

# ANÁLISE DO CONCEITO DE ESPAÇO AÉREO BASEADO EM PERFORMANCE (PBN)

Daniel Alberto Pamplona (ITA) pamplonadefesa@gmail.com

João Luiz de Castro Fortes (ITA) jlfortes@gmail.com

"Cláudio Jorge Pinto Alves (ITA) claudioj@ita.br

**Resumo:** Os avanços da navegação aérea sempre estiveram ligados com os avanços da aviação. A aviação tem se popularizado como meio de transporte e com o aumento da demanda aérea, faz-se necessário pensar em novas maneiras de melhor utilização do espaço aéreo. A introdução dos Procedimentos Baseados em Performance foi um caminho encontrado para a resolução do problema, obrigando a novas maneiras de pensar e planejar o espaço aéreo. O objetivo do artigo é analisar os aspectos fundamentais do conceito do espaço aéreo baseado em performance, explorando seus benefícios e particularidades, tendo como foco principal o espaço aéreo. Para atingir esse objetivo, optou-se por realizar um estudo investigativo. Os resultados da pesquisa mostram que as incorporações de novos tipos de especificações servirão de novos parâmetros para os planejadores aéreos.

**Palavras-chave:** PBN, desempenho, capacidade aérea, espaço aéreo.

## ANALYSIS OF THE PERFORMANCE-BASED NAVIGATION AIRSPACE CONCEPT

**Abstract:** Air navigation advances have always been connected with the aviation improvements. Aviation has become popular as a mode of transport and the increase of air demand, it is necessary to think of new ways to better use of airspace. The introduction of Performance Based Procedures was one of the solutions found to solve the problem, requiring new ways of thinking and planning airspace. The aim of this paper is to analyze the fundamental aspects of the concept of airspace based on performance, exploring its benefits and characteristics, focusing mainly on the airspace. To achieve this goal, it carries out an investigative study. The survey results show that the incorporation of new types of specifications will serve as the new parameters for air planners.

**Keywords:** PBN, performance, air capacity, airspace.

### 1. INTRODUÇÃO

A aviação tem vivenciado um elevado crescimento nos últimos anos. De acordo com a Airbus (2015), nos próximos 20 anos, as empresas aéreas irão demandar por mais de 32.600 novas aeronaves, somadas as aeronaves dedicadas ao transporte de passageiros e carga. A empresa Boeing (2015), prevê para o mesmo período, que o mercado irá adquirir um total de 38.050 novas aeronaves. A maioria dos pedidos será de aeronaves de corredor único, com capacidade de até 230 passageiros dependendo da configuração de poltronas e classes e do fabricante, correspondendo por aproximadamente 26.370 novos aviões. A Figura 1 mostra o total de entregas por tipo de aeronave e o seu percentual nos próximos 20 anos.



Figura 1 - Mercado de aeronaves de passageiros e carga para os próximos 20 anos

Fonte – Adaptado de AIRBUS, 2015.

Neste contexto de expansão da atividade aérea, segundo Airbus (2015) teremos o surgimento das Mega-cidades da Aviação, sendo responsáveis pela maioria do tráfego aéreo mundial. Para receberem essa classificação, as cidades devem ter mais de 10.000 passageiros de voos de longa duração. Em 2013, 42 cidades concentraram 94% do tráfego de voos de longa duração. Em 2014, 47 cidades com aproximadamente 0,9 milhões de passageiros de voos de longa duração. Em 2034, existirão 91 Mega-cidades com aproximadamente 2.3 milhões de passageiros diários com mais de 95% dos tráfegos de longa duração.

Com o aumento da demanda aérea, faz-se necessário pensar em novas maneiras de melhor utilização do espaço aéreo. Uma das maneiras encontradas para a melhor utilização foi a introdução dos Procedimentos Baseados em Performance - PBN (*Performance-Based Navigation*), representando uma mudança da navegação baseada em sensores para uma navegação baseada em desempenho.

O conceito PBN se refere aos requisitos de performance a serem aplicados a: rota de tráfego aéreo, procedimento por instrumento ou um espaço aéreo definido. Englobam o conceito os procedimentos RNAV (*Area Navigation*) e RNP (*Required Navigation Performance*) (Nolan, 2010). Os procedimentos RNAV e RNP são considerados como fatores fundamentais para a melhora na eficiência e capacidade do sistema de espaço aéreo. Sua introdução é considerada como fator fundamental para comportar o aumento da demanda no transporte aéreo, permitindo o uso mais eficiente do espaço aéreo (PAMPLONA; FORTES; ALVES, 2015).

A introdução dos Procedimentos PBN obrigou a introdução de novas maneiras de se pensar e planejar o espaço aéreo. O objetivo do artigo é analisar os aspectos fundamentais do conceito de espaço aéreo baseado em performance, explorando seus benefícios e particularidades, tendo como foco principal o espaço aéreo.

