveis de prestação de serviço¹. O Doc. 9854 (*Global Air Traffic Management Operational Concept*) elenca princípios organizacionais, entre os quais destacam-se:

- a transferência de aeronaves entre organismos prestadores de serviços de navegação aérea deve ser realizada sem interrupção das atividades oferecidas;
- devem ser permitidas rotas compostas de trajetórias ótimas e sem restrições ou atrasos indevidos;
- o planejamento do espaço aéreo deve permitir a trajetória desejada pelo usuário e a criação de rotas compulsórias ou preferenciais deve ocorrer somente em face de circunstâncias impeditivas do voo livre;
- a organização do espaço aéreo deve ser facilmente compreensível.

Note-se que os princípios adotados pela ICAO e pelos países contratantes apontam para as categorias aeronáuticas de voo livre (*free flight*) e harmonia e integração na prestação dos serviços ao longo de trajetórias que cruzem fronteiras nacionais ou limites espaciais de responsabilidade operacional dos prestadores de serviços de navegação aérea. Tais linhas de separação na prestação dos serviços de tráfego aéreo devem parecer transparentes e não causar impressão forte no usuário do espaço aéreo, especialmente no piloto (*seamless sky*²).

1.3 Gerenciamento de espaço aéreo

Gerenciamento de espaço aéreo é o processo de realizar escolhas e tomar decisões para atender as necessidades da comunidade de usuários do espaço aéreo³. Interesses antagônicos entre os usuários do espaço aéreo precisam ser adequadamente balanceados, o que faz bastante complexo o exercício do ATM⁴. O Doc. 9854 aponta, entre outros, os seguintes princípios e estratégias orientadoras:

- flexibilidade deve pautar a gestão do espaço aéreo;
- o fluxo de tráfego aéreo não deve ser limitado por fronteiras nacionais;
- quando necessária a segregação de diferentes categorias de tráfego aéreo, essa deve ser conduzida de forma a minimizar o impacto nas operações aéreas;
- o espaço aéreo deve ser monitorado e coordenações devem ser realizadas com o intuito de acomodar conflitos de interesses e minimizar quaisquer restrições nas operações aéreas.

Novamente observa-se a valorização do voo livre e da prestação do serviço sem interrupções (*seamless sky*).

1.4 Gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo

O gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (**ATFM – Air Traffic Flow Management**) é serviço cujo objetivo é contribuir para fluxo de tráfego aéreo seguro, ordenado e rápido. Essa contribuição ocorre por meio do uso de toda capacidade ATC disponível e pela garantia de volume de tráfego compatível com essa capacidade⁵. Planos e atos voltados para a gestão do fluxo de tráfego aéreo ocorrem em nível estratégico, pré-tático e tático⁶, e tem desenvolvimento em órgãos de gerenciamento de fluxo (órgãos não ATC). Significativo lembrar que o ATC opera em nível tático, não propriamente em termos de planejamento de fluxo de tráfego aéreo, mas no sentido de execução de ações de tráfego aéreo.

A compreensão das quatro categorias aeronáuticas ora apresentadas é necessária para o entendimento do sentido e alcance da locução **gerenciamento de tráfego aéreo (ATM – Air Traffic Management)**⁷: **gestão integrada e dinâmica de tráfego aéreo e de espaço aéreo, incluindo os serviços de tráfego aéreo, gerenciamento de espaço aéreo e gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo, de forma segura, econômica e eficiente, por meio da provisão de instalações e de serviços ininterruptos**. Tudo em colaboração com as partes interessadas e considerando atividades embarcadas e baseadas em terra. O trabalho de gestão do tráfego aéreo orbita em torno do processo de tomada de decisão, o qual deve ser colaborativo.

Seção 2

Tomada colaborativa de decisão

A tomada colaborativa de decisão requer a participação de usuários e partes interessadas no gerenciamento de tráfego aéreo. Segundo orientação da ICAO, *Collaborative Decision Making* (CDM) é técnica a ser aplicada em todos os níveis de trabalho, do planejamento de longo prazo até as deliberações em nível tático⁸.

Decisões de longo prazo em sede de gerenciamento de tráfego aéreo devem contar com a colaboração dos usuários do espaço aéreo, pois o impacto das medidas pode ser de realce em suas operações aéreas. Para exemplo, se autoridade de tráfego aéreo doméstica decidir pela obrigatoriedade de um sistema específico de CNS/ATM, a depender do custo e do prazo de implantação, tal decisão pode até mesmo determinar a interrupção das operações de uma empresa aérea.

Nesse sentido, sobre a importância da participação dos usuários, destaca-se a decisão da autoridade de tráfego aéreo estadunidense de tornar obrigatório o

emprego de dispositivos ADS-B *Out* embarcados a partir de 1º de janeiro de 2020. Os espaços aéreos afetados foram de classe Alfa, Bravo e Charlie⁹. Essa decisão foi divulgada oficialmente em maio de 2010¹⁰, destarte, assegurando tempo para a adaptação, das empresas aéreas e proprietários de aeronaves em geral, ao novo regime de comunicação, navegação e vigilância. O prazo quase decenal permitiu, ademais, o surgimento de novos dispositivos de custo mais acessível¹¹.

Em nível estratégico, a tomada de decisão colaborativa tem o potencial de evitar a adoção de medidas prejudiciais para certos usuários, na medida em que esses poderão informar melhor aos demais participantes das consequências das deliberações de ATM.

Bom exemplo de decisão colaborativa em nível pré-tático ocorre no Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea – CGNA, ora sediado no Rio de Janeiro. Lá, cotidianamente, é buscado (não necessariamente alcançado, frise-se) o balanceamento entre a capacidade de atendimento do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro e a demanda dos usuários¹². Nesse centro, participam da tomada de decisão representantes das empresas aéreas, aeroportos e funcionários do DECEA. Condições meteorológicas adversas, panes de equipamentos, suspensões nas operações de pistas de pouso ou de taxiamento, assim como emergências ou catástrofes são objetos de decisão colaborativa. Sua contraparte estadunidense, de dimensões mais avantajadas, é o *Air Traffic Control System Command Center (ATCSCC)*¹³.

Um espírito de cooperação e boa vontade aeronáutica precisa estar presente nas decisões tomadas de forma colaborativa, porquanto os participantes costumam competir por recursos escassos, seja o próprio espaço aéreo ou instalações de infraestrutura aeroportuária.

Cotidianamente, as decisões colaborativas tomadas nos centros de gerenciamento de tráfego aéreo reportam-se ao fluxo de tráfego aéreo, o qual precisa ser adequadamente manejado.

Seção 3

Medidas ATFM

Como foi estudado, o gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo busca assegurar que o emprego da capacidade ATC seja otimizado e que o volume de tráfego não exceda o potencial de acomodação dos órgãos de controle de tráfego e dos aeródromos. Entendase potencial de acomodação dos órgãos de controle, como a quantidade máxima de aeronaves por setor de controle (volumes de

espaço aéreo definidos) e os próprios limites operacionais dos controladores individualmente considerados.

Tal objetivo, **de evitar desbalanceamentos**¹⁴, requer esforços consubstanciados em medidas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (medidas ATFM). Esforços que são executados em fases de caráter estratégico, pré-tático e tático, as quais não são consideradas pela autoridade de tráfego aéreo brasileira como etapas estanques, mas como um processo contínuo de planejamento, ação e revisão¹⁵.

Para os gerentes de fluxo de tráfego aéreos brasileiros, é estratégico o conjunto de ações executadas e planos concebidos com mais de uma semana de antecedência com relação a circunstâncias ou eventos relevantes para o tráfego aéreo¹⁶. Pré-táticos, os cuidados tomados entre uma semana e o dia anterior. Táticas, as cautelas demonstradas no dia da operação que requer atenção do ATM. São **medidas de balanceamento** entre a capacidade instalada e a demanda por serviços ATS, espaço aéreo e facilidades aeroportuárias:

3.1 Separação por milhas

Medida ATFM de caráter tático, trata de estabelecer quantidade de milhas entre uma aeronave e outra em rota idêntica. Essa quantidade de milhas é sempre, por natural, maior que o mínimo de separação longitudinal ordinário. Referida no países anglófonos por **miles-in-trail**¹⁷ (**MIT**), é medida de repressão de demanda que causa atrasos de decolagem e variações de velocidade.

3.2 Separação por minutos

Solução tática, é baseada na quantidade de minutos entre uma aeronave e outra. Também designada por **Minutes-in-trail (MINIT)**¹⁸, costuma ser aplicada nas seguintes circunstâncias¹⁹:

- transição para espaço aéreo sob controle convencional (sem visualização);
- dentro de ambiente de controle convencional;
- para desafogar aeródromos congestionados;
- para acomodar aeronaves em espaço aéreo com degradação da qualidade dos serviços.

Também causa atrasos nas decolagens, e, segundo experiência do autor, excesso de trocas de mensagens radiotelefônicas, atritos entre pilotos e controladores, sobrecarga nos funcionários da administração aeroportuária e, naturalmente, desperdício de combustível e aumento de emissões de gases poluentes na atmosfera.

A determinação de **intervalo mínimo entre decolagens** para mesmo destino ou para determinado volume de espaço aéreo é caso particular de **MINIT**. Um intervalo mínimo entre decolagens pode ser solução nos casos de saturação de setor ou falta de recursos humanos e/ou materiais em órgão de controle de tráfego adjacente.

3.3 Balanceamento na chegada ou saída de TMA

Nesta medida tática, a aeronave é instruída a passar por fluxo de saída ou de chegada, distinto daquele previsto em plano de voo ou fora da trajetória natural²⁰. Pode vir a prejudicar procedimentos de descida contínua.

3.4 Rerroteamento

Consiste em decisão colaborativa, normalmente com exclusão da participação do usuário²¹, com o fito alocar rota diferente daquela do plano de voo, a qual, por natural, não será ortogônica. Adequada para circunstâncias que requeiram:

- maior fluidez do tráfego aéreo;
- desvios de espaços aéreos condicionados;
- solução para congestionamento em determinados volumes de espaço aéreo;
- desvios de formações meteorológicas adversas.

Trata-se de medida que pode ser de caráter tático, pré-tático ou mesmo estratégico, no entendimento da autoridade brasileira de tráfego aéreo. Ademais, o rerroteamento pode ser mandatório ou não. Para aeronaves em voo, usualmente será mandatório, ao passo que para as aeronaves no solo, a opção de aguardar a oportunidade para voar a melhor rota pode vir a ser opção a considerar.

3.5 Programa de orientação de tráfego

Medida estratégica que consiste na criação de rotas preferenciais IFR e/ou alternativas IFR para fluxos de tráfego aéreo específicos. Visa²²:

- balancear fluxo de tráfego;
- reduzir a complexidade de determinados volumes de espaço aéreo;
- aumentar níveis de segurança.

Deveras, as rotas preferenciais, não obstante o nome que receberam, não podem ser objeto de preferência ou de escolha por parte do usuário do espaço aéreo. São rotas de curso obrigatório²³ estabelecidas pela autoridade brasileira de tráfego aéreo, para ligar aeródromos ou determinados volumes de espaço aéreo.

Por seu turno, as rotas alternativas também não permitem alternância, eis que são medidas de caráter obrigatório e escolhidas pelo ATM para suprir indisponibilidade de rotas preferenciais por razões de ordem técnica (e.g.: panes) ou operacionais²⁴. Entre as razões operacionais que eventualmente dão causa à indisponibilidade de rota preferencial, podem ser elencadas: congestionamento de setor de controle de tráfego, falta de pessoal ATC ou rerroteamento que impeça o uso do espaço aéreo da rota preferencial.

3.6 Programa de atraso no solo

O plano de atraso no solo é medida estratégica, pré-tática e tática de balanceamento de fluxo, que consiste na alocação de horários de chegada para cada aeronave²⁵. O piloto, de posse de um horário de chegada em seu aeródromo de destino, calcula seu horário de decolagem adequado e apresenta plano de voo conforme esse cálculo. Os horários de chegada são designados por Slots (fendas) e são obtidos junto ao órgão ATM designado pela autoridade de tráfego aéreo (CGNA no Brasil).

3.7 Programa de espera no solo

Não chegando a ser uma solução, quando muito um ato de gestão, é a mais lamentável medida ATFM. A espera no solo pode ser determinada, em lista não exaustiva, pela redução de capacidade ATC (por greves, motins, catástrofes etc.), períodos demasiados de espera em voo, fechamento de espaço aéreo por questões geopolíticas e condições meteorológicas extremamente adversas²⁶ (e.g., cinzas vulcânicas em suspensão).

3.8 Esperas em voo

Medida ATFM tática consistente em orientar aeronaves para esperas sobre fixos ATS ou *waypoints*²⁷. Aplicável diante de aumentos inesperados de volume de tráfego, condições meteorológicas adversas de curta duração, breves interrupções do serviço ATS, impedimentos temporários de pistas de pouso ou de taxiamento.

3.9 Restrição em altitude

Trata-se de segregação tática de diferentes fluxos de tráfego ou para distribuição de tráfego. A restrição em altitude ATFM pode ocorrer em duas modalidades²⁸:

- *Capping* – atribuição de nível de voo inferior ao proposto em plano de voo. Pode ser aplicada ao segmento inicial do voo ou a sua integralidade;
- *Tunneling* – é a emissão de autorização para abandonar o nível de voo em rota antes do ponto ideal de descida, com vistas a evitar determinado volume de espaço aéreo nas cercanias do aeródromo de destino.

O coloquialismo *Capping* está previsto na normatização brasileira e no Doc. 9971 – *Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management*²⁹. *Tunneling* é referido na fraseologia da FAA³⁰. O dicionário *Merrian-Webster* indica um significado para *Cap*, com o sentido de limite superior para gastos monetários. Já passar por um túnel é passar por baixo de algo, fato que faz apropriado o jargão *tunneling*.

Fácil constatar que as medidas (ou técnicas) de ATFM – salvo nos casos equivalentes a se classificar como preferencial uma rota ortogônica – são, de um ou outro modo, restrições ao planejamento de voo do piloto. Técnicas ATM existem e otimizam o voo.

Seção 4

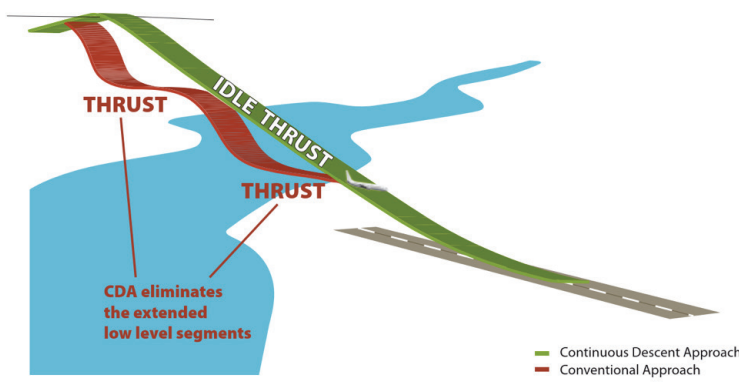
Técnicas ATM de otimização

São classificáveis como técnicas de tráfego aéreo que otimizam o voo daquelas que resultam em menor gasto de combustível, maior economia, menor impacto ambiental e outras que aumentam a eficiência e a eficácia da indústria de transporte aéreo. Normalmente, tais medidas de gestão não apresentam caráter restritivo proeminente.

4.1 Continuous Descent Operation (CDO)

Denominação de tradução desnecessária, *Continuous Descent Operation* é técnica mista de operação de aeronave e de aplicação de gestão de espaço aéreo. Mista porquanto o piloto deve usar de seus recursos para decidir a posição (3D ou 4D) ideal para início de descida contínua e comunicar ao ATC essa informação. Se no nível estratégico (ATM), procedimentos de descida e protocolos de controle de tráfego aéreo foram estruturados para garantir CDO, o ATC poderá evitar interrupções na descida no nível tático das operações. Fácil concluir que CDO é técnica de ação colaborativa e planejada.

Figura 4.1 – CDO



Fonte: EUROCONTROL (2011)³¹.