Para atingir esse objetivo, optou-se por realizar um estudo investigativo. Os resultados da pesquisa mostram que a introdução desse novo tipo de navegação, ao mudar de uma navegação baseada em sensores para uma baseada em desempenho dos equipamentos embarcados na aeronave, incorporou novos tipos de especificações que servirão de parâmetros para as próximas décadas, sendo essa análise o ganho acadêmico verificado no artigo.

Esse artigo está estruturado em seis seções além desta introdutória. A segunda seção apresenta o histórico da navegação aérea. A terceira seção apresenta o histórico da navegação baseada em performance, salientando os principais motivos que levaram a sua criação e implantação. A quarta seção apresenta o conceito de espaço aéreo e a quinta seção introduz e analisa o conceito de espaço aéreo PBN. Na sexta seção são apresentadas as conclusões do estudo.

## **2. HISTÓRICO DA NAVEGAÇÃO AÉREA**

Os avanços da navegação aérea sempre estiveram ligados com os avanços da aviação. Inicialmente, devido à falta de instrumentos de voo ou sistemas que auxiliassem na navegação, os voos comerciais estavam limitados a realizarem suas rotas durante o dia e em boas condições meteorológicas. Para se orientarem, os pilotos eram obrigados a utilizar referências visuais, não existindo ainda instrumentos embarcados que indicassem a atitude de voo da aeronave, com o horizonte natural como referência (NOLAN, 2010).

Toda a navegação era feita com a utilização de um mapa rodoviário. O piloto ou navegador era obrigado a se basear nas referências geográficas do terreno e comparar com o

mapa, verificando e corrigindo possíveis desvios de rota. As primeiras cartas de navegação aérea foram criadas nos Estados Unidos na década de 20. Aliado as cartas aeronáuticas, o primeiro instrumento utilizado para a navegação aérea foi a bússola. Traçando uma reta que unia os destinos pretendidos, o piloto podia definir o rumo verdadeiro da rota pretendida. Como as cartas eram confeccionadas utilizando como referência o Norte verdadeiro, cabia ao planejador realizar as correções de variação magnética para encontrar o rumo magnético e poder navegar o seu avião (NOLAN, 2010).

Utilizado até os dias de hoje, o método de navegação sobre condições visuais (VFR) emprega as informações encontradas na carta aeronáutica durante o planejamento, associada à escolha de referências visuais no solo, às informações no mapa e ao planejamento de tempo de voo. Um problema que ainda deveria ser superado era como visualizar a pista de pouso durante o período noturno. Durante a década de 20, nos Estados Unidos foram instaladas as primeiras luzes de balizamento de pista. Estava resolvido o problema que não permitia a operação durante a noite (NOLAN, 2010).

Foi durante a década de 20, também nos Estados Unidos, que a primeira aerovia tomou forma. Colocado em intervalos iguais, faróis rotativos foram instalados delineando o caminho da aerovia. Os faróis posicionados em torres, rodavam a uma velocidade de 6 rotações por minuto e se distanciavam de 15 milhas. A medida que os voos aconteciam na rota da aerovia, era possível a visualização dos faróis por distâncias maiores que 40 milhas. Apesar de todos os avanços, uma condição necessária para a realização dos voos era a manutenção das condições visuais de voo que permitissem a contínua visualização com o terreno e com os faróis rotativos.

Buscando a possibilidade do voo em condições sem contato contínuo com o solo, foram criados instrumentos embarcados na aeronave que permitiam ultrapassar esse óbice. Dava-se início ao voo sobre condições de instrumento (IFR). Os instrumentos criados foram o indicador de atitude, o indicador de proa e o indicador de curva (NOLAN, 2010).

No final da década de 20, nos Estados Unidos, foi criado o primeiro sistema baseado em rádio que permitia a navegação em condições de voo por instrumento. Tratou-se do *four-course radio range*. Os dispositivos ficavam instalados em intervalos nas aerovias, transformando-se em padrão mundial de auxílio a navegação por instrumento (NOLAN, 2010).

O sistema apenas indicava informações de proa e curso, não revelando a distância até a estação. Para minimizar este problema foram instalados *marker beacons* na rota balizada, que sonoramente avisavam quando a aeronave estava sobrevoando a estação. Ao mesmo tempo, foi desenvolvido o NDB (*Nondirectional Radio Beacon*). O receptor na aeronave recebeu o nome de DF (*Direction Finder*). A utilização do DF necessitava uma manipulação manual, que provou-se ser muito trabalhoso para a tripulação. Por isso, os DF foram substituídos pelos ADF (*Automatic Direction Finder*), que podiam, de forma automática, determinar o rumo para a estação NDB e informa-la para o piloto (NOLAN, 2010).

As contínuas melhorias realizadas no sistema de navegação ADF fizeram com que ele se tornasse um sistema de auxílio a navegação aceito pelos pilotos. O primeiro ADF foi instalado nos EUA em 1924, tendo desde então, uma série de aerovias baseadas neste auxílio. Além de terem servido como auxílio a navegação em rota, foram instalados perto da pista de pouso servindo como auxílio à aproximação. Devido ao seu baixo custo, este tipo de auxílio é utilizado até hoje em alguns aeroportos do Brasil (NOLAN, 2010).

Em 1937, foi desenvolvido o VAR (*Visual Aural Range*), uma atualização do sistema *four-course radio range*. O desenvolvimento deu-se na frequência de operação, através de

VHF, com isso eliminou-se os problemas de reflexão que eram encontrados no sistema anterior. O VAR não conseguiu a total aceitação das tripulações, tendo sido substituído por um sistema que emitia um número infinito de possíveis cursos, ao invés de quatro do sistema anterior. O novo sistema recebeu o nome de VOR (VHF *Omnidirectional Range*) (NOLAN, 2010).

O VOR é utilizado até os dias atuais como balizador de rota e como auxílio a navegação para voo por instrumentos. O VOR provê apenas o rumo para a sua estação, não informando a sua distância para ela. Para resolver este problema foi criado o DME (*Distance Measuring Equipment*). O sistema DME utiliza como princípio de funcionamento, para identificar a distância até a estação, o tempo decorrido do impulso codificado enviado pelo interrogador localizado na aeronave e um *transponder* localizado na estação de solo. Após o impulso ser recebido de volta, eletronicamente é calculada a distância.

Buscando uma maior precisão no pouso quando em condições por instrumento foi criado na década de 40 o ILS (*Instrument Landing System*). O ILS permite ao piloto uma aproximação para pouso alinhada com o eixo da pista, provendo-lhe orientações quanto aos desvios verticais e laterais. O ILS é formado por três tipos de transmissores: o localizador, o *glide slope* e os *markers beacons*.

Para navegar em rota utilizando o sistema VOR, os pilotos necessitam programar sua rota de VOR para VOR até o destino. Por ser um auxílio baseado em solo, a sua localização fica restrita à localização dos aeroportos ou às localidades onde foi possível a sua instalação. Como consequência, na maioria das vezes, não é viabilizada a navegação em linha reta, causando maior tempo de voo e consumo de combustível, conforme mostra a Figura 2.

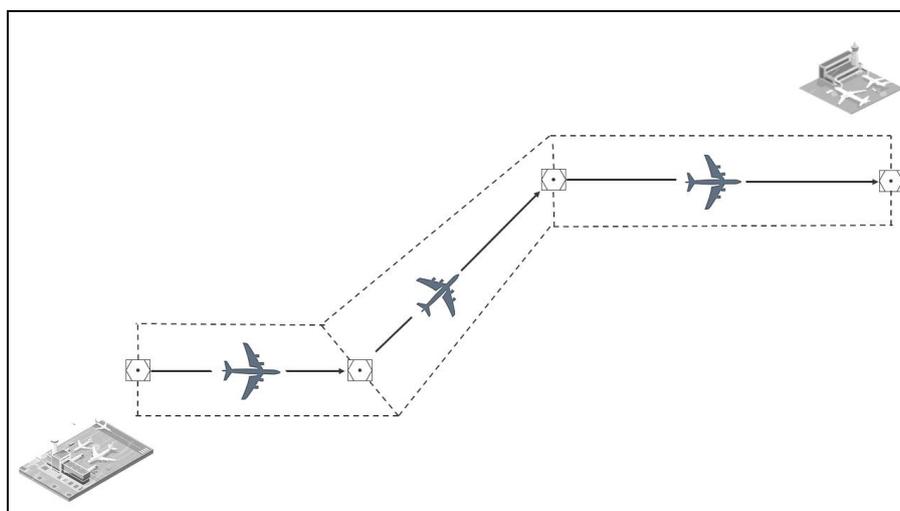


Figura 2 - Perfil de rota utilizando VOR

Na Figura 2, a linha contínua representa a rota voada pela aeronave, a linha tracejada a área de separação entre obstáculos (impacta na altura mínima do procedimento) e o hexágono dentro do quadrado representa o auxílio a navegação instalado no solo VOR. Percebe-se que por limitações geográficas, a aeronave não pode voar a menor distância entre os dois aeroportos, devendo seguir o balizamento fornecido pelo auxílio à navegação.

A maneira encontrada para superar essa limitação e permitir a navegação direta entre destinos foi a criação de sistemas que receberam o nome de Navegação de Área ou *Area Navigation* (RNAV). Pode-se citar como sistemas utilizados no RNAV: Radar Doppler, CLC, LORAN, LORAN-C, Inercial, VOR/DME e GNSS. Mas foi com a introdução do Sistema Global de Navegação por Satélite ou *Global Navigation Satellite System* (GNSS) que o RNAV se popularizou como sistema de navegação.