O Doc. 9931 (*Continuous Descent Operation Manual*) oferece uma definição para CDO (tradução nossa):

Técnica de operação de aeronave dependente de planejamento de espaço aéreo adequado, procedimentos de descida compatíveis [com descida contínua] e autorizações de tráfego aéreo apropriadas que permitam a execução de perfil de voo otimizado e ajustado à capacidade operacional da aeronave, com baixos ajustes de potência das turbinas e, quando possível, configuração de baixo arrasto, menor consumo de combustível e reduzida emissão de gases poluentes durante a descida (ICAO, 2010)³².

Frise-se que o manual recomenda perfil de voo ajustado à capacidade operacional da aeronave. Portanto, um perfil ideal não pode ser obtido a partir de um ponto fixo de início de descida, uma vez que diferentes aeronaves apresentam distintas capacidades, as quais podem variar ao sabor das circunstâncias de voo. Boa gestão de CDO, nesse sentido, deve prever não uma posição para início de descida, mas um volume de espaço aéreo destinado a acomodar as especificidades e circunstâncias que determinam o ponto ideal de descida.

São variáveis que afetam o ângulo de descida e determinam o ponto ideal de início de descida contínua, em lista não exaustiva³³:

- tipo da aeronave;
- peso da aeronave;
- vento;
- temperatura do ar;
- pressão atmosférica;
- comprimento da pista.

A complexidade do manejo dessas variáveis indica que devem ser processadas por computador de bordo de sorte que o piloto possa obter a informação relativa ao ponto ideal de início de descida contínua e repassá-la ao ATC. Para um procedimento ideal, ao controlador também é conveniente o emprego de computadores para auxílio na tomada de decisão relativa ao sequenciamento das aproximações em CDO.

Um bom gerenciamento de tráfego aéreo deve considerar CDO durante a confecção de cartas STAR e IAC para que os seguintes objetivos³⁴ sejam alcançados:

- redução de troca de mensagens entre ATC e aeronave;
- redução de ruído (turbinas em *idle*);
- redução de consumo de combustível;
- redução de emissões de gases poluentes;
- aumento na previsibilidade das ações de pilotos e controladores;
- estabilidade de voo;
- redução de carga de trabalho para pilotos e controladores.

O conceito de **CDO** pode ser expresso por outras locuções tais como *Continuous Descent Arrivals*³⁵, *Optimized Profile Descent*³⁶, *Tailored Arrivals*³⁷, *3D Path Arrival Management*³⁸ e, muito frequentemente, *Continuous Descent Approaches*³⁹.

4.2 Continuous Climb Operation (CCO)

É de conhecimento geral que a eficiência das turbinas aumenta com a altitude e que a parcela de combustível gasto na subida é bastante significativa em comparação com o total do dispêndio. Esses dois fatores apontam que para cada comprimento de rota haverá uma posição ideal de início do voo nivelado (**ToC** –

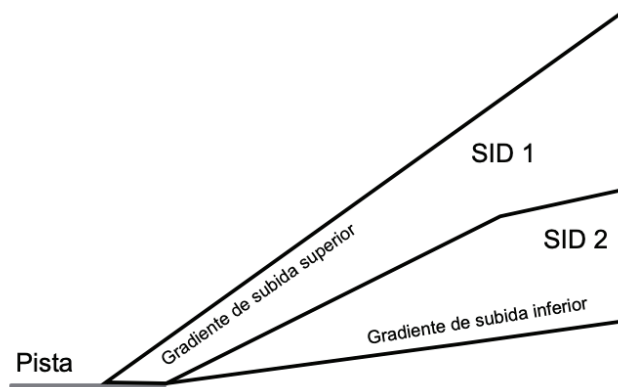
Top of Climb), conforme o perfil de cada aeronave⁴⁰. O trecho da rota entre subida e descida pode ser composto por mais de um nível de voo em cruzeiro e, nesse caso, o ATC poderá fazer alusão em relação ao voo inicial em suas autorizações.

As vantagens operacionais da operação em subida contínua são idênticas aos benefícios da operação em descida contínua, mas há uma diferença nas medidas táticas: o ATC deve evitar encurtar a distância a percorrer na aproximação em CDO, porque a aeronave voa com os reatores em *idle* e o encurtamento, por aumentar o ângulo de descida, pode desestabilizar a aproximação. Já um atalho, isto é, uma autorização ATC para subida em rota, é sempre bem-vinda nas saídas⁴¹, caso o desempenho da aeronave seja compatível com as elevações que, por ventura, situem-se no primeiro trecho da rota direta.

As diferenças de desempenho na subida requerem boa governança do ATM no desenho dos procedimentos de subida e protocolos a seguir pelo ATC, pois esse deve ter a seu dispor SIDs (*Standard Instrument Departure*) com delineamentos de saída distintos para atender ao variado desempenho das aeronaves. Tal distinção é, sobremaneira, importante nos casos de interferência do relevo nas trajetórias de decolagem, situação na qual uma trajetória mais curta deve ser desenhada para aeronaves que podem aplicar gradientes de subida mais elevados e outra trajetória mais alongada deve ser destinada às aeronaves, cujo gradiente de subida é inferior.

O Doc. 9993 exemplifica a aplicação dessa técnica em ilustrações ora reproduzidas:

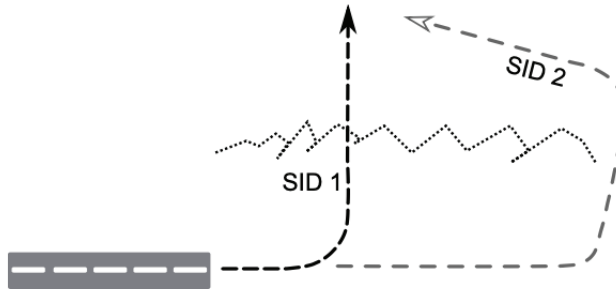
Figura 4.2 – Corte vertical de SIDs em CCO



Adaptado de: ICAO (2013)⁴².

Vistos de cima, cada um dos procedimentos apresentaria trajetórias de comprimento compatíveis com as possibilidades de superação das elevações do terreno por parte de cada aeronave.

Figura 4.3 – Perspectiva horizontal de SIDs em CCO



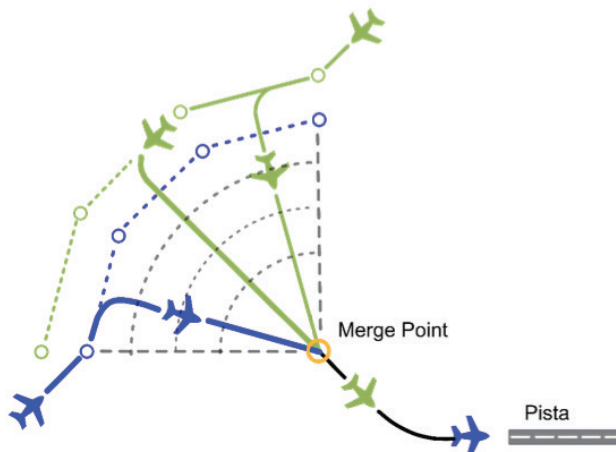
Adaptado de: ICAO (2013)⁴³.

4.3 Point Merge

Trata-se de técnica ATM que combina sequenciamento com CDO com maior eficiência. Nessa técnica, quando uma espera se faz necessária, em lugar da tradicional trajetória semelhante à pista de um hipódromo, a espera se faz ao longo de uma trajetória curva, que permite à aeronave manter-se sempre a mesma distância da cabeceira da pista.

A técnica é construída em torno de um ponto de união das trajetórias de aproximação em torno de 40 MN do aeródromo. Quando há excesso de tráfego, as aeronaves são instruídas a voar em dois arcos concêntricos de sequenciamento, até o momento de receberem autorização para voar em direção ao ponto de início de sequenciamento longitudinal e continuar em CDO.

Figura 4.4 – Merge Point



Adaptado de: Das Fluglärm Portal, [2018]⁴⁴.

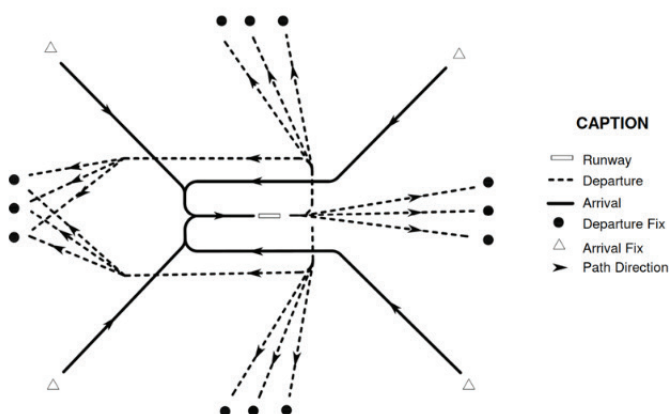
No caso de indisponibilidade breve ou de estar a pista superocupada, a aeronave em espera pode manter-se em altitude mais elevada (poupando combustível) e iniciar aproximação a partir de um ponto ótimo a qualquer momento, tão logo receba autorização do ATC.

A técnica está em operação em Dublin, Oslo, Seul, Paris, Kuala Lumpur, Lagos, Canárias, Hannover e Londres⁴⁵.

4.4 Four Corner

O conceito de estruturação de espaço aéreo designado por *four corner* é baseado em um quadrilátero orientado no sentido longitudinal da pista. As aeronaves que chegam, fazem isso por um dos quatro vértices do quadrilátero. As que partem, afastam-se por qualquer um dos lados⁴⁶.

Figura 4.5 – Four Corner



Fonte: Brasil, (2013)⁴⁷.

O desenho de trajetórias deve ser feito de forma a permitir CDO e CCO mesmo nos pontos de cruzamento entre trechos de SID e STAR.

A estruturação do espaço aéreo para comportar volumes sempre crescentes de tráfego aéreo faz progressiva a complexidade das trajetórias e menor a separação. Esse quadro requer informações mais precisas, principalmente de horários estimados de chegada em determinadas posições. Uma das soluções encontradas é a navegação 4D de precisão, objeto da tecnologia FANS-C.

4.5 FANS-C

FANS-C combina *data link CPDLC* e ADS-C para a transmissão de previsões de trajetórias quadridimensionais (3D+tempo). A navegação 4D, com compartilhamento de informações entre aeronave e ATC, facilita a detecção de conflitos de tráfego em distâncias maiores e permite o planejamento mais acurado do sequenciamento de aproximações em aeródromos mais congestionados⁴⁸.

As primeiras aeronaves a voar FANS-C (em caráter não experimental) foram A320 de empresas aéreas europeias, em março de 2019⁴⁹.

4.6 Cross-border Arrival Management (XMAN)

Também referido por *Extended Arrival Management* (E-AMAN), o X-MAN é procedimento operacional para racionalizar o sequenciamento de chegada em grandes aeroportos⁵⁰. Para evitar esperas nas cercanias do aeródromo, mediante coordenação entre órgãos ATC, ocorrida muitas centenas de milhas antes de a aeronave chegar nos limites da TMA, o piloto é instruído a reduzir ou aumentar minimamente a velocidade. A variação de velocidade é calculada de sorte a levar a aeronave ao sequenciamento para pouso, sem necessidade de executar padrões de espera.

Além de navegação 4D de precisão para melhores resultados, esse tipo de ferramenta requer um processo de compartilhamento de informações bastante veloz, cujas trocas transcendem não só os limites de atuação dos provedores de serviços de navegação aérea como também os limites de fronteiras nacionais.

Importa assinalar que o compartilhamento de informações entre órgãos ATC e ATM, com vistas ao voo sem interrupções ou grandes mudanças de modos de prestação do serviço de tráfego aéreo, não afasta as especificidades normativas nacionais e regionais. Dados e informações são compartilhados, os objetivos de se alcançar fluxos de tráfego aéreo seguros, ordenados, rápidos, economicamente racionais e ambientalmente responsáveis são comuns e, não obstante, ao se cruzar a fronteira, regras e costumes mudam. Fato que enseja o estudo da face do direito administrativo comparado voltada para o tráfego aéreo. Esse aspecto da realidade aeronáutica costuma ser designado **por Tráfego Aéreo Internacional**.

Atividades de autoavaliação

Classifique as assertivas como verdadeiras (V) ou falsas (F) e justifique sua resposta:

1. () A demanda por serviços ATC deve ser reprimida, mantendo-se aeronaves no solo, por exemplo, sempre que toda a capacidade ATC disponível estiver em vias de ser ocupada, de forma a se manter disponível uma reserva de capacidade ATC.

2. () A tomada colaborativa de decisão, por ocorrer em nível de gerenciamento, deve contar com a participação exclusiva daqueles que atuam no nível estratégico de gestão.

3. () Como medida ATFM, o programa de espera no solo é mais gravoso que o programa de atraso no solo.

4.) Sempre que possível, o ATC deve buscar encurtar as distâncias percorridas pelas aeronaves sob seu controle, sobretudo, as aeronaves em aproximação.

5. () Uma característica comum entre as técnicas *Four Corner* e *Extended Arrival Management* é que sempre podem ser executadas por um órgão ATC, de forma independente de outros prestadores de serviços de navegação aérea.

Referências do Capítulo 4

- 1 ICAO. **Doc 9854:** global air traffic management operational concept. Montreal: ICAO, 2005. 82 p. Chapter 2, subsection 2.2.5.
- 2 PAYLOAD ASIA (Ed.). **Singapore, Japan partner on ATM modernisation and seamless sky.** 2016. Disponível em: <http://www.payloadasia.com/singapore-japan-partner-atm-modernisation-seamless-sky/2/>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- 3 ICAO. **Doc 9882:** Manual on air traffic management system requirements. Montreal: ICAO, 2008. 67 p. Chapter 2, subsection 2.4.1.
- 4 ICAO. **Doc 9854:** global air traffic management operational concept. Montreal: ICAO, 2005. 82 p. Chapter 2, subsection 2.2.11.
- 5 ICAO. **Doc 4444:** procedures for air navigation services . Montreal: ICAO, 2016. 464 p. Chapter 1, section 1-4.
- 6 ICAO. **Doc 9882:** Manual on air traffic management system requirements. Montreal: ICAO, 2008. 67 p. Chapter 1, subsection 1.3.5.
- 7 ICAO. **Doc 4444:** procedures for air navigation services . Montreal: ICAO, 2016. 464 p. Chapter 1, section 1-4.
- 8 ICAO. **Doc 9854:** global air traffic management operational concept. Montreal: ICAO, 2005. 82 p. Appendix I, section 10.
- 9 AIRNAV (U.S.A.). **The FAA ADS-B mandate explained.** 2018. Disponível em: <https://www.radarbox24.com/blog/faa-adsb-2020-mandate>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 10 U.S.A. FAA. Department of Transportation. **No kidding: ADS-B deadline of jan. 1, 2020, is firm.** 2018. Disponível em: https://www.faa.gov/news/updates/?newsId=90008&omniRss=news_updatesAoc&cid=101_N_U. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 11 ZAZULIA, Nick. **Avionics shops shed light on ADS-B equipage ahead of 2020 mandate.** 2019. Disponível em: <https://www.aviationtoday.com/2019/03/26/adsb-2/>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 12 BRASIL. DECEA. Ministério da Defesa. **CGNA.** [2018]. Disponível em: <https://www.decea.gov.br/?i=unidades&p=cgna>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 13 U.S.A. FAA. Department of Transportation. **Air Traffic Control System Command Center (ATCSCC).** 2014. Disponível em: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/systemops/nas_ops/atcsc/. Acesso em: 24 abr. 2019.

- 14 BRASIL. Instrução do Comando da Aeronáutica nº 100-22, de 11 de setembro de 2018. **ICA 100-22**: serviço de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo. Rio de Janeiro, RJ: DECEA, 11 set. 2018. Subitem 1.4.20. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 15 BRASIL. idem. Subitem 4.2.1. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 16 BRASIL. idem. Subitem 4.2.2. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 17 ICAO. **Doc 9971**. 2nd. ed. Montreal: ICAO, 2014. 160 p. Part. II, Chapter 2, subsection 2.3.
- 18 U.S.A. Order nº JO 7210.3AA, de 12 de setembro de 2017. **This order provides direction and guidance for the day-to-day operation of facilities and offices under the administrative jurisdiction of the Federal Aviation Administration's Air Traffic Organization**: Facility Operation and Administration. Washington, DC: FAA, 17 ago. 2017. Section 6. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/7210.3AA_2-28-19.pdf. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 19 BRASIL. Instrução do Comando da Aeronáutica nº 100-22, de 11 de setembro de 2018. **ICA 100-22**: serviço de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo. Rio de Janeiro, RJ: DECEA, 11 set. 2018. Subitem 5.4.2.2.2. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 20 BRASIL. idem. Subitem 5.4.2.2.3. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 21 BRASIL. idem. Subitem 5.4.2.2.4. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 22 BRASIL. idem. Subitem 5.4.2.2.6. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 23 BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **AIP-Brasil**. Rio de Janeiro: DECEA, 2016. 984 p. Disponível em: <https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes&p=aip>. Seção ENR 1.15-1. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 24 BRASIL. idem. Disponível em: <https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes&p=aip>. Seção ENR 1.15-1. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 25 BRASIL. Instrução do Comando da Aeronáutica nº 100-22, de 11 de setembro de 2018. **ICA 100-22**: serviço de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo. Rio de Janeiro, RJ: DECEA, 11 set. 2018. Subitem 5.4.2.2.7. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.

- 26 BRASIL. idem. Subitem 5.4.2.2.8. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 27 BRASIL. idem. Subitem 5.4.2.2.9. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 28 BRASIL. idem. Subitem 5.4.2.2.10. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 29 ICAO. **Doc 9971**. 2nd. ed. Montreal: ICAO, 2014. 160 p. Part. II, Chapter 6, subsection 6.2.1.4.2.
- 30 U.S.A. FAA. Department Of Transportation. **Traffic flow management in the national airspace system**. 2009. Disponível em: https://www.fly.faa.gov/Products/Training/Traffic_Management_for_Pilots/TFM_in_the_NAS_Booklet_ca10.pdf. Acesso em: 12 dez. 2018.
- 31 EUROCONTROL. Continuous descent. 2011. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/2011-cd-brochure-web.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- 32 ICAO. **Doc 9931**: Continuous descent operation (CDO) manual. Montreal: Icao, 2010. 76 p. Chap. 1, section 1.1.
- 33 WORKSHOP ON PREPARATION FOR ANCONF, 12th, 2012, Mexico City. **Continuous descent operations**. Montreal: ICAO, 2012. 15 p. Disponível em: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2012/ASBU/ASBUWP27.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- 34 ICAO. **Doc 9931**: Continuous descent operation (CDO) manual. Montreal: Icao, 2010. 76 p. Chap. 1, subsection 1.1.3.
- 35 BROOKS, James. Continuous descent arrivals. In: ICAO WORKSHOP ON AVIATION OPERATIONAL MEASURES FOR FUEL AND EMISSIONS REDUCTIONS, 1st, 2006, Ottawa. **Workshop on the Aviation Operational Measures for Fuel and Emissions Reduction**. Montreal: ICAO, 2002. p. 1 - 11. Disponível em: <https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/ICAO-TransportCanada-2006/Brooks.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- 36 U.S.A. FAA. Department Of Transportation. **Optimized profile descents**. 2017. Disponível em: <https://www.faa.gov/tv/?mediaId=1585>. Acesso em: 15 maio 2019.
- 37 BOEING (U.S.A). **Tailored arrivals: a fuel-efficient future**. 2012. Disponível em: <https://www.boeing.com/features/2012/10/tailored-arrivals-a-fuel-efficient-future-10-24-12.page>. Acesso em: 14 abr. 2019.

- 38 COPPENBARGER, Rich. **3D-path arrival management (3DPAM):** simulations and field tests. 2009. Disponível em: https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/34348/Coppenbarger_3DPAM-Overview-EWGS.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 abr. 2019.
- 39 CLARKE, John-paul B. et al. Continuous descent approach: design and flight test for Louisville international Airport. **Journal Of Aircraft**. Reston, p. 1054-1066. out. 2004. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/1.5572>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- 40 ICAO. **Doc 9993:** Continuous climb operation (CCO) manual. Montreal: ICAO, 2013. 57 p.
- 41 SKYBRARY. **Continuous climb operation**. 2017. Disponível em: [https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous_Climb_Operations_\(CCO\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous_Climb_Operations_(CCO)). Acesso em: 19 abr. 2019.
- 42 ICAO. Doc 9993: Continuous climb operation (CCO) manual. Montreal: ICAO, 2013. 57 p. P. 24.
- 43 ICAO. Ibid. p. 25.
- 44 DAS FLUGLÄRM PORTAL (Deutschland). Innovative Flugverfahren: Chancen und Grenzen. [2018]. Disponível em: <https://www.fluglärm-portal.de/laerm-vermeiden/innovative-flugverfahren/>. Acesso em: 25 abr. 2019.
- 45 SINCTA (Portugal). **Point merge system**. 2018. Disponível em: <https://sincta.pt/2018/06/16/point-merge-system/>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 46 U.S.A. FAA. Department of Transportation. **New York/New Jersey/Philadelphia airspace redesign:** four corner concept. 2009. Disponível em: https://www.faa.gov/air_traffic/nas_redesign/regional_guidance/eastern_reg/nynjphl_redesign/documentation/scoping/fourcorner_concept/. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 47 BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. AIC A 20/13: Performance based navigation (PBN) implementation in the brazilian airspace. Rio de Janeiro: DECEA, 2013. 9 p. Disponível em: <https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes&p=aic>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- 48 AIR TRAFFIC MANAGEMENT .NET (U.S.A). **Airbus targets FANS-C certification by year-end**. 2018. Disponível em: <https://airtrafficmanagement.keypublishing.com/2018/07/18/airbus-targeting-fansc-certification-by-yearend/>. Acesso em: 22 abr. 2019.

49 AVIATION REPORT (U.S.A). **Airbus delivers first FANS-C-equipped A320 to easyJet.** 2019. Disponível em: <http://en.aviation-report.com/airbus-delivers-first-fans-c-equipped-a320-to-easyjet/>. Acesso em: 24 abr. 2019.

50 EUROCONTROL. **Cross-border arrival management (XMAN).** [2014]. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/articles/xman>. Acesso em: 25 abr. 2019.

Capítulo 5

Tráfego Aéreo Internacional

Por se tratar de direito administrativo aeronáutico comparado, isto é, o estudo das normas aplicadas e das práticas costumeiras exercidas nos países na esfera da atividade aérea, não pode ser o caso de se exaurir o tema nesta obra. Assim ocorre porquanto o assunto é vasto e dinâmico. Entretanto, é possível apontar o mapa do território a ser explorado pelo operador aeronáutico diante dos fatos com os quais se defrontará ao longo de sua vida profissional. Diante da vastidão e complexidade desse campo de estudo repleto de pormenores, assim como de elementos de importância considerável, o melhor caminho de investigação que se apresenta é o da compilação do que é frequente e relevante.

Seção 1

Diferenças de código

Antes de abordar a casuística da disciplina, é salutar explorar os sentidos e usos das palavras, do jargão aeronáutico como empregado.

1.1 Distinções de fraseologia aeronáutica

A fraseologia aeronáutica padrão existe para facilitar e tornar mais precisa a comunicação. Embora pautada pela incompletude, uma vez que é impossível previamente padronizar palavras e locuções para todas as situações que possam se apresentar na atividade aeronáutica, a construção de léxico e conjunto de sintagmas de uso padronizado é possível e desejável.

Como exemplo interno, o MCA 100-16 (Fraseologia de Tráfego Aéreo) traz orientações cogentes em português e em inglês (BRASIL. DECEA. MCA 100-16, 2018). O Manual do Comando da Aeronáutica 100-16 é norma complementar às Instruções do Comando da Aeronáutica 100-12 (Regras do Ar) e 100-37

(Serviços de Tráfego Aéreo). Tratando-se de normas oriundas do DECEA, é muito importante estudar o âmbito de aplicação da norma, normalmente descrito no subitem 1.2 de cada publicação. Note-se a amplitude do âmbito de aplicação e, portanto, da possibilidade de responsabilização civil e criminal trazida pelas normas do MCA10016:

Os procedimentos aqui descritos, de observância obrigatória, aplicam-se aos pilotos, pessoal ATS, aos motoristas de veículos e pessoas na área de movimento dos aeródromos sob jurisdição do Brasil, que utilizam a fraseologia de tráfego aéreo. (BRASIL, 2018)

Fácil constatar que o regramento sobre fraseologia aeronáutica se aplica, no Brasil, a todos os usuários diretos do espaço aéreo ou da área de movimento dos aeródromos que se comunicam via radiotelefonia.

Ao se transitar do domínio doméstico para a esfera do estrangeiro, escolhas devem ser feitas, visto que escapa ao escopo da obra o estudo comparativo do ordenamento aeronáutico de um grande número de países. Para fortuna do estudante, em termos de fraseologia, a maior parte dos países membros da ICAO seguem com maior fidelidade as orientações dessa organização internacional. Por isso, dadas as pretensões dessa obra, comparações entre os regramentos da FAA e da ICAO configuram boa proposta, haja vista o tamanho e importância do mercado aéreo estadunidense e as particularidades da normatização que o rege.

Ao passo que o MCA 100-16 é voltado para pilotos e pessoal ATS (entre outros), o regramento afeito à fraseologia aeronáutica estadunidense é segmentado, composto de diplomas específicos para:

- tripulantes e não tripulantes que exercem comunicação aeronáutica via radiodifusão (e.g.: ATIS), radiotelefonia e por interfone;
- controladores de tráfego aéreo.

A norma que regula o emprego de fraseologia aeronáutica para tripulantes no NAS é a *Order JO 7110.10U (Flight Services)* (U.S.A. FAA. Order JO 7110.10U, 2011), já a norma específica para controladores é a *Order JO 7110.65W (Air Traffic Control)* (U.S.A. FAA. Order JO 7110.65X, 2019). O capítulo exemplificativo de fraseologia da disposição estadunidense para controle de tráfego aéreo é breve, entretanto, exemplos de fraseologia aeronáutica estão espalhados ao longo do extenso volume de mais de 700 páginas.

A ICAO orienta a matéria no Doc. 9432 – *Manual of Radiotelephony* e, não obstante o código linguístico ser o mesmo, há nuances e diferenças entre as recomendações da ICAO e aquelas carregadas nas disposições normativas

Order JO 7110.10U e Order JO 7110.65W. Proveitoso acompanhar breve compilação, a título exemplificativo, no Quadro 5.1:

Quadro 5.1 – Léxico ICAO x FAA (exemplos)

FAA	ICAO
<i>Affirmative</i>	<i>Affirm</i>
<i>Airport</i>	<i>Airdrome</i>
<i>Air-Route Traffic Control Center</i>	<i>Area Control Centre</i>
<i>Center (ARTCC)</i>	<i>Control (ACC)</i>
<i>Clearance delivery</i>	<i>Delivery</i>
<i>Closed traffic</i>	<i>Circuit</i>
<i>Continue</i>	<i>Continue approach</i>
<i>Continue heading</i>	<i>Fly presente heading</i>
<i>Course</i>	<i>Track</i>
<i>Departing</i>	<i>Taking off</i>
<i>Descend at pilot's discretion</i>	<i>Descend when ready</i>
<i>Enter downwind</i>	<i>Join downwind</i>
<i>Exit</i>	<i>Vacate</i>
<i>For spacing</i>	<i>For separation</i>
<i>Hold</i>	<i>Stop</i>
<i>How dou you hear me?</i>	<i>How do you read?</i>
<i>Loud and clear (colloquialism)</i>	<i>Read you five</i>
<i>Maintain VFR</i>	<i>Maintain own separation and VMC</i>
<i>Make one three sixty</i>	<i>Make an orbit</i>
<i>Point</i>	<i>Decimal</i>
<i>Radar contact</i>	<i>Observed position</i>
<i>Radar contatc</i>	<i>Identified</i>
<i>Radio (Fligh Service Station)</i>	<i>Information</i>
<i>Remain in closed traffic</i>	<i>Make another circuit</i>
<i>Resume normal speed</i>	<i>No ATC restriction</i>

<i>Squawk altitude</i>	<i>Squawk Charlie</i>
<i>Taxi back / back-taxi</i>	<i>Back track</i>
<i>Traffic no factor</i>	<i>Clear of traffic</i>
<i>Verify</i>	<i>Confirm</i>

Fonte: Adaptação atualizada de Soejatman (2013).

Diferenças de código linguístico também são frequentes nos reportes meteorológicos escritos, sempre muito importantes.

1.2 Acerca de METAR no formato adotado pela FAA

Observe o METAR de SBFL (Florianópolis Internacional) em 18 de janeiro de 2019, 03:00Z (BRASIL. DECEA. Consulta de mensagens OPMET, 2018):

METAR SBFL 180300Z 14004KT 9999 FEW030 25/23 Q1016=

Traduz-se em:

- vento de 140 graus com 4 nós;
- visibilidade superior a 10 km;
- poucas nuvens a 3.000 pés;
- temperatura do ar de 25 graus;
- temperatura de formação de orvalho de 23 graus;
- ajuste de altímetro de 1.016 hPa.

Seis informações em dia de tempo bom (VMC).

O METAR de KMCO (*Orlando International*) na mesma data e hora com condições meteorológicas semelhantes (VMC) (BRASIL. DECEA. Consulta de mensagens OPMET, 2018):

METAR KMCO 180253Z 01004KT 10SM BKN300 14/11 A3020 RMK AO2 SLP226 T01390111 53007=

Traduzido (U.S.A. AC 00-45F, 2009), resulta em:

- o grupo data-hora apresenta hora que não termina em duplo zero, isto é, a hora do METAR não será necessariamente cheia como no Brasil;

- a visibilidade é superior a 16 km, como indicado no grupo 10SM (10 statute miles);
- nublado a 30.000 pés;
- temperatura de 14 graus centígrados;
- 11 graus centígrados par o ponto de orvalho;
- ajuste de altímetro em 30,20 polegadas de mercúrio;
- AO2 significando que as informações foram produzidas por estação meteorológica automática provida de pluviômetro;
- SLP226 corresponde à pressão ao nível do mar em hPa, *sea level pressure*, o último algarismo é fração decimal e 10 ou 9 devem ser postos antes do grupo numérico (1022,6 hPa). Deve ser preposicionado o algarismo 9 se o grupo de três dígitos for maior que 500;
- o grupo T01390111 53007 codifica informações adicionais para uso dos centros meteorológicos e das equipes de manutenção dos equipamentos de observação;

Constata-se que para uma condição meteorológica similar, o formado empregado pela FAA contém mais informações e usa codificação distinta da brasileira (ICAO).

Além das diferenças de representação, cumpre estudar as divergências procedimentais normativas.

Seção 2

NAS: elementos de diferenciação normativa

2.1 Voo VFR

Os mínimos meteorológicos para operar aeronaves de asas fixas (*airplanes*) seguindo **VFR** em aeródromo, consoante o padrão ICAO adotado pelo Brasil, são: 1.500 pés de teto e 5.000 metros de visibilidade horizontal (ICAO. Annex 2, Chapter 4, 2005). O regramento da FAA é distinto, exigindo 1.000 pés de teto e visibilidade de 1 milha (*statute mile* = 1.609,3 metros) durante o dia e, para o período noturno, 1.000 pés de teto e 2 *statute miles* de visibilidade (U.S.A. F.A.A. CFR 14, Part 121, 1991).

A ICAO não estabeleceu *standards* no Annex 2 para o SVFR (*Special VFR*), limitando-se a definir o voo **VFR Especial** como aquele autorizado pelo ATC

a operar abaixo dos mínimos estabelecidos para o voo VFR (*Basic VFR* - ICAO. Annex 2, Chapter 1, 2005). Já no Doc. 4444, há previsão de 1.500 metros de visibilidade, sem referência a teto mínimo (ICAO. Doc 4444, 2016). Assim, as autoridades de tráfego aéreo nacionais podem definir seus padrões acerca desse tema. No Brasil, os mínimos meteorológicos para operação VFR Especial são 1.000 pés de teto de 3.000 metros de visibilidade, sempre no período diurno (BRASIL. DECEA. ICA 100-37, 2018). O regramento da FAA para VFR Especial requer visibilidade no solo de 1 (uma) *statute Mile* e que a aeronave se mantenha livre de nuvens (U.S.A. F.A.A. CFR 14, Part 91, 2000).