O GNSS é uma constelação de satélites que provê sinais de alta frequência transmitindo as informações de tempo e distância. Essa informação é captada por um receptor e ao receber várias informações de satélites é capaz de triangular e indicar qual a localização da aeronave.

Devido aos avanços tecnológicos e a necessidade de maior aproveitamento do espaço aéreo, surgiu a Navegação Baseada em Performance ou *Performance-Based Navigation* (PBN).

### 3. HISTÓRICO DA NAVEGAÇÃO BASEADA EM PERFORMANCE

Em 1983, a Organização de Aviação Civil (OACI) formou o comitê de estudo para o Sistema de Navegação para o Futuro. Como resultado foram desenvolvidos novos conceitos para a comunicação, navegação, vigilância e gerenciamento do tráfego aéreo.

A primeira tentativa da OACI de planejar os procedimentos RNAV ocorreu em 1998 com a primeira edição do Documento n° 8168. Nesse manual foram definidos os desempenhos que eram necessários para a operação RNAV. Inicialmente, esse tipo de procedimento era considerado como meio para a realização de procedimentos em rota e não para aproximação para pouso. Porém, devido à falta de especificações e necessidades operacionais ocorreu pouca implementação pela indústria aeronáutica (ICAO, 2013).

Em 2007, durante a 36° Assembleia da OACI, os Estados membros comprometeram-se com a implementação e desenvolvimento da navegação baseada em performance, mostrando ser um esforço mundial e não mais regional, em adotar a navegação satelital na aviação. Esse esforço foi reiterado na 37° Assembleia que ocorreu em 2010. Percebeu-se um amadurecimento com a proposição de melhorias e definições dos procedimentos RNAV e RNP.

O Documento 9613 da ICAO continuou a ser editado e teve a sua quarta edição em 2013, onde foi sugerido que não deverão ser desenvolvidos novos procedimentos RNAV, devendo os novos procedimentos serem do tipo RNP baseados em GNSS. A tendência futura é que os novos procedimentos RNP deverão abranger todas as fases do voo com o objetivo de maximizar os benefícios e minimizar os custos aos operadores.

#### 3.1 O conceito PBN

O contínuo aumento da aviação como meio de transporte tem demandado uma ampliação da capacidade aérea e conseqüente melhor utilização do espaço aéreo. Várias partes interessadas incluindo: provedores de serviço, reguladores, planejadores, usuários do espaço aéreo e empresas têm buscado soluções para esse problema. Uma das maneiras encontradas para a melhor utilização e otimização do espaço aéreo foi a introdução dos Procedimentos Baseados em Performance ou *Performance-Based Navigation* (PBN) para a navegação aérea.

O conceito PBN possibilita a redução da separação lateral e longitudinal entre aeronaves e representa uma mudança dos procedimentos baseados em sensores para a realização de um procedimento baseado em seu desempenho de navegação. Dessa maneira, os procedimentos não são confeccionados para um tipo específico de equipamento e sim para requisitos operacionais necessários para a execução do procedimento, permitindo a utilização de mais de um tipo de sensor para a sua realização (ICAO, 2013).

O PBN pode ser definido como sendo uma rota ou procedimento cuja execução requer que o conjunto de sistemas da aeronave, qualificação da tripulação e sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo atendam a especificações expressas em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade. O conceito é formado pelos procedimentos de Navegação de Área ou *Area Navigation* (RNAV) e pelo procedimento de

Navegação Requerido ou *Required Navigation Performance* (RNP), associados a um determinado nível de precisão para cada tipo de operação (CHANDRA; GRAYHEM; BUTCHIBABU, 2012).

O PBN não é um novo sistema de navegação, mas um conjunto de especificações para definir o desempenho que uma aeronave deve ter para requisitos operacionais especificados. Será a capacidade dos sensores instalados na aeronave e não mais um sensor específico que determinará a operação da mesma. A capacidade PBN de uma aeronave será variada e estará diretamente ligada aos equipamentos instalados na aeronave e à infraestrutura de navegação do lugar (NOLAN, 2010).

Os procedimentos RNAV são definidos como sendo “um método de navegação que permite a operação de uma aeronave em qualquer trajetória de voo na cobertura de auxílios à navegação, nos limites de cobertura ou da combinação de ambos” (ICAO, 2013). A FAA (2007) define como sendo um método de navegação que permite à operação da aeronave em qualquer trajetória desejada dentro de uma cobertura de estações / auxílios de navegação ou nos limites de capacidade de auxílios embarcados na própria aeronave, ou a combinação de ambos.

O procedimento RNP pode ser definido como uma medida de performance de navegação necessária às operações num determinado espaço aéreo. Os procedimentos RNAV e RNP são basicamente similares. A principal diferença entre eles são os requisitos de alerta e monitoramento que devem estar embarcados. Quando um procedimento exigir um sistema de alerta e monitoramento ele será definido como RNP e quando não houver essa obrigatoriedade será definido como RNAV. A capacidade de uma aeronave voar RNP será determinada pelos equipamentos instalados na aeronave e na infraestrutura da navegação aérea (ICAO, 2013).