O nível de voo VFR mais elevado em espaço aéreo RVSM previsto no *Annex 2* é o FL285. O Brasil internalizou a norma com restrições, deixando o nível de voo VFR mais elevado restrito ao FL145. Não há, propriamente, disposição no CFR (*Code of Federal Regulations*) limitando o voo sob VFR à determinada altitude ou nível de voo. Nesse sentido, há regulamento dispondo que a aeronave voando VFR acima de 18.000 pés manterá altitude ou nível de voo conforme indicado pelo ATC, independentemente do rumo magnético (U.S.A. F.A.A. CFR 14, Part 91, 2003). Entretanto, o espaço aéreo acima de 18.000 pés é majoritariamente de classe Alfa no NAS, fato que inviabiliza o voo VFR. Assim, em termos práticos, a máxima altitude para o voo VFR fica limitada a 18.000 pés nos U.S.A.

2.2 Códigos SSR VFR

A autoridade de tráfego aéreo brasileira recomenda que o piloto acione o código SSR 2000 quando em voo e antes de receber instruções ATC (BRASIL. DECEA. ICA 100-37, 2018). Helicópteros e pequenas aeronaves de asa fixa o fazem cotidianamente no Brasil, quando decolam de fazendas ou aeródromos desprovidos de órgão ATC. Todavia, fazer o mesmo no NAS configura violação de regras. Assim ocorre porque, nesse espaço aéreo, as aeronaves VFR devem acionar código SSR 1200 até receberem outra instrução. Acompanhe a fraseologia aplicável:

- ATC: “– *Squawk VFR.*”
- ATC: “– *Squawk 1200.*”

Quando se afastando, circulando ou prosseguindo para áreas de incêndio florestal, o código deve ser 1255; ao participar de missões SAR de operação conjunta, o tráfego VFR deve acionar 1277 e, interessante salientar, o código 1202 é reservado para planadores que não estejam em contato com o ATC.

2.3 Altimetria barométrica

Nos voos executados abaixo de 18.000 pés no território estadunidense, o altímetro de pressão deve estar justado em QNH. Em polegadas de mercúrio, o valor do ajuste de altímetro deve ser colhido (U.S.A. F.A.A. CFR 14, Part 91, 2003):

- junto à estação ao longo da rota e distante não mais de 100 NM;
- outra estação disponível e julgada adequada segundo critério do piloto.

Já voando acima de 18.000 pés, o ajuste na subescala do altímetro de pressão deve ser de 29,92 polegadas de mercúrio (=1.013,2 hPa).

2.4 Códigos SSR IFR

O código **SSR 2000** tem aplicação específica no NAS que difere sobremaneira da forma como é empregado no Brasil. Se necessária – por parte do ATC – a alocação de código não discreto, o código SSR 2000 será instruído para aeronaves operando nas seguintes circunstâncias (U.S.A. FAA. Order JO 7110.65X, 2019):

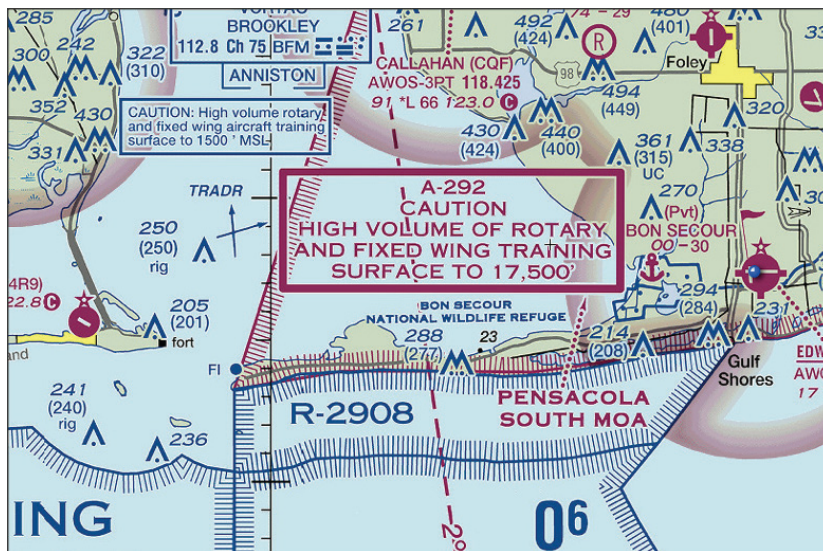
- subindo para o FL240 ou superior;
- subindo para o FL180 ou superior se esse nível estiver na base de espaço aéreo classe Alfa e dividir setor de controle;
- na transferência de tráfego entre setores distintos, cujo limite está no FL180.

Código discreto para o voo em rota deve ser alocado quando a aeronave ultrapassar os limites estratificados anteriormente descritos. Mas há ressalvas importantes a fazer na disciplina de alocação de códigos SSR no espaço aéreo sob administração da FAA: cartas de acordo operacional entre órgãos ATC podem regular diferentemente a matéria no que atine a códigos não discretos (U.S.A. FAA. Order JO 7110.65X, 2019). Importa ressaltar a diferença relevante de que o código SSR 2000 não é acionado por iniciativa do piloto como ocorre no Brasil.

2.5 Alert Area

Denominação particular do regramento da FAA sem identidade nas disposições do DECEA, *Alert Areas* são espaços aéreos que podem conter numerosa atividade de treinamento de pilotos ou atividade aérea atípica ou infrequente sem, no entanto, oferecer risco à navegação aérea (U.S.A. F.A.A. CFR 14, Part 1, 2019).

Figura 5.1 – Alert Area



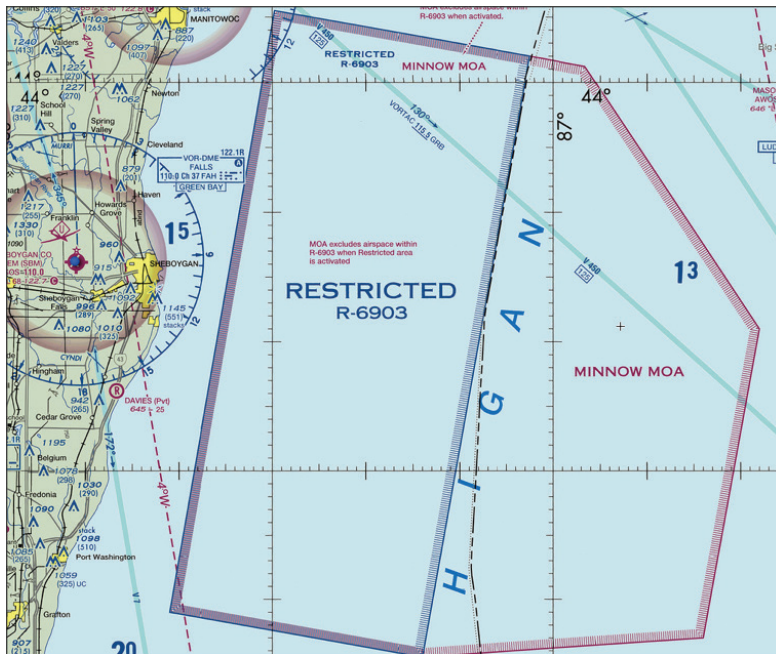
Fonte: SkyVector (2019).

Pilotos participantes das atividades próprias desse espaço aéreo e pilotos que apenas nele transitam são responsáveis por evitar colisão em voo. *Alert Areas* são designadas pela letra A seguida de hífen e grupo de três algarismos.

2.6 Controlled Firing Area – CFA

CFAs são espaços aéreos não cartografados, sem limites verticais ou horizontais definidos, não evidenciados em NOTAM e em cujo interior ocorrem atividades nocivas à navegação aérea desavisada. Entre as atividades nocivas típicas de CFA estão: operações de artilharia, explosões e testes estáticos de propulsores de foguetes (FRITTS, 2017). Naturalmente, surge a questão acerca de como poderá o piloto ser alertado, mas o questionamento não se faz necessário, uma vez que a atividade nociva é controlada e o espaço aéreo é vigiado para que a atividade seja interrompida antes que a aeronave corra algum risco. Assim, adequado concluir que a CFA é transparente para o piloto, não sendo o caso de desvio de rota, mesmo quando o piloto tomar conhecimento da atividade.

Figura 5.3 – MOA



Fonte: SkyVector (2019).

A Figura 5.3 descreve MOA que, circunstância não rara, contém espaço aéreo restrito. Existem MOAs com mais de 130 NM em um de seus lados e que alcançam até 18.000 pés exclusive, fato que enseja modificação de regra de voo ou escolha de nível de voo IFR em espaço classe Alfa. Desnecessário salientar que, não obstante o ingresso sob VFR ser livre, cautela extrema é recomendada no trânsito por tais espaços (NOLAN, 2011).

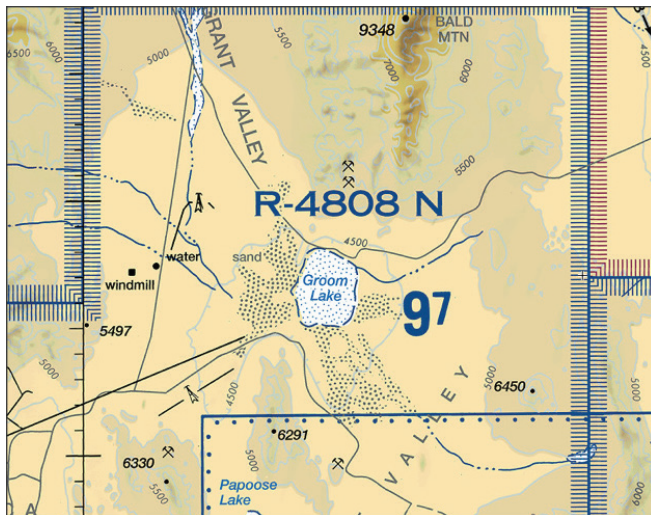
2.9 Prohibited Area

Prohibited Area designa espaço aéreo de dimensões definidas no qual o voo não é permitido por motivos de segurança ou para resguardar interesse nacional. São descritas em cartas VFR e IFR. Em ambas, são indicadas pela letra P seguida de hífen e número. Exemplo de descrição em carta VFR de área proibida:

2.10 Restricted Area

Assim como as áreas proibidas, as áreas restritas são cartografadas e publicadas em diário oficial. Ingressar nesses espaços aéreos sem autorização é arriscado devido à possibilidade de atividades perigosas para a aeronave estarem em curso. Disparos de artilharia ou testes de mísseis são possibilidades nesses espaços aéreos. A Figura 5.6 mostra a famosa Area 51 e seu correspondente espaço aéreo de uso restrito.

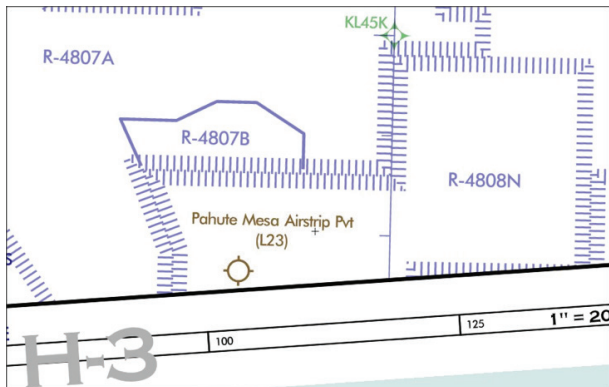
Figura 5.6 – Restricted Area R-4808 N em carta VFR



Fonte: SkyVector (2019).

São indicadas pela letra R seguida de hífen e número, sendo usual o acréscimo de outra letra para distinguir áreas contíguas, uma ao sul de outra ao norte, por exemplo.

Figura 5.7 – Restricted Area R-4808 N IFR



Fonte: SkyVector (2019).

Áreas restritas permanentes são descritas em cartas VFR e IFR.

2.11 Warning Area

Warning Areas são similares às áreas restritas. Diferenciam-se pela localização, sempre fora do espaço aéreo estadunidense, sobre o mar e em espaço aéreo internacional (NOLAN, 2011).

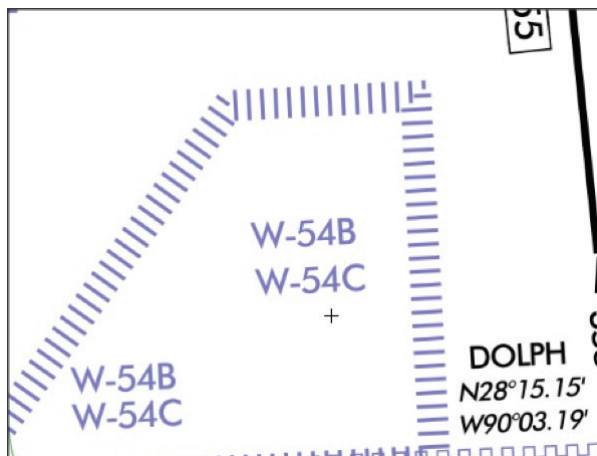
Figura 5.8 – Warning Area no Golfo do México



Fonte: SkyVector (2019).

Warning Areas também são descritas em cartas de alta (altitude):

Figura 5.9 – Warning Area no Golfo do México

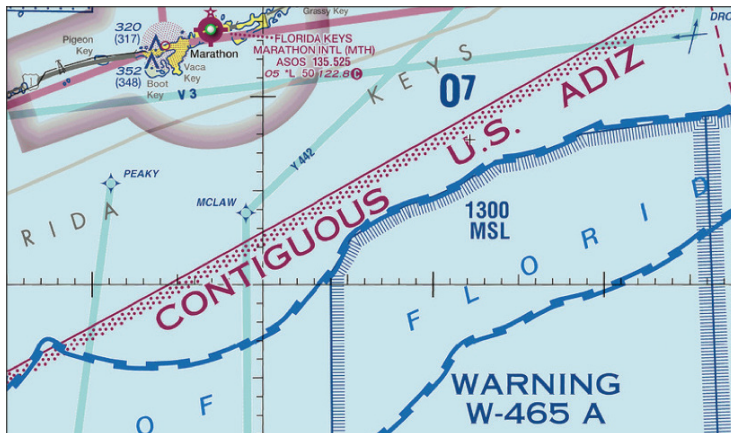


Fonte: SkyVector (2019).

2.12 ADIZ – Air Defense Identification Zone

O ingresso nos espaços aéreos ADIZ requer apresentação de plano de voo, contato rádio prévio com ATC e, no caso de voo VFR, apresentação de plano específico, o D/VFR. Existem ADIZs territoriais e sobre áreas metropolitanas estadunidenses (NOLAN, 2011).

Figura 5.10 – ADIZ no litoral da Flórida



Fonte: SkyVector (2019).

2.13 Special Air Traffic Rules (SATR) + Special Flight Rules Area (SFRA)

O corpo normativo federal estadunidense, *Code of Federal Regulations* (CFR), estabelece regras de tráfego aéreo especiais para aplicação em espaços aéreos determinados (U.S.A. FAA. AIP, 2019). Exceto se autorizado diferentemente pelo ATC, o piloto voando em determinadas áreas, como o *Grand Canyon National Park*, seguirá regras de tráfego aplicáveis nesse espaço aéreo específico. Ao tempo da redação do livro didático, o CFR listava 15 SFRA no seu *Title 14, Chapter I, Subchapter F, Part 93* (U.S.A. F.A.A. CFR 14, Part 93, 2019).