Essa precisão no equipamento permite as aeronaves, voando procedimentos RNP, uma trajetória mais precisa, ideal para procedimentos de aproximação em regiões montanhosas ou que requeiram desvio de obstáculos ou que evitem o sobrevoo de determinadas áreas. Essa mudança trouxe como consequência uma melhora na eficiência, permitindo uma maior capacidade de flexibilizar as rotas aéreas, saídas e chegadas. Além disso, permite o planejamento aéreo de rotas otimizadas em termos de consumo, tempo, ruído aeronáutico e diminuição de atrasos, conforme Figura 3.

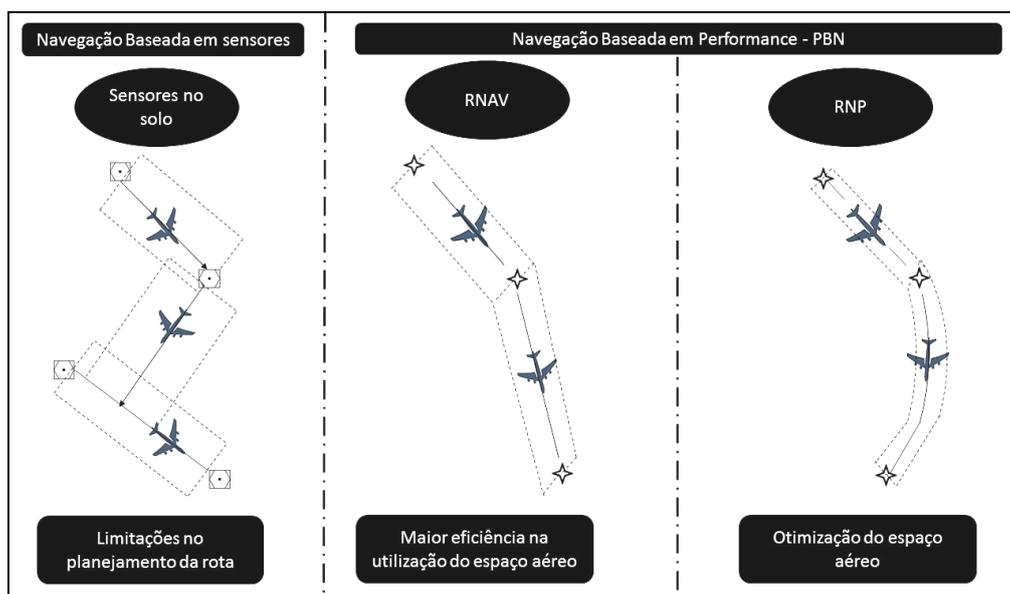


Figura 3 – Benefícios da navegação PBN

Conforme mostra a Figura 3, a navegação PBN por necessitar de uma menor área de separação entre obstáculos, devido a maior precisão dos equipamentos, permite uma melhor utilização e otimização do espaço aéreo.

Um dos objetivos originais do PBN é o de permitir as aeronaves utilizarem qualquer auxílio disponível para a navegação ao invés de ficar dependente de um único auxílio. Os auxílios à navegação transmitem informações de posição. Essas informações são recebidas pelos sensores a bordo das aeronaves e são transformadas em informação pelos sistemas de navegação das aeronaves. Os auxílios baseados em solo que são utilizados na navegação PBN são o DME e VOR. O NDB não é considerado uma fonte de posicionamento para o PBN (ICAO, 2013).

Os auxílios baseados no espaço são os Sistemas de Navegação Satelital Global ou *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Atualmente, as constelações GNSS em operação são: GPS (EUA) e GLONASS (Rússia). Estão em desenvolvimento as constelações Galileo (Europa), Beidou (China) e QZSS (Japão). Os sistemas de aumento da precisão, utilizam os sinais do GNSS e realizam correção para aumentar a precisão e são definidos por aumentos em grandes áreas de navegação ou *Satellite Based Augmentation System* (SBAS) e estão incluídos no PBN e os de aumento da precisão em uma área local ou *Ground Based Augmentation System* (GBAS) e incluem EGNOS (Europa), WAAS (EUA), GAGAN (Índia), SDCM (Rússia) e MSAS (Japão) (ICAO, 2013).

Os procedimentos RNAV e RNP, para a sua execução, variam desde sistemas baseados em um único sensor a sistemas com vários tipos de sensores de navegação. Os sistemas de navegação em alguns procedimentos devem estar conectados a outros sistemas, como *auto-throttle* e o piloto automático / diretor de voo, permitindo uma operação mais automatizada. Cada fabricante desenvolve a arquitetura de software que acha melhor. (ICAO, 2013).