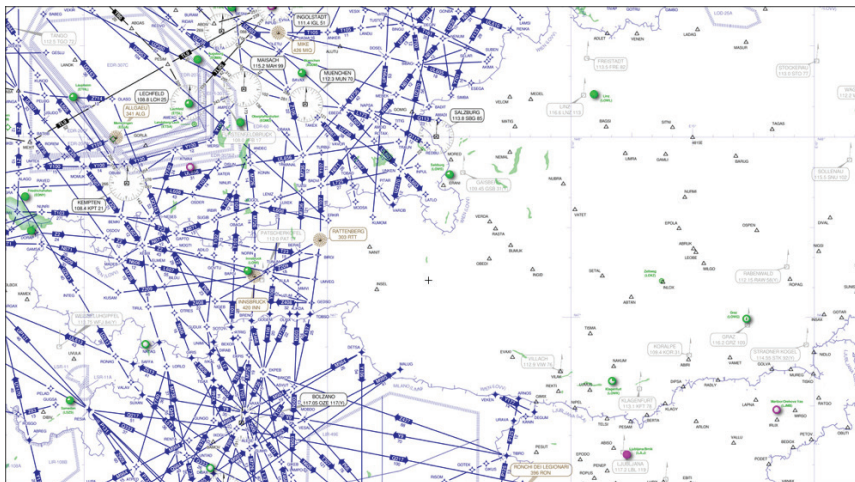
Seção 3

Free Route Airspace

A temática vinculada ao tráfego aéreo internacional, entendido como disciplina, é muito dinâmica. O que foi estudado até agora é mutável por natureza, eis que se tratou de normas e outras criações humanas. Exemplo desse dinamismo remete

não às especificidades do NAS, mas às rotas europeias de navegação aérea, aerovias em especial. A Figura 5.11 merece olhar atento: note a ausência de aerovias superiores na Áustria.

Figura 5.11 – *Free Route Airspace*



Fonte: SkyVector (2019).

As aerovias superiores centro europeias encontram limites nas fronteiras ocidentais da Áustria e da Eslovênia. Além desses dois países, Croácia, Bósnia Herzegovina, Montenegro, Albânia, Hungria, Eslováquia e, no oeste europeu, Irlanda, adotaram a metodologia de **Free Route Airspace** no espaço aéreo superior. Quanto ao espaço aéreo inferior, esta metodologia foi adotada pela Áustria e pela Hungria (por enquanto).

Seção 4

Sobre o trânsito de pessoas e aeronaves

A leitura atenta da Convenção de Chicago revela que esse diploma de Direito Internacional recomenda ser desejável que os controles governamentais aplicados ao transporte aéreo não sejam mais restritivos do que aqueles voltados para outros meios de transporte.

Por seu turno, o *Annex 9 to the Convention on International Civil Aviation* declara, ao nível de *standard*, que a liberação de aeronave saindo ou ingressando em território de país contratante deve ocorrer sem demoras desnecessárias (ICAO. Annex 9, Chapter 2, 2017).

O Anexo 9 apresenta inequívoco sentido de garantias para tripulantes e passageiros, ao passo que procura racionalizar as exigências governamentais. Para que esses ideais sejam alcançados, há disposições sobre documentação a apresentar em face das autoridades governamentais. Alguns documentos, na forma de formulários, são assinados pelo comandante da aeronave. Valioso estudar as obrigações, faculdades, prerrogativas e os documentos correspondentes que são afetos à tripulação.

4.1 Da documentação exigível e das limitações estatais

Os estados contratantes não devem exigir documentos relativos à entrada e saída de aeronaves que não aqueles arrolados no Capítulo 2 do Anexo 9. Ainda, caso o documento tenha tido curso eletrônico (*online*), a autoridade do estado contratante não poderá demandar versão em papel posteriormente.

Entre os documentos listados no Anexo 9, destaca-se a **General Declaration**. No formato de formulário, o documento declara o estado de saúde aparente de tripulantes e passageiros que possam estar padecendo de doenças contagiosas e os recentes procedimentos sanitários aplicados à aeronave. Pode ser assinado por agente autorizado ou pelo piloto em comando.

Havendo suspeita da presença de pessoa padecendo de doença contagiosa a bordo, é obrigação do piloto em comando informar o ATC, além de seguir os procedimentos programados pelo operador da aeronave e pelas autoridades governamentais dos países de origem e destino (ICAO. Annex 9, Chapter 8, 2017). As respectivas AIPs (*Aeronautical Information Publication*) devem ser consultadas para tanto.

Figura 5.12 – *General Declaration*

GENERAL DECLARATION (Outward/Inward)		
Operator		
Marks of Nationality and Registration..... Flight No. Date		
Departure from Arrival at		
(Place) (Place)		
FLIGHT ROUTING ("Place" Column always to list origin, every en-route stop and destination)		
PLACE	NAMES OF CREW*	NUMBER OF PASSENGERS ON THIS STAGE**
		<i>Departure Place:</i>
		Embarking
		Through on same flight
		<i>Arrival Place:</i>
		Disembarking
		Through on same flight
Declaration of Health Name and seat number or function of persons on board with illnesses other than airsickness or the effects of accidents, who may be suffering from a communicable disease (a fever — temperature 38°C/100°F or greater — associated with one or more of the following signs or symptoms, e.g. appearing obviously unwell; persistent coughing; impaired breathing; persistent diarrhoea; persistent vomiting; skin rash; bruising or bleeding without previous injury; or confusion of recent onset, increases the likelihood that the person is suffering a communicable disease) as well as such cases of illness disembarked during a previous stop..... Details of each disinsecting or sanitary treatment (place, date, time, method) during the flight. If no disinsecting has been carried out during the flight, give details of most recent disinsecting Signed, if required, with time and date Crew member concerned		For official use only
I declare that all statements and particulars contained in this General Declaration, and in any supplementary forms required to be presented with this General Declaration, are complete, exact and true to the best of my knowledge and that all through passengers will continue/have continued on the flight.		
SIGNATURE Authorized Agent or Pilot-in-command		

Fonte: ICAO (2018).

Existem estados contratantes que incentivam o envio prévio e *on-line* da *General Declaration* e, vale salientar, não obstante as disposições governamentais que venham a tornar ágil e fácil o processamento desse documento, não é facultado ao estado membro da ICAO exigir informações distintas daquelas previstas no modelo de formulário presente no Anexo 9 (reproduzido na Figura 5.10) (ICAO. Annex 9, Chapter 2, 2017).

As diferenças entre os *standards* do Anexo 9 e a normatização doméstica de cada país são encontradas na respectiva AIP. Para exemplo, nosso país não exige *General Declaration* para liberação de aeronaves em missão de transporte aéreo internacional regular, conforme prevê a parte GEN da AIP Brasil (BRASIL. DECEA, 2019).

Sob condições de normalidade não deve ser exigido **Passenger Manifest**. Sem embargo, caso isso se faça necessário, as informações coletadas devem ser somente aquelas previstas no formulário padronizado constante no Anexo 9 (ICAO. Annex 9, Chapter 2, 2017).

Figura 5.13 – *Passenger Manifest*

PASSENGER MANIFEST			
Operator.....			
Marks of Nationality and Registration*		Flight No.	Date
Point of embarkation..... (Place)		Point of disembarkation (Place)	
Surname and initials	Nationality	For use by operator only	For official use only
.....			
.....			
.....			
.....			

Fonte: ICAO (2018).

Nota-se que somente o sobrenome e as iniciais são apresentadas no manifesto de passageiros.

Outra limitação imposta ao poder estatal dos países membros da ICAO guarda vinculação direta com o piloto em comando e com o operador da aeronave. Ambos podem recusar o transporte de pessoas deportadas no caso de haver razoável preocupação quanto à segurança do voo. A prática de gestão do operador da aeronave no que atine ao número de pessoas nessa condição, que podem ser transportadas por voo, deve ser respeitada pela autoridade estatal envolvida na deportação.

Há previsão no Anexo 9 para que os estados contratantes (vinculados à Convenção de Chicago) divulguem via *Aeronautical Information Publication* (AIP) suas exigências relativas às autorizações de sobrevoos ou pouso nos seus territórios (ICAO. Annex 9, Chapter 2, 2017).

Para facilitar o trânsito de aeronaves e promover a agilidade nas operações, tão caras à indústria do transporte aéreo, o Anexo 9 estabelece *standard* com o propósito de que somente uma agência ou departamento governamental receba e processe os pedidos de autorização de sobrevoos ou de pouso (ICAO. Annex 9, Chapter 2, 2017). O Brasil apresenta diferença nesse ponto – divulgada na AIP Brasil, sublinhe-se – pois o DECEA e a ANAC recebem e processam tais pedidos.

4.2 Do pouso irregular

Nos casos de força maior, além da possibilidade de controle por parte do piloto em comando, nos quais pouso em **aeroporto não internacional** se fizer necessário, as formalidades e procedimentos administrativos devem ser reduzidos ao mínimo necessário (ICAO. Annex 9, Chapter 7, 2017). Todavia, essa é uma orientação de tão pouca objetividade que pilotos e operadores não devem esperar diferenças veiculadas em AIP. Entretanto, o *standard* referente à obrigação do piloto em comando ou do tripulante que o sucede em comunicar o pouso irregular à autoridade estatal concernente é bem claro (ICAO. Annex 9, Chapter 7, 2017).

Se a aeronave puder decolar logo após pouso em aeroporto não internacional, espera-se que a autoridade aeronáutica local expeça as liberações adequadas sem maiores delongas, proporcione proteção à carga que eventualmente não puder ser transportada e dê guarida aos passageiros e tripulantes durante a espera que se fizer necessária (ICAO. Annex 9, Chapter 7, 2017).

Na falta de possibilidades de decolagem ou se a aeronave não apresentar condições de voo, é prerrogativa do piloto em comando – enquanto aguarda instruções da autoridade local concernente – tomar as medidas necessária à proteção de tripulantes, passageiros, carga e aeronave.

4.3 Pouso, decolagem e sobrevoo regulares

Cada país possui regras específicas sobre permissão de ingresso no espaço aéreo, sobrevoo, pouso e decolagem. Não obstante o regramento da ICAO, os países signatários da Convenção de Chicago apresentam especificidades no processamento dos pedidos de pouso e sobrevoo, mormente no que se refere a dados da aeronave e documentação a apresentar ou portar.

As especificidades devem constar nas AIPs. Para exemplo, o Brasil somente exige notificação, em lugar de permissão de sobrevoo, para aeronaves privadas ou em voo não comercial (BRASIL. ANAC, 2019).

4.4 Disfuncionalidades do tráfego aéreo internacional

A temática acerca das disfuncionalidades e do tráfego aéreo internacional e das idiossincrasias administrativas nacionais é casuística por natureza, mais geopolítica do que técnica e, portanto, sobremodo em sede de livro didático generalista, é mais satisfatório apontar exemplos a título de cautela e caminho de pesquisa.

Note-se quão importante é a prévia consulta às AIPs concernentes aos espaços aéreos a sobrevoar e aos territórios a pousar nestes exemplos não exaustivos (LEAVELL, 2015):

- não são permitidos voos diretos entre a Argentina e as Ilhas Falklands/Malvinas;
- Israel não permite o sobrevoo de seu território;
- aeronaves de fabricação israelense não podem sobrevoar a maioria dos países do oriente médio (ao tempo da redação da obra);
- há limitação de rota entre a China e a Índia.

Ainda:

- voos diretos entre a China Continental e Taiwan não são permitidos na maioria dos casos (MUMFORD, 2017) ;
- repúblicas e monarquias islâmicas não permitem o pouso e o sobrevoo de aeronaves provenientes de Israel ou com destino a essa nação (MUMFORD, 2018).

Recomendável, igualmente, a atenção às notícias do dia. Para exemplo, em 21 de fevereiro de 2019 foram detectados sinais de varredura ativa de radares de baterias antiaéreas S-300 nas proximidades da fronteira do Brasil com a Venezuela (DURING, 2019). Desde então, até o final da redação desta obra, a Figura 5.14 passou a descrever adequadamente o quadro de circulação aérea na parte setentrional da América do Sul. Quadro problemático e dispendioso, uma vez que uma rota ortodrômica entre SBGR e KMIA (Miami) passa poucas milhas a oeste de Caracas.

Figura 5.14 – Venezuela ADS-B



Fonte: Flightradar24 (2019).

Deveras, a consulta às AIPs não é suficiente. Sim, pilotos e gerentes de operações aéreas devem ser pessoas muito bem informadas.

Atividades de autoavaliação

Classifique as assertivas como verdadeiras (V) ou falsas (F) e justifique sua resposta:

- a) () A ICAO oferece definição precisa sobre o SVFR.

- b) () Ao receber instrução *Squawk* IFR o piloto deve acionar SSR 1200.

- c) () Não há risco à navegação aérea em Alert Area.

- d) () Os limites horizontais e verticais de *Controlled Firing Areas* podem ser encontrados nas cartas de navegação aerea FAA ou Jeppesen.

- e) () O risco inerente ao transporte aéreo enseja a possibilidade de os países contratantes publicarem normas mais restritivas do que aquelas aplicadas ao transporte ferroviário.

Lista de siglas e abreviaturas

AAC	<i>Airline Administrative Control</i>
ABAS	<i>Aircraft - based Augmentation System</i>
ACARS	<i>Aircraft Communications,Addressing and Reporting System</i>
A-CDM	<i>Airport Collaborative Decision Making</i>
ADIZ	<i>Air Defense Identification Zone</i>
ADS	<i>Automatic Dependent Surveillance</i>
ADS-A	<i>Automatic Dependent Surveillance - Addressed</i>
ADS-B	<i>Automatic Dependent Surveillance - Broadcast</i>
ADS-C	<i>Automatic Dependent Surveillance - Contract</i>
ADS-R	<i>Automatic Dependent Surveillance - Rebroadcast</i>
AIDC	<i>Air Traffic Services Interfacility Data Communications</i>
AIM	<i>Aeronautical Information Management</i>
AIP	<i>Aeronautical Information Publication</i>
AIS	<i>Aeronautical Information Service</i>
ANSP	<i>Air Navigation Service Provider</i>
AOC	<i>Aeronautical Operational Control</i>
APC	<i>Air Passenger Communications</i>
A-SMGCS	<i>Advanced Surface Movement Guidance and Control System</i>
ATC	<i>Air Traffic Control</i>
ATCSCC	<i>Air Traffic Control System Command Center</i>
ATFM	<i>Air Traffic Flow Management</i>
ATM	<i>Air Traffic Management</i>
ATS	<i>Air Traffic Services</i>
CCO	<i>Continuous Climb Operation</i>
CDI	<i>Course Deviation Indicator</i>

CDM	<i>Collaborative Decision Making</i>
CDO	<i>Continuous Descent Operation</i>
CDU	<i>Control Display Unit</i>
CDU	<i>Control Display Unit</i>
CFA	<i>Controlled Firing Area</i>
CFR	<i>Code of Federal Regulations</i>
CMU	<i>Communications Management Unit</i>
CNS	<i>Communication, Navigation and Surveillance</i>
CPDLC	<i>Controller-Pilot Data Link Communications</i>
CTDI	<i>Cockpit Display of Traffic Information</i>
DBU	<i>Data Base (storage) Unit</i>
DME	<i>Distance Measuring Equipment</i>
EANA	<i>ANSP da Argentina</i>
EARP (autor)	<i>Espaços aéreos, rotas ou procedimentos</i>
EHS	<i>Enhanced Surveillance</i>
ELS	<i>Elementary Surveillance</i>
ENAIRE	<i>ANSP da Espanha</i>
ES	<i>Extended Squitter</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAB	<i>Functional Airspace Block</i>
FANS	<i>Future Air Navigation System</i>
FBW	<i>Fly-by-Wire</i>
FIS-B	<i>Flight Information Service – Broadcast</i>
FMC	<i>Flight Management Computer</i>
FMS	<i>Flight Management System</i>
FOM	<i>Figure of Merit</i>
FRA	<i>Free Route Airspace</i>
FUA	<i>Flexible use of airspace</i>
GBAS	<i>Ground-based Augmentation System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HF	<i>High frequency</i>

IAS	<i>Indicated Airspeed</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IM	<i>Interval Management</i>
INS	<i>Inertial Navigation System</i>
IRS	<i>Inertial Reference System</i>
IRU	<i>Inertial Reference Unit</i>
ITP	<i>In Trail Procedure</i>
LAAS	<i>Local Area Augmentation System</i>
LDE	<i>Lateral Deviation Event</i>
LNAV	<i>Lateral Navigation</i>
LORAN	<i>Long Range Navigation</i>
LP	<i>Localiser Performance</i>
LRDE	<i>Level Range Deviation Event</i>
MFD	<i>Multi Function Display</i>
MINIT	<i>Minutes-in-trail</i>
MIT	<i>Miles-in-trail</i>
MLat	<i>Multilateração</i>
MLS	<i>Microwave Landing System</i>
MOA	<i>Military Operating Area</i>
MSL	<i>Mean Sea Level</i>
NAS	<i>National Air Space [of U.S.A.]</i>
NAVAID	<i>Navigational Aid</i>
NOTAM	<i>Notice to Airmen</i>
NSA 1	<i>National Security Area</i>
NSA 2	<i>National Security Agency</i>
PBN	<i>Performance Based Navigation</i>
PFD	<i>Pilot Flight Display</i>
PRM	<i>Precision Runway Monitor</i>
PSNA	<i>Prestador de Serviços de Navegação Aérea</i>
PSR	<i>Primary Surveillance Radar</i>
RADAR	<i>Radio Detecting and Ranging</i>
RAIM	<i>Receiver Autonomous Integrity Monitoring</i>

RNAV	<i>Area Navigation</i>
RNP	<i>Required Navigation Performance</i>
SAR	<i>Search and Rescue</i>
SATR	<i>Special Air Traffic Rules</i>
SBAS	<i>Satellite-based Augmentation System</i>
SESAR	<i>Single European Sky ATM Research (braço tecnológico)</i>
SFRA	<i>Special Flight Rules Area</i>
SID	<i>Standard Instrument Departure</i>
SID	<i>Standard Instrument Departure</i>
SSR	<i>Secondary Surveillance Radar</i>
STAR	<i>Standard Terminal Arrival Routes</i>
TACAN	<i>Tactical Air Navigation</i>
TCAS	<i>Traffic alert Collision Avoidance System</i>
TDofA	<i>Time Difference of Arrival</i>
TIS-B	<i>Traffic Information Service – Broadcast</i>
TMA	<i>Terminal Control Area</i>
ToC	<i>ToC – Top of Climb</i>
UAT	<i>Universal Access Transceiver</i>
VDR	<i>VHF Digital Radio</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VNAV	<i>Vertical Navigation</i>
VOR	<i>VHF Omnidirectional Radio Range</i>
VORTAC	<i>Tactical VOR</i>
VRE	<i>Vertical Rate Change Event</i>
WAAS	<i>Wide Area Augmentation System</i>
WAM	<i>Wide Area Multilateration</i>
WCE	<i>Waypoint Change Event</i>

Considerações Finais

Parabéns, você acaba de concluir o estudo de CNS/ATM – Tráfego Aéreo Internacional. Este assunto é imprescindível para quem quer progredir na indústria da aviação. Você estudou conceitos essenciais sobre comunicação que – muito provavelmente – serão reiteradamente resgatados nas inovações tecnológicas que virão. Conhecimentos adquiridos sobre navegação assistida por satélites e seus sistemas de aumentação tornarão mais natural a atualização, em face da constante modernização nesse campo do saber aeronáutico. Foi evidenciado que a vigilância não mais será atividade exclusiva e hermeticamente executada pelo ATC, mas que se manifesta cada vez mais participativa, conjugando ações de pilotos e controladores. A articulação dos aprendizados acerca de vigilância, navegação e comunicação aeronáutica dará subsídios para sua atuação no âmbito do tráfego aéreo internacional, sempre com desenvoltura e autonomia na aquisição de dados e informações indispensáveis para a operação aérea no estrangeiro. Vivo é o nosso desejo, para você, de sucesso e satisfação na aviação! *Ad astra et ultra!*

Professor Marcos Fernando Severo de Oliveira

Referências

Referências do Capítulo 1

ADAMS, Charlotte. **Acars on the Net**. 2001. Disponível em: <https://www.aviationtoday.com/2001/09/01/acars-on-the-net/>. Acesso em: 26 jan. 2018.

AIRBUS (France). **Getting to grips with datalink**. Blagnac: Airbus, 2004. 192 p. P. 123.

AIRLINES ELECTRONIC ENGINEERING COMMITTEE (U.S.A.). **ARINC specification 618-6**. Annapolis: Arinc, 2006. 325 p.

AKAIWA, Yoshihiko. **Introduction to digital mobile communication**. 2. ed. New Jersey: Wiley, 2015. 625 p.

ARINC (U.S.A.). **ARINC 633-3**: AOC air-ground data and message exchange format. Maryland: SAE ITC, 2019. 795 p.

ARINC AVIATION (U.s.a.). **Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS)**. Disponível em: https://www.rockwellcollins.com/Services_and_Support/Information_Management/~media/DA843DB0792946C58740F613328E5022.ashx. Acesso em: 02 jan. 2018.

BCCAMPUS OPEN EDUCATION. **AM FM**. [2018]. Disponível em: https://opentextbc.ca/chemistry/cnx_chem_06_01_amfm/. Acesso em: 18 fev. 2019.

BOUSQUIE, Jean-francois. **PBSC**: operational description on Airbus aircraft. 2015. Disponível em: <https://www.icao.int/EURNAT/Other%20Meetings%20Seminars%20and%20Workshops/NAT%20PBCS%20WORKSHOP/2nd%20NAT%20PERFORMANCE-BASED%20COMMUNICATIONS%20AND%20SURVEILLANCE%20WORKSHOP/NAT%20PBCS%20Wkshp-2%20PPT16.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2015.

BRASIL. Circular nº N 06/12, de 24 de abril de 2012. **Atis Data Link (d-atis)**. Rio de Janeiro, RJ: DECEA, 31 maio 2012. Disponível em: <https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes&p=aic>. Acesso em: 22 jan. 2019.

BRASIL. COMAER. **Comunicação no tráfego aéreo do futuro (CNS/ATM) será realizada por meio de satélites**. 2011. Disponível em: <http://www.fab.mil.br/noticias/mostra/8446/capa/>. Acesso em: 28 dez. 2018.

CAMPOS, Sarmiento. **O que são as Ondas Curtas?** 2018. Disponível em: <http://www.sarmiento.eng.br/Radio_Ondas_curtas.htm>. Acesso em: 27 dez. 2018.

COMPUTER/ELECTRONICS QUESTIONS AND ANSWERS (U.S.A.). **Communication:** phase modulation. 2014. Disponível em: <<http://www.equestionanswers.com/notes/modulation-analog-digital.php>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

CONNECTED AVIATION TODAY (U.S.A.). Collins Aerospace. **The evolution of ACARS series with Rockwell Collins' Dan Pendergast.** 2018. Disponível em: <https://connectedaviationtoday.com/evolution-acars-series-rockwell-collins-dan-pendergast/#.XGGFq8HQiUk>. Acesso em: 12 fev. 2019.

DIEZ, David. **ICAO FANS Committee.** [2009]. Disponível em: <https://fanscnsatm.com/archives/19>. Acesso em: 22 fev. 2019.

ELETRONIC NOTES. **Single sideband modulation.** [2019]. Disponível em: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/single-sideband-ssb-basics.php>. Acesso em: 22 fev. 2019.

ELSYS. (Brasil). **UHF/VHF.** 2015. Disponível em: <https://blog.elsys.com.br/diferenca-entre-uhf-e-vhf/>. Acesso em: 27 dez. 2018.

EUROCONTROL. **Link 2000+ programme:** ATC data link operational guidance. 2009. Disponível em: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/article/content/documents/nm/link2000/atc_dl_oper_guidance_for_link2000_services_v6_0.pdf. Acesso em: 22 fev. 2019.

FARUQUE, Saleh. **Radio frequency modulation made easy:** Springer briefs in electrical and computer engineering. Cham: Springer, 2017. 110 p. Cap. 1, p. 6.

FELICI, Tommaso; BIONDI, Francesco; GRECO, Vittorio. **How to update A320 AIRAC.** 2018. Disponível em: <http://tomscockpit.com/2018/02/17/update-a320-flightfactor-airac/>. Acesso em: 12 fev. 2019.

FRENZEL, Lou. **Understanding modern digital modulation techniques.** 2012. Electronic Design. Disponível em: <https://www.electronicdesign.com/communications/understanding-modern-digital-modulation-techniques>. Acesso em: 20 fev. 2019.

GÓMEZ, Edgar Leonardo Gómez. **VHF data link.** 2012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6383054>. Acesso em: 27 fev. 2019.

GUIMARÃES, Dyan Adionel. **Contributions to the understanding of the MSK modulation.** 2008. Revista online do Instituto Nacional de Telecomunicações. Disponível em: <https://www.inatel.br/revista/busca/148-1-contributions-to-the-understanding-s356794-1/file>. Acesso em: 22 fev. 2019.

HONEYWELL AEROSPACE (U.s.a.). **Mark II + communications management unit (CMU)**. Phoenix: Honeywell Aerospace, 2018. 4 p. Marketing brochure. Disponível em: <https://aerospace.honeywell.com/en/~media/aerospace/files/brochures/markii-communicationsmanagementunit-bro.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2018.

ICAO. **Aeronautical Telecommunications**. 7. ed. Montreal: ICAO, 2016. 3 v. Volume III, Part I, 3.2.

ICAO. **Air traffic management: PANS-ATM**. 16. ed. Montreal: ICAO, 2016. 462 p. Definitions.

IT OUTSOURCING (U.S.A.). **Radio HF/VHF/UHF**. 2018. Disponível em: <https://www.ito-inc.com/tech7.html>. Acesso em: 28 dez. 2018.

MAHMOUD, Mohamed Slim Ben et al. **Aeronautical air-ground data link communications**. London: Wiley, 2014. 115 p.

MANDAYAM, Narayan B. **Wireless communication technologies**. 2002. Disponível em: <http://www.winlab.rutgers.edu/~narayan/Course/WSID/Lectures02/lect11.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2019.

MASLIN, Nicholas. **HF communications: a systems approach**. London: Pitman, 1987. 189 p. Cap. 1, p. 3.

MATH IS FUN. **Amplitude, period, phase shift and frequency**. 2018. Disponível em: <https://www.mathsisfun.com/algebra/images/phase-shift.svg>. Acesso em: 18 fev. 2019.

MEDINA, Daniel; HOFFMANN, Felix. The airborne internet. In: PLASS, Simon (Org.). **Future aeronautical communications**. 2. ed. Köln: German Aerospace Center, 2016. Cap. 17. p. 355-374.

MINI PHYSICS (U.S.A.). **Electromagnetic spectrum & sinusoidal EM plane waves**. [2017]. Disponível em: <https://www.miniphysics.com/uy1-electromagnetic-spectrum-sinusoidal-em-plane-waves.html>. Acesso em: 15 fev. 2018.

MUSA, Sarhan M.; WU, Zhijun. **Aeronautical Telecommunications Network: advances, challenges, and modeling**. 3. ed. Oxfordshire: Taylor & Francis Group, 2017. 504 p.

ONEYWELL AEROSPACE (U.S.A.). **Datalinks FANS 1/A+ and PM-CPDLC**. 2015. Disponível em: <https://aerospace.honeywell.com/en/news-listing/2015/october/how-datalinks-fans-1a-and-pm-cpdlc>. Acesso em: 23 fev. 2019.

SIEMENS. **Ruggedcom win 5.1 GHz solution for aviation**. [2018]. Disponível em: <https://w3.siemens.com/mcims/industrial-communication/en/rugged-communication/technology-highlights/pages/aeromacs.aspx>. Acesso em: 27 fev. 2019.

SITA (Switzerland). **ACARS**: timeless tech for the connected aircraft age. 2017. White paper. Disponível em: <https://www.sitaonair.aero/wp-content/uploads/2017/10/ACARS-white-paper.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2018.

SITA (U.S.A.). **Aircom ATN Services**: VHF datalink partnership. 2010. Disponível em: <https://www.sita.aero/globalassets/docs/use-cases/aircom-atn-services-use-case.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2018.

SKYBRARY. **Controller Pilot Data Link Communications**. 2017. Disponível em: [https://www.skybrary.aero/index.php/Controller_Pilot_Data_Link_Communications_\(CPDLC\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Controller_Pilot_Data_Link_Communications_(CPDLC)). Acesso em: 25 fev. 2019.

SKYBRARY. **ACARS**. 2018. Disponível em: https://www.skybrary.aero/index.php/Aircraft_Communications,_Addressing_and_Reporting_System. Acesso em: 28 dez. 2018.

SOUZA, Valdinar Monteiro de. **A corrida tecnológica e a morte do telex**. 2018. Disponível em: <http://blogdojoaocarlos.com.br/corrida-tecnologica-e-morte-do-telex/>. Acesso em: 28 dez. 2018.

STACEY, Dale. **Aeronautical radio communication systems and networks**. Chichester: Wiley, 2008. 350 p. Cap. 5, p. 165.

STIMAC, Tomislav. **Definition of frequency bands**. 2018. Disponível em: <http://www.vlf.it/frequency/bands.html>. Acesso em: 24 dez. 2018.

THE CARLYLE GROUP (U.S.A.). **ARINC**: value creation case studies. 2018. Disponível em: [https://www.carlyle.com/value-creation-case-studies/value-creation-case-studies/value-1](https://www.carlyle.com/value-creation-case-studies/value-creation-case-studies/value-creation-case-studies/value-1). Acesso em: 28 dez. 2018

THE CIVIL AVIATION HISTORICAL SOCIETY & AIRWAYS MUSEUM. **The Q code**. Disponível em: <http://www.airwaysmuseum.com/Q%20code.htm>. Acesso em: 24 dez. 2018.

TOOLEY, Mike; WYATT, David. **Aircraft communications and navigation systems: principles, maintenance and operation**. London: Routledge, 2011. 336 p. Capítulo introdutório.

UTILITY DXERS (Netherlands). **HFDL**: high frequency data link a.k.a. HF ACARS. 2019. Disponível em: <http://www.udxf.nl/What-Is-HFDL.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2019.

VAN WAMBEKE, Nicolas; GINESTE, Mathieu. The role of satellite systems in future aeronautical communications |. In: PLASS, Simon (Ed.). **Future aeronautical communications**. 2. ed. Cologne: Institute of Communications and Navigation, 2016. Cap. 9. p. 181-200.

WELLS, Christopher J. **Amplitude modulation**. 2009. TechnologyUK. Disponível em: <http://www.technologyuk.net/telecommunications/telecom-principles/amplitude-modulation.shtml>. Acesso em: 20 fev. 2019.

WHEEN, Andrew. **Dot-dash to dot.com**: How modern telecommunication evolved from the telegraph to the internet. Chichester: Springer, 2011. 301 p. Cap. 6, p. 93.

WIEN, Kent. **Advise you have “alpha”**: The ATIS for Boston tonight. 2008. Disponível em: <http://www.flickrriver.com/photos/flyforfun/2633170418/>. Acesso em: 07 jan. 2019.

WIKIPEDIA. **Frequência**. [2018]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Som_freq.png. Acesso em: 15 fev. 2018.

YOCHI, Roy T.; HEINKE, Ann. Communications. In: SPITZER, Cary R.; UMA; FERREL, Thomas (Org.). **Digital avionics handbook**. 3. ed. New York: Crc Press, 2015. Cap. 2. p. 31-44.

Referências do Capítulo 2

ALABASTER, Clive. **Pulse Doppler radar**: principles, technology, applications. Raleigh: Scitech, 2012. 428 p. P. 3-5.

ALTER, Todd. Satellite based augmentation systems. In: TEUNISSEN, Peter J.g.; MONTENBRUCK, Oliver (Ed.). **Springer handbook of global navigation satellite systems**. Trento: Springer, 2017. p. 339-361.

ASTRONOO (Portugal). **Sistema de navegação por satélite (GPS)**: GPS, geoposicionamento por satélite. [2013]. Disponível em: <http://www.astronoo.com/pt/artigos/gps.html>. Acesso em: 31 mar. 2019.

BAIERLE, Doris. **SBAS - Satellite Based Augmentation System no Brasil e seus benefícios para a aviação geral**. 2018. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Aeronáuticas, Unisul - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018. Cap. 2. Disponível em: <https://riuni.unisul.br/handle/12345/6148>. Acesso em: 22 mar. 2019.

BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **RNP**. [2011]. Disponível em: <https://www.decea.gov.br/sirius/index.php/2011/06/14/rnp-performance-de-navegacao-requerida/>. Acesso em: 05 abr. 2019.

BRASIL. DECEA. Ministério da Defesa. **Manual de confecção de cartas aeronáuticas - MACAR**: cartas IFR. Rio de Janeiro: DECEA, 2017. 246 p. Subitem 11.6.3, p.178. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4586>. Acesso em: 12 mar. 2019.

CAE OXFORD AVIATION ACADEMY (U.k.). **Performance-based navigation (PBN)**. London: CAE, 2014. 438 p. Chapter 19.