O conceito PBN especifica que a aeronave voando procedimentos RNAV ou RNP tenha os seus sistemas de navegação definidos em termos de acuracidade, integridade, continuidade e funcionalidade necessárias para a execução do procedimento específico (ICAO, 2013).

A realização dos procedimentos RNP está relacionada ao número de satélites disponíveis conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Eficácia da realização de procedimentos PBN em razão do número de satélites

Número de satélites disponíveis	RNP 10	RNP 4	RNP 2	RNP 1	RNP 0.5	RNP 0.3	RNP 0.15
24	>99.999%	>99.999%	>99.999%	>99.999%	99.99%	99.98%	99.62%
23	>99.999%	>99.999%	>99.999%	99.98%	99.87%	99.67%	97.76%
22	>99.999%	99.99%	99.99%	99.82%	99.30%	98.61%	94.29%
21	>99.999%	99.96%	99.89%	99.33%	98.10%	96.60%	89.34%

Fonte: ICAO, 2013

A realização será dependente do número de satélites operando na constelação de GPS e à medida que a disponibilidade dos satélites diminui, a eficácia de realização do procedimento diminui também.

### 3.1.1 Funções básicas do sistema RNAV e RNP

Sistemas RNAV e RNP tipicamente integram informações dos sensores como: velocidade do vento, velocidade da aeronave, referência do sistema inercial, navegação satelital, auxílios à navegação baseados no solo e combina esses dados com do banco de dados e somado aos inseridos pela tripulação, realiza as seguintes funções, conforme a Figura 4:

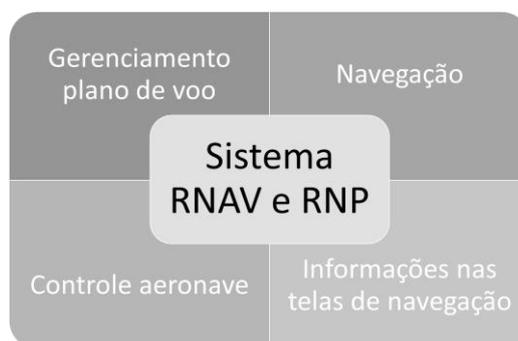


Figura 4 - Funções básicas sistema RNAV e RNP

Para realizar a navegação são utilizados dados que incluem: posição da aeronave, velocidade, direção de voo, variação magnética, altitude com correções barométricas, direção e intensidade do vento. A maioria dos sistemas de navegação utilizam vários sensores, incluindo GNSS, DME, VOR e Inercial para calcular a velocidade e posição da aeronave (ICAO, 2013).

Os sistemas RNP irão confirmar a validade dos dados dos sensores antes de os usarem para a navegação. Os dados dos sensores GNSS geralmente são subjetivos a verificações de integridade e acuracidade antes de serem aceitos para o posicionamento e velocidade da aeronave. Para equipamentos de navegação multi-sensores, caso o sistema GNSS não esteja disponível para calcular a posição e velocidade, automaticamente seleciona-se um outro sistema como DME/DME ou VOR/DME, em último caso serão utilizados os dados do inercial (ICAO, 2013).

No início, o grande problema enfrentado durante a RNAV baseado em GNSS era a grande variedade entre a rota planejada e a rota voada, devido a erros de acuracidade nos equipamentos embarcados. Outro problema enfrentado era a impossibilidade de se prever qual seria o comportamento dos computadores de bordo em todas as situações. Com o objetivo de manter a segurança da navegação aérea, os planejadores mantinham as distâncias entre rotas elevadas assim como as alturas sobrevoadas em regiões com obstáculo (ICAO, 2013).

A medida que a indústria aeronáutica foi incorporando à tecnologia RNAV, diferentes tipos de equipamentos foram surgindo, diferenças de equipamento, configurações e funções disponíveis. Como consequência, foram desenvolvidos uma gama de procedimentos, uma para cada tipo de configuração, aumentando os custos para os operadores.

O sistema RNP é um sistema RNAV que permite o monitoramento a bordo e alerta. O sistema deve ter a capacidade de seguir um caminho designado com confiança, repetitividade

e previsibilidade, devendo ser capaz de realizar trajetórias em curva. Em procedimentos que requeiram perfis verticais, deve ocorrer as orientações verticais, indicação de ângulos verticais e limites de altitude definidos (ICAO, 2013).

A principal diferença entre a realização de um procedimento RNP e RNAV é a capacidade de monitoramento do desempenho realizado dentro da aeronave e os alertas que são emitidos quando da não conformidade com os pré-requisitos de segurança estabelecidos (ICAO, 2013).

A capacidade de monitoramento e alerta pode ser mostrada de várias maneiras dependendo do sistema que é utilizado, arquitetura e configuração, devendo incluir:

- Exibição e indicação das trajetórias de voo estimadas e indicadas;
- Monitoramento do desempenho do sistema e alerta à tripulação quando os requisitos RNP não forem alcançados;
- Desvios de rota mostrados na rota, além de outras formas de monitoramento e alerta da integridade da navegação.

#### 4. O CONCEITO DE ESPAÇO AÉREO

O conceito de espaço aéreo descreve o tipo de operação que será realizado em um determinado espaço aéreo. Sua criação se dá com o intuito de atingir objetivos estratégicos como: aumentar a segurança aérea, aumentar a capacidade do tráfego aéreo, aumentar a eficiência, prover rotas de voo mais precisas e diminuir impactos ambientais (ICAO, 2013).

A organização do espaço aéreo deverá estabelecer estruturas no espaço aéreo com o objetivo de acomodar: (a) os diferentes tipos de atividades aéreas desempenhadas; (b) volume de tráfego aéreo e (c) diferentes níveis de serviço (ICAO, 2005).

Para se atingir esses objetivos, podem ser definidos a estruturação e organização do espaço aéreo, mínimos requeridos de separação do sistema, espaçamento entre rotas, distância mínima de obstáculos, dentre outros. O conceito de espaço aéreo é formado pelos seguintes elementos: comunicação, navegação, vigilância e gerenciamento do tráfego aéreo, conforme mostra a Figura 5.

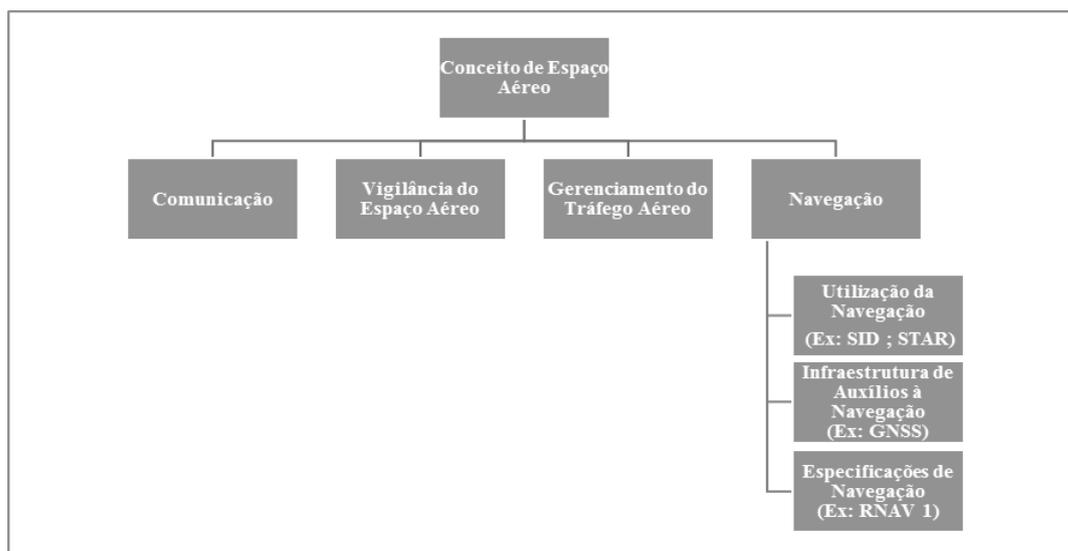


Figura 5 – Objetivos estratégicos de um espaço aéreo

Fonte – ICAO, 2013.

Os objetivos estratégicos, conforme mostra a Figura 6, são as bases para a implantação de um conceito de espaço aéreo.



Figura 6 – Objetivos estratégicos  
Fonte – ICAO, 2013

Sua identificação se dá em conjunto com os usuários do sistema, coordenadores do sistema de tráfego aéreo, aeroportos, agências ambientais e representantes do governo. Os objetivos buscados são: segurança, capacidade, eficiência, ambiente e acesso (ICAO, 2013).

O espaço aéreo é um dos sete componentes do Conceito Operacional do Sistema Gerenciamento de Tráfego Aéreo, conforme Figura 7.

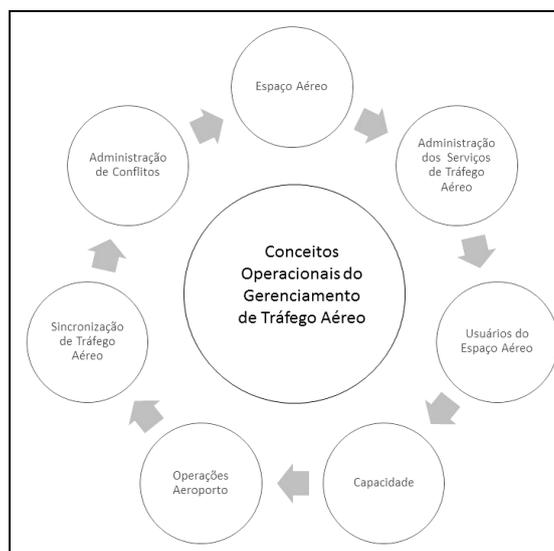


Figura 7 – Conceitos Operacionais do Gerenciamento de Tráfego Aéreo  
Fonte – Adaptado de ICAO, 2005

Percebe-se que a conceito do espaço aéreo é um dos elementos do Gerenciamento do Tráfego Aéreo, porém não é o único. Devido a sua complexidade, o sistema deve ser visto de forma holística, interligada e interdependente que juntos formam o Sistema de Gerenciamento do Tráfego Aéreo. Por essa razão, que o conhecimento das mudanças inseridas conceito do espaço aéreo com a introdução de novos meios de navegação são importantes. Mas antes de introduzir mudanças, faz-se necessário o planejamento do espaço aéreo.