CERUZZI, Paul E. **GPS**. Cambridge: Mit Press, 2018. 217 p.

CROCKER, David. **Dictionary of aviation**. 2nd. ed. London: A & C Black, 2005. 288 p. P. 135.

DORSEY, Arthur J. et al. Global Positioning System. In: KAPLAN, Elliott D.; HEGARTY, Christopher J. **Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications**. 3rd. ed. Boston: Artech House, 2017. Chap. 3. p. 106-115.

EGSA. **Galileo is the european global satellite-based navigation system**. 2018. Disponível em: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>. Acesso em: 04 abr. 2019.

ESA. **BeiDou architecture**. 2018. Disponível em: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/BeiDou_Architecture. Acesso em: 04 abr. 2019.

ESA. **Galilei general introduction**. 2019. Disponível em: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_General_Introduction. Acesso em: 04 abr. 2019.

ESA. **GLONASS general introduction**. 2018. Disponível em: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_General_Introduction#GLONASS_Architecture. Acesso em: 04 abr. 2019.

ESA. **Integrity**. 2018. Disponível em: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Integrity#Protection_Level. Acesso em: 05 abr. 2019.

EUROCONTROL. **Performance-based navigation (PBN) applications**. 2019. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/articles/performance-based-navigation-pbn-applications>. Acesso em: 05 abr. 2019.

EXPLICATORIUM. **A constante de gravitação universal**. [2013]. Disponível em: <http://www.explicatorium.com/fisica/constante-gravitacional.html>. Acesso em: 31 mar. 2019.

FAA (U.S.A.). U.S. Department Of Transportation. **Flight navigator handbook**. Oklahoma: U.S. Department of Transportation, 2011. 282 p. P. 5-2. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/. Acesso em: 25 mar. 2019.

FARNWORTH, Richard. Aviation applications. In: TEUNISSEN, Peter J.g.; MONTENBRUCK, Oliver (Ed.). **Springer handbook of global navigation satellite systems**. Trento: Springer, 2017. p. 877-903

FEDERAÇÃO RUSSA. SDMC. ROSCOSMOS. **Current status of GLONASS constellation**. [2018]. Disponível em: http://www.sdcm.ru/index_eng.html. Acesso em: 03 abr. 2019.

GAMEIRO, Tiago Alexandre. **4D waypoints based optimal trajectory generation for unmanned aerial vehicles**. 2013. 29 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Aeronáutica, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/3675>. Acesso em: 25 mar. 2019.

GIOVANINI, Adenilson. **SBAS: o que é e para que serve?** 2018. Disponível em: <http://adenilsongiovanini.com.br/blog/sbas-o-que-e-e-para-que-serve/>. Acesso em: 03 abr. 2019.

GIS GEOGRAPHY. **Trilateration vs triangulation: How GPS receivers work**. 2019. Disponível em: <https://gisgeography.com/trilateration-triangulation-gps/>. Acesso em: 25 mar. 2019.

GROVES, Paul D. **Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems**. 2nd. ed. London: Artech House, 2013. 776 p.

HEGARTY, Christopher J.; FOLEY, John M.; KALYANARAMAN, Sai K. Global positioning system. In: SPITZER, Cary R.; FERREL, Uma; FERREL, Thomas (Org.). **Digital avionics handbook**. 3rd. ed. New York: CRC Press, 2015. Cap. 4. p. 60-81.

HONEYWELL AEROSPACE (U.S.A). **Understanding PBN, RNAV and RNP operations and their benefits to airline operators**. 3016. Disponível em: [understanding pbn, rnav and rnp operations and their benefits to airline operators](#). Acesso em: 05 abr. 2019.

ICAO. **Global Navigation Satellite System (GNSS) manual**. Montreal: ICAO, 2005. 69 p. Subsection 3.4.1. Disponível em: https://www.icao.int/Meetings/PBN-Symposium/Documents/9849_cons_en%5B1%5D.pdf. Acesso em: 04 mar. 2019.

ICAO. **Performance-based navigation (PBN) manual**. 4. ed. Montreal: ICAO, 2013. 294 p. Volume I, Part A, Chapter 3.

INDIA. Indian Space Research Organisation. Department of Space. **Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS): NaviC**. 2019. Disponível em: <https://www.isro.gov.in/irnss-programme>. Acesso em: 04 abr. 2019.

KAYTON, Myron. Navigation. In: SPITZER, Cary R.; FERREL, Uma; FERREL, Thomas (Org.). **Digital avionics handbook**. 3rd. ed. New York: CRC Press, 2015. Chap. 3. p. 47-58.

KEALY, Allison; MOORE, Terry. Land and maritime applications. In: TEUNISSEN, Peter J.g.; MONTENBRUCK, Oliver. **Springer handbook of global navigation satellite systems**. Trento: Springer, 2017. p. 841-875.

KELSO, T. S. **Basic of the geostationary orbit**. 2018. Disponível em: <https://www.celestrak.com/columns/v04n07/>. Acesso em: 04 abr. 2019.

KHOURY, Franjeh El; ZGHEIB, Antoine. **Building a dedicated GSM GPS module tracking system for fleet management: Hardware and Software**. Boca Raton: Crc Press, 2018. 123 p.

LOGSDON, Tom. **The Navstar global positioning system**. New York: Springer, 1992.

MAJOR, Fouad G.. **Quo vadis: evolution of modern navigation: the rise of quantum techniques**. New York: Springer, 2014. 426 p. P. 309.

MARTIN, Swayne. **Does RNAV always mean GPS?** 2018. Disponível em: <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aircraft-systems/does-rnav-always-mean-you-are-using-gps/>. Acesso em: 23 mar. 2019.

MISRA, Pratap; ENGE, Per. **Global Positioning System: signals, measurements, and performance**. 2nd. ed. Lincoln: Ganga-Jamuna Press, 2006. 569 p. Chap. 1, p. 23.

NATÁRIO, José. **O GPS e a teoria da relatividade**. [2014]. Sociedade Portuguesa de relatividade e gravitação. Disponível em: https://sprg.tecnico.ulisboa.pt/media/cms_page_media/21/GPS.pdf. Acesso em: 31 mar. 2019.

NAVIPEDIA. European Space Agency. **Principles of Interoperability among GNSS**. 2019. Disponível em: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Principles_of_Interoperability_among_GNSS. Acesso em: 03 abr. 2019.

NAVIPEDIA. European Space Agency. **Starfire**. 2014. Disponível em: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/StarFire>. Acesso em: 03 abr. 2019.

NPTEL (India). **GPS Errors and Accuracy**. 2018. Disponível em: https://nptel.ac.in/courses/105104100/lecture3/3_4_satellite_dep_error.htm. Acesso em: 30 mar. 2019.

OLIVEIRA, Ricardo. **Performance-Based Navigation, a civil-military outlook**. 2019. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/articles/pbn-military>. Acesso em: 05 abr. 2019.

PARKINSON, Bradford W. Introduction and heritage of Navstar, the Global Positioning System. In: PARKINSON, Bradford W.; SPILKER JUNIOR, James J. (Ed.). **Global Positioning System: theory and applications**. Washington: AIAA Inc., 1996. Cap. 1. p. 3-28.

PETROVSKI, Ivan G.. **GPS, GLONASS, and BeiDou for mobile devices: from instant to precise positioning**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 312 p. Chapter 1.

SCANNAVINO, Fernando Foresto. **A matemática e o GPS**. 2015. 33 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Matemática, Unesp, São José do Rio Preto, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/127751>. Acesso em: 22 mar. 2019.

SKYBRARY. European Organisation for the Safety of Air Navigation. **Wide Area Augmentation System (WAAS)**. 2017. Disponível em: [https://aviationsafetywiki.org/index.php/Wide_Area_Augmentation_System_\(WAAS\)](https://aviationsafetywiki.org/index.php/Wide_Area_Augmentation_System_(WAAS)). Acesso em: 03 mar. 2019.

SKYBRARY. **Inertial navigation system (INS)**. 2018. Disponível em: [https://www.skybrary.aero/index.php/Inertial_Navigation_System_\(INS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Inertial_Navigation_System_(INS)). Acesso em: 29 mar. 2019.

SKYBRARY. **LORAN-C**. 2018. Disponível em: <https://www.skybrary.aero/index.php/LORAN-C>. Acesso em: 29 mar. 2019.

SOUZA, Eniuce Menezes de; MONICO, João Francisco Galera; POLEZEL, Wesley Gildo Canducci. **Atenuando o multicaminho: possibilidades e técnicas**. 2004. Disponível em: <https://www3.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/html/geodesia/Artigos/G010.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2019.

SPIKER JUNIOR, J. J. Satellite constellation and geometric dilution of precision. In: PARKINSON, Bradford W.; SPILKER JUNIOR, James J. (Ed.). **Global positioning system: theory and applications**. Washington: AIAA Inc., 1996. p. 177-191.

STANFORD GPS LAB (U.S.A.). Stanford University. **LAAS/GBAS**. Disponível em: <https://gps.stanford.edu/currentcontinuing-research/laas-gbas>. Acesso em: 04 mar. 2019.

STANFORD GPS LAB (U.S.A.). **WAAS/SBAS**. 2018. Disponível em: <https://gps.stanford.edu/research/currentcontinuing-research/waas-sbas>. Acesso em: 22 mar. 2019.

TERPSTRA, James E. **The chart clinic: tenth in a series**. 2000. Disponível em: <http://ww1.jeppesen.com/download/aopa/nov-aopa.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2015.

U.K. CAA. U.K. Government. **Flying RNAV (GNSS) approaches in private and general aviation aircraft**. 2014. Disponível em: <http://publicapps.caa.co.uk/modalapplication.aspx?appid=11&catid=1&id=2840&mode=detail&pagetype=65>. Acesso em: 06 abr. 2019.

U.S.A. Gps.gov. Department Of Defense. **Control segment**. 2018. Disponível em: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>. Acesso em: 30 mar. 2019.

U.S.A. Space And Missile Systems Center. Department Of Defense. **Masters of Space keep GPS constellation grounded and on time**. 2016. Disponível em: <https://www.losangeles.af.mil/News/Article-Display/Article/734612/masters-of-space-keep-gps-constellation-grounded-and-on-time/>. Acesso em: 30 mar. 2019.

VEIGA, Luciene Pereira da. **Luneta**. 2010. Disponível em: http://site.mast.br/multimedia_instrumentos/luneta_historico.html. Acesso em: 13 mar. 2009.

Referências do Capítulo 3

ASTRONAUTICS (U.S.A). **CDTI merging and spacing**: in-trail procedures. 2019. Disponível em: <https://astronautics.com/products/applications/cdti/>. Acesso em: 14 abr. 2019.

BARROS, Jorge Filipe Almeida. **Radares aposentados**: equipamento perde espaço com a expansão de novas tecnologias de tráfego aéreo, como o ADS-B. 2014. Disponível em: https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/radares-aposentados_1541.html. Acesso em: 12 abr. 2019.

BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **ICA 100-37**: serviços de tráfego aéreo. Rio de Janeiro: DECEA, 2018. 277 p. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4912>. Acesso em: 16 abr. 2019.

BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **MCA 100-13**: procedimentos operacionais para o uso de comunicação por enlace de dados controlador-piloto (CPDLC) e de vigilância dependente automática-contrato (ads-c) no ATS. Rio de Janeiro: DECEA, 2017. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4624>. Acesso em: 10 abr. 2019.

CALLAN, James. **Multilateration**: radar is out. 2014. Disponível em: <https://www.aviationtoday.com/2014/02/01/multilateration-radar-is-out/>. Acesso em: 14 abr. 2019.

CLAY LACY AVIATION. **Future Air Navigation System (FANS)**. 2015. White paper. Disponível em: https://www.uasc.com/docs/default-source/documents/whitepapers/clay-lacy-fans-white-paper.pdf?sfvrsn=ab09925c_2. Acesso em: 10 abr. 2019.

ERA SYSTEMS CO. (Czech Republic). **Multilateration**: executive reference guide. 2018. Disponível em: <http://www.multilateration.com/downloads/MLAT-ADS-B-Reference-Guide.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

EUROCONTROL. **Mode S operational overview**. 2019. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/articles/mode-s-operational-overview>. Acesso em: 14 abr. 2019.

FLIGHTRADAR24 (U.s.a.). **How it works**. 2019. Disponível em: <https://www.flightradar24.com/how-it-works>. Acesso em: 12 abr. 2019.

FRENZEL JUNIOR, Louis E. **Principles of electronic communication systems**. 4th. ed. New York: McGraw-hill Education, 2016. 930 p. Chapter 16, p. 650.

HEGARTY, Christopher J.; FOLEY, John M.; KALYANARAMAN, Sai K. Global positioning system. In: SPITZER, Cary R.; FERREL, Uma; FERREL, Thomas (Org.). **Digital avionics handbook**. 3rd. ed. New York: CRC Press, 2015. Cap. 4. p. 60-81.

ICAO. **Doc 4444**: air traffic management. 16th. ed. Montreal: ICAO, 2016. 464 p. Chapter 4, section 4-18.

ICAO. **Doc 4444**: air traffic management. 16th. ed. Montreal: ICAO, 2016. 464 p. Chapter 13, subsection 13.4.3.4.6.

ICAO. **Doc 4444**: air traffic management. 16th. ed. Montreal: ICAO, 2016. 464 p. Chapter I, Definitions.

ICAO. **Doc 4444**: air traffic management. 16th. ed. Montreal: ICAO, 2016. 464 p. Chapter 5, subsection 4.2.7.

ICAO. **Doc 4444**: air traffic management. 16th. ed. Montreal: ICAO, 2016. 464 p. Chapter 8, subsection 8.7.3.1.

ICAO. **Global operation data link (GOLD manual)**. Montreal: ICAO, 2016. Chap. 1, p. 43.

ICAO. **Multilateration (MLAT)**: concept of use. 2007. Disponível em: https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/mlat_concept.pdf. Acesso em: 14 abr. 2019.

ICAO. **Performance-based navigation (PBN) manual**. 4. ed. Montreal: ICAO, 2013. 294 p.

INDIA. OFFICE OF DIRECTOR GENERAL OF CIVIL AVIATION. **Aeronautical telecommunications – secondary surveillance radar**. 2015. Disponível em: <http://dgca.nic.in/cars/D9D-D5.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2015.

INDRA SISTEMAS (Espanã). **Multilateration System**. [2018]. Disponível em: <https://www.indracompany.com/sites/default/files/16%20MLAT%20Brochure%20V1%2007-2009%20eng.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

MELLO, Gustavo Cunha. **Transponder, radar primário e radar secundário**. 2014. Disponível em: <http://www.segurado.com.br/bloggustavo/?p=511>. Acesso em: 14 abr. 2019.

NEVEN, W. H. L. et al. **Wide area multilateration**: report on EATMP TRS 131/04. Amsterdam: Koninklijke Nlr, 2005. 94 p. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/surveillance-report-wide-area-multilateration-200508.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

SAAB. **A-SMGCS**. 2018. Disponível em: <https://saab.com/security/air-traffic-management/air-traffic-control-automation/a-smgcs/>. Acesso em: 14 abr. 2019.

SKYBRARY. **Automatic dependent surveillance - contract (ADS-C)**. 2017. Disponível em: [https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_-_Contract_\(ADS-C\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_-_Contract_(ADS-C)). Acesso em: 10 abr. 2019.

SKYBRARY. **Mode S**. 2018. Disponível em: https://www.skybrary.aero/index.php/Mode_S. Acesso em: 14 abr. 2019.

SKYBRARY. **Multilateration**. 2018. Disponível em: <https://www.skybrary.aero/index.php/Multilateration>. Acesso em: 14 abr. 2019.

SKYBRARY. **Transponder**. 2018. Disponível em: <https://www.skybrary.aero/index.php/Transponder>. Acesso em: 14 abr. 2019.

U.S.A. FAA. U.S. Department of Transportation. **Order JO 71110.121**. 2015. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/MLAT_Order.pdf. Acesso em: 14 abr. 2019.

U.S.A. FAA. **Aircraft CTDI**. [2018]. Disponível em: https://images.slideplayer.com/13/3791122/slides/slide_7.jpg. Acesso em: 16 abr. 2019.

VISMARI, Lúcio Flávio. **Vigilância dependente automática no controle de tráfego aéreo**: avaliação de risco baseada em modelagem de Petri fluidas e estocásticas. 2007. 272 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Usp, São Paulo, 2007. Cap. 2. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-08012008-153718/pt-br.php>. Acesso em: 10 abr. 2019.

Referências do Capítulo 4

AIR TRAFFIC MANAGEMENT .NET (U.S.A). **Airbus targets FANS-C certification by year-end**. 2018. Disponível em: <https://airtrafficmanagement.keypublishing.com/2018/07/18/airbus-targeting-fansc-certification-by-yearend/>. Acesso em: 22 abr. 2019.

AIRNAV (U.S.A.). **The FAA ADS-B mandate explained**. 2018. Disponível em: <https://www.radarbox24.com/blog/faa-adsb-2020-mandate>. Acesso em: 24 abr. 2019.

AVIATION REPORT (U.S.A). **Airbus delivers first FANS-C-equipped A320 to easyJet**. 2019. Disponível em: <http://en.aviation-report.com/airbus-delivers-first-fans-c-equipped-a320-to-easyjet/>. Acesso em: 24 abr. 2019.

BOEING (U.S.A). **Tailored arrivals: a fuel-efficient future**. 2012. Disponível em: <https://www.boeing.com/features/2012/10/tailored-arrivals-a-fuel-efficient-future-10-24-12.page>. Acesso em: 14 abr. 2019.

BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **AIC A 20/13: Performance based navigation (PBN) implementation in the brazilian airspace**. Rio de Janeiro: DECEA, 2013. 9 p. Disponível em: <https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes&p=aic>. Acesso em: 24 abr. 2019.

BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **AIP-Brasil**. Rio de Janeiro: DECEA, 2016. 984 p. Disponível em: <https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes&p=aip>. Seção ENR 1.15-1. Acesso em: 24 abr. 2019.

BRASIL. DECEA. Ministério da Defesa. **CGNA**. [2018]. Disponível em: <https://www.decea.gov.br/?i=unidades&p=cgna>. Acesso em: 24 abr. 2019.

BRASIL. Instrução do Comando da Aeronáutica nº 100-22, de 11 de setembro de 2018. **ICA 100-22: serviço de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo**. Rio de Janeiro, RJ: DECEA, 11 set. 2018. Subitem 1.4.20. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4838>. Acesso em: 24 abr. 2019.

BROOKS, James. Continuous descent arrivals. In: ICAO WORKSHOP ON AVIATION OPERATIONAL MEASURES FOR FUEL AND EMISSIONS REDUCTIONS, 1st, 2006, Ottawa. **Workshop on the Aviation Operational Measures for Fuel and Emissions Reduction**. Montreal: ICAO, 2002. p. 1 - 11. Disponível em: <https://www.icao.int/Meetings/EnvironmentalWorkshops/Documents/ICAO-TransportCanada-2006/Brooks.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

CLARKE, John-paul B. et al. Continuous descent approach: design and flight test for Louisville international Airport. **Journal Of Aircraft**. Reston, p. 1054-1066. out. 2004. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/1.5572>. Acesso em: 18 abr. 2019.

COPPENBARGER, Rich. **3D-path arrival management (3DPAM): simulations and field tests**. 2009. Disponível em: https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/34348/Coppenbarger_3DPAM-Overview-EWGS.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 abr. 2019.

DAS FLUGLÄRM PORTAL (Deutschland). **Innovative Flugverfahren: Chancen und Grenzen**. [2018]. Disponível em: <https://www.fluglärm-portal.de/laerm-vermeiden/innovative-flugverfahren/>. Acesso em: 25 abr. 2019.

EUROCONTROL. **Continuous descent**. 2011. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/2011-cd-brochure-web.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2019.

EUROCONTROL. **Cross-border arrival management (XMAN)**. [2014]. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/articles/xman>. Acesso em: 25 abr. 2019.

ICAO. **Doc 4444**: procedures for air navigation services. Montreal: ICAO, 2016. 464 p. Chapter 1, section 1-4.

ICAO. **Doc 9854**: global air traffic management operational concept. Montreal: ICAO, 2005. 82 p.

ICAO. **Doc 9882**: Manual on air traffic management system requirements. Montreal: ICAO, 2008. 67 p.

ICAO. **Doc 9931**: Continuous descent operation (CDO) manual. Montreal: Icao, 2010. 76 p. Chap. 1.

ICAO. **Doc 9971**. 2nd. ed. Montreal: ICAO, 2014. 160 p. Part. II.

ICAO. **Doc 9993**: Continuous climb operation (CCO) manual. Montreal: ICAO, 2013.

PAYLOAD ASIA (Ed.). **Singapore, Japan partner on ATM modernisation and seamless sky**. 2016. Disponível em: <http://www.payloadasia.com/singapore-japan-partner-atm-modernisation-seamless-sky/2/>. Acesso em: 29 abr. 2019.

SINCTA (Portugal). **Point merge system**. 2018. Disponível em: <https://sincta.pt/2018/06/16/point-merge-system/>. Acesso em: 24 abr. 2019.

SKYBRARY. **Continuous climb operation**. 2017. Disponível em: [https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous_Climb_Operations_\(CCO\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Continuous_Climb_Operations_(CCO)). Acesso em: 19 abr. 2019.

U.S.A. FAA. Department of Transportation. **Air Traffic Control System Command Center (ATCSCC)**. 2014. Disponível em: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/systemops/nas_ops/atcsc/. Acesso em: 24 abr. 2019.

U.S.A. FAA. Department of Transportation. **New York/New Jersey/Philadelphia airspace redesign: four corner concept**. 2009. Disponível em: https://www.faa.gov/air_traffic/nas_redesign/regional_guidance/eastern_reg/nynjphl_redesign/documentation/scoping/fourcorner_concept/. Acesso em: 24 abr. 2019.

U.S.A. FAA. Department of Transportation. **No kidding: ADS-B deadline of jan. 1, 2020, is firm**. 2018. Disponível em: https://www.faa.gov/news/updates/?newsId=90008&omniRss=news_updatesAoc&cid=101_N_U. Acesso em: 24 abr. 2019.

U.S.A. FAA. Department Of Transportation. **Optimized profile descents**. 2017. Disponível em: <https://www.faa.gov/tv/?mediald=1585>. Acesso em: 15 maio 2019.

U.S.A. FAA. Department Of Transportation. **Traffic flow management in the national airspace system**. 2009. Disponível em: https://www.fly.faa.gov/Products/Training/Traffic_Management_for_Pilots/TFM_in_the_NAS_Booklet_ca10.pdf. Acesso em: 12 dez. 2018.

U.S.A. Order nº JO 7210.3AA, de 12 de setembro de 2017. This order provides direction and guidance for the day-to-day operation of facilities and offices under the administrative jurisdiction of the Federal Aviation Administration's Air Traffic Organization: Facility Operation and Administration. Washington, DC: FAA, 17 ago. 2017. Section 6. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/7210.3AA_2-28-19.pdf. Acesso em: 24 abr. 2019.

WORKSHOP ON PREPARATION FOR ANCONF, 12th, 2012, Mexico City. **Continuous descent operations**. Montreal: ICAO, 2012. 15 p. Disponível em: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2012/ASBU/ASBUWP27.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

ZAZULIA, Nick. **Avionics shops shed light on ADS-B equipage ahead of 2020 mandate**. 2019. Disponível em: <https://www.aviationtoday.com/2019/03/26/adsb-2/>. Acesso em: 24 abr. 2019.

Referências do Capítulo 5

BRASIL. ANAC. **Overflight & landing clearance**. 2019. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/ingles/overflightLanding.asp>. Acesso em: 21 abr. 2019.

BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **Aeronautical information publication - AIP Brasil**. 2019. Subitem 2.2.2. Disponível em: <https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes&p=aip>. Acesso em: 14 abr. 2019.

BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **Consulta de mensagens OPMET**. 2018. Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br/?i=produtos&p=consulta-de-mensagens-opmet>. Acesso em: 18 jan. 2019.

BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **ICA 100-37: serviços de tráfego aéreo**. Rio de Janeiro: DECEA, 2018. 277 p. Subitem 5.19. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4912>. Acesso em: 25 abr. 2019.

BRASIL. DECEA. Comando da Aeronáutica. **MCA 100-16: fraseologia de tráfego aéreo**. Rio de Janeiro: DECEA, 2018. 83 p. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4916>. Acesso em: 29 abr. 2019.

DURING, Nelson F. **Exclusivo - Venezuela posiciona mísseis S-300 na fronteira com o Brasil**. 2019. Disponível em: <http://www.defesanet.com.br/ven/noticia/32142/Exclusivo---Venezuela-Posiciona-Misseis-S-300-na-Fronteira-com-o-Brasil/>. Acesso em: 05 maio 2019.

FLIGHTRADAR24 (U.s.a). **Live air traffic**. 2019. Disponível em: <https://www.flightradar24.com/-0.15,-68.16/4>. Acesso em: 22 fev. 2019.

FRITTS, Sara. **Everything you need to know about controlled firing areas**. 2017. Disponível em: <https://thinkaviation.net/controlled-firing-areas/>. Acesso em: 02 abr. 2019.

ICAO. **Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation: rules of the air**. 10th. ed. Montreal: ICAO, 2005. 65 p.

ICAO. **Annex 9: facilitation**. 15th. ed. Montreal: ICAO, 2017. 100 p.

ICAO. **Doc 4444: PANS-ATM**. 16th. ed. Montreal: ICAO, 2016. 464 p.

LEAVELL, Shawn. **Overflight permits – part 1: general requirements**. 2015. Disponível em: <http://www.universalweather.com/blog/overflight-permits-part-1-general-requirements/>. Acesso em: 04 maio 2019.

MUMFORD, David. **Countries with banson flights to Israel**. 2018. Disponível em: <https://ops.group/blog/countries-with-bans-on-flights-to-israel/>. Acesso em: 05 maio 2019.

MUMFORD, David. **Ops to Taiwan? You'll have to avoid China**. 2017. Disponível em: <https://ops.group/blog/taiwan-china/>. Acesso em: 05 maio 2019.

NOLAN, Michael S. **Fundamentals of air traffic control**. 5th. ed. New York: Cengage, 2011. 674 p. Table 3-4.

SKYVECTOR. **World VFR**. 2019. Busca visual. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@47.352762,18.2305451,6z>. Acesso em: 04 abr. 2019.

SOEJATMAN, Gerry. **Differences ICAO FAA**. 2013. Disponível em: <http://www.gerryairways.com/index.php/en/faa-quirks-unsolvable-americanistic-standoff-with-the-world/>. Acesso em: 26 abr. 2019.

U.S.A. F.A.A. Department of Transportation. **CFR 14, Part 121 – operating requirements**. 1991. Section 121.649. Disponível em: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/121.649>. Acesso em: 14 abr. 2019.

U.S.A. F.A.A. Department of Transportation. **CFR 14, Part 1 – Definition and abbreviations**. 1019. Section 1.1. Disponível em: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/1.1>. Acesso em: 14 abr. 2019.

U.S.A. F.A.A. Department of Transportation. **CFR 14, Part 91 – general operating and flight rules**. 2000. Section 91.157. Disponível em: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/91.157> . Acesso em: 14 abr. 2019.

U.S.A. F.A.A. Department of Transportation. **CFR 14, Part 93 special air traffic rules**. 2019. Disponível em: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/part-93>. Acesso em: 06 maio 2019.

U.S.A. FAA. Department of Transportation. **Aeronautical information manual: official guide to basic flight information and ATC procedures**. Washington: FAA, 2019. 780 p. Subsection 3-4-5. Disponível em: https://www.faa.gov/air_traffic/publications/media/aim_basic_chgs_1-3_2-28-19.pdf. Acesso em: 12 mar. 2019.

U.S.A. FAA. Department of Transportation. **Aeronautical information publication - AIP**. 2019. Disponível em: https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aip_html/part2_enr_section_5.1.html. Acesso em: 03 maio 2019.

U.S.A. FAA. Department of Transportation. **Order JO 7110.10U: flight services**. 2011. Disponível em: <http://tfmlearning.faa.gov/publications/atpubs/FSS/index.htm>. Acesso em: 26 abr. 2019.

U.S.A. FAA. Department Of Transportation. **Order JO 7110.65X: air traffic control**. 2019. Subsection 5-2-6. Disponível em: https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/atc_html/chap5_section_2.html. Acesso em: 02 maio 2019.

U.S.A. FAA. Department of Transportation. **Order JO 7400.2H: procedures for handling airspace matters**. 2011. Subsection 28-1-1. Disponível em: <http://tfmlearning.faa.gov/Publications/atpubs/AIR/air2801.html>. Acesso em: 02 abr. 2019.

U.S.A. National Oceanic and Atmospheric Administration. Department of Commerce. **AC 00-45F**. 2009. Disponível em: National Oceanic and Atmospheric Administration. Acesso em: 24 abr. 2019.

Respostas das Atividades de Autoavaliação

Respostas do capítulo 1

1.

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| (a) MF – Medium Frequency | (e) – 3 GHz até 300 GHz |
| (b) HF – High Frequency | (c) – 30 MHz até 300 MHz |
| (c) VHF – Very High Frequency | (a) – 300 KHz até 3.000 KHz |
| (d) UHF – Ultra High Frequency | (b) – 3 MHz até 30 MHz |
| (e) SHF – Super High Frequency | (d) – 300 MHz até 3.000 MHz |

2. Não. ACARS funciona com a transmissão de caracteres ASCII, inviáveis para telefonia.

3. 31 kbps e D8PSK.

4. ACARS, no contexto FANS-1/A.

Respostas do capítulo 2

1.a 2.c 3.c 4.a 5.b

Respostas do capítulo 3

1.

a. (f) Não existem contratos ADS-B;

b. (v)

c. (v)

d. (f) ADS-C independe de radar

2. Contrato por demanda. Caso negativo, contato CPDLC ou canal de voz.

3. Falsa. Depende sobretudo da precisão dos equipamentos de bordo e das circunstâncias ambientais que afetam a aeronave.

4. Falsa. O Doc. 4444 não recomenda o procedimento por enquanto.
5. Falsa. Há vedação expressa nas normas de regência.

Respostas do capítulo 4

1. (f) O gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM – Air Traffic Flow Management) é serviço cujo objetivo é contribuir para fluxo de tráfego aéreo seguro, ordenado e rápido. Essa contribuição ocorre por meio do uso de toda capacidade ATC disponível e pela garantia de volume de tráfego compatível com essa capacidade.
2. (f) Segundo orientação da ICAO, *Collaborative Decisin Making* (CDM) é técnica a ser aplicada em todos os níveis de trabalho, do planejamento de longo prazo até as deliberações em nível tático.
3. (v) De fato, o piloto inserido em programa de espera no solo não sabe quando poderá decolar, circunstância que não ocorre no programa de atraso no solo.
4. (f) O ATC deve evitar encurtar a distância a percorrer na aproximação em CDO porque a aeronave voa com os reatores em *idle* e o encurtamento, por aumentar o ângulo de descida, pode desestabilizar a aproximação.
5. (f) O XMAN requer processo de compartilhamento de informações bastante veloz, cujas trocas transcendem não só os limites de atuação dos provedores de serviços de navegação aérea como também os limites de fronteiras nacionais.

Respostas do capítulo 5

1. (f) A regramento da ICAO sobre SVFR permite ampla margem de definição de parâmetros.
2. (f) Inexiste a locução “Squawk IFR” na fraseologia aeronáutica.
3. (v)
4. (f) Controlled Firing Areas não são cartografadas.
5. (f) Trata-se exatamente do oposto.

Sobre o Professor Conteudista

Marcos Fernando Severo de Oliveira

Com graduação em Ciências Contábeis pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999), graduação em Direito pela Universidade Federal de Santa Catarina (2009) e especialização em Direito e Processo do Trabalho pela UNISUL - Universidade do Sul de Santa Catarina (2015). Tem experiência na área de transporte aéreo como controlador de aeródromo, controlador de aproximação e instrutor *on the job training*. Professor orientador em TCC na UNISUL. Leciona Regulamentos de Tráfego Aéreo, Contabilidade e Navegação Aérea na UNISUL.