### 4.1 Processo de planejamento do espaço aéreo

FAA (2004) propõe um método para planejamento do espaço aéreo abrangendo todas as fases do processo, desde a caracterização inicial do problema até a avaliação no pós-implantação, conforme Figura 8.

Pelos passos propostos por FAA (2004): (a) Caracterização do Problema: envolve identificar o problema através dos membros da comunidade aeronáutica. Deve-se buscar entender os principais envolvidos, métricas e potenciais custos e benefícios; (b) realizar a avaliação inicial: determinar se o novo espaço aéreo será capaz de resolver os problemas existentes; (c) iniciar o estudo do espaço aéreo; (d) apresentar os resultados do estudo; (e) selecionar as mudanças no espaço aéreo: as autoridades devem decidir quais mudanças devem ser implementadas; (e) plano de implantação; (f) avaliação após a implantação: verificar se os resultados foram atingidos.

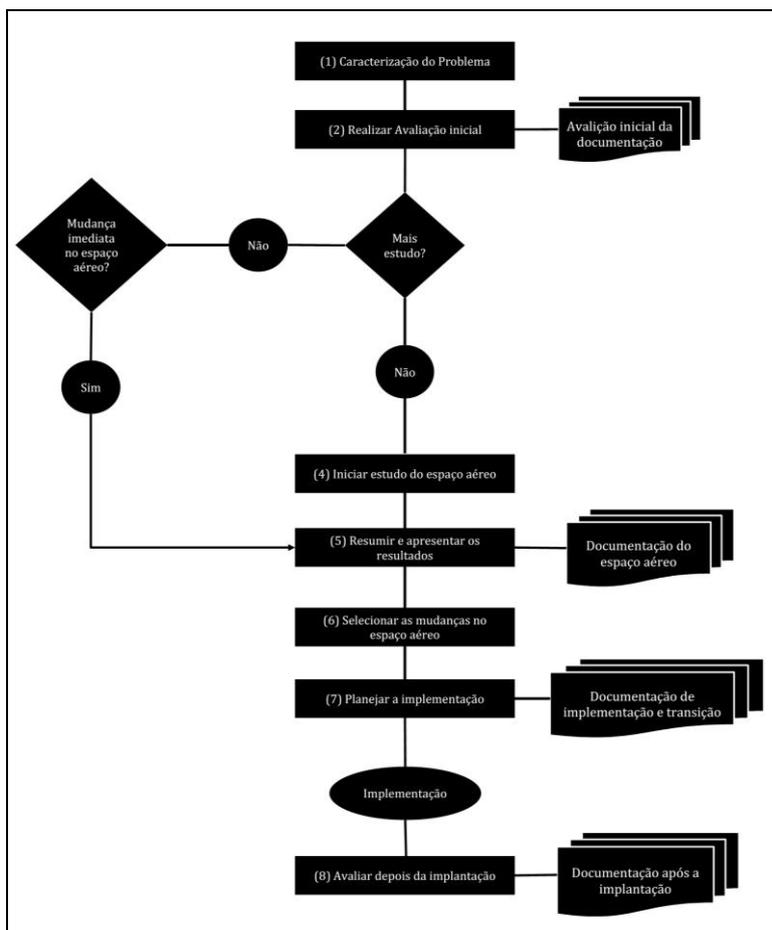


Figura 8 – Processo para planejamento do espaço aéreo  
 Fonte – FAA, 2004

Percebe-se que a implantação de um novo conceito de espaço aéreo envolve um complexo estudo de todos os envolvidos.

### 5. CONCEITO DO ESPAÇO AÉREO BASEADO EM PERFORMANCE (PBN)

Dentro do conceito de espaço aéreo, o PBN é baseado no uso da navegação por área (RNAV) e por desempenho necessário (RNP) e compreende três componentes: infraestrutura de apoio à navegação, especificação de navegação e utilização da navegação (ICAO, 2013).

O PBN é definido em 11 tipos de especificações de navegação, sendo quatro do tipo RNAV e sete do tipo RNP, conforme Figura 9. São definidos pela ICAO os requisitos de performance (acuracidade, integridade e continuidade) necessários para cada sistema de navegação.

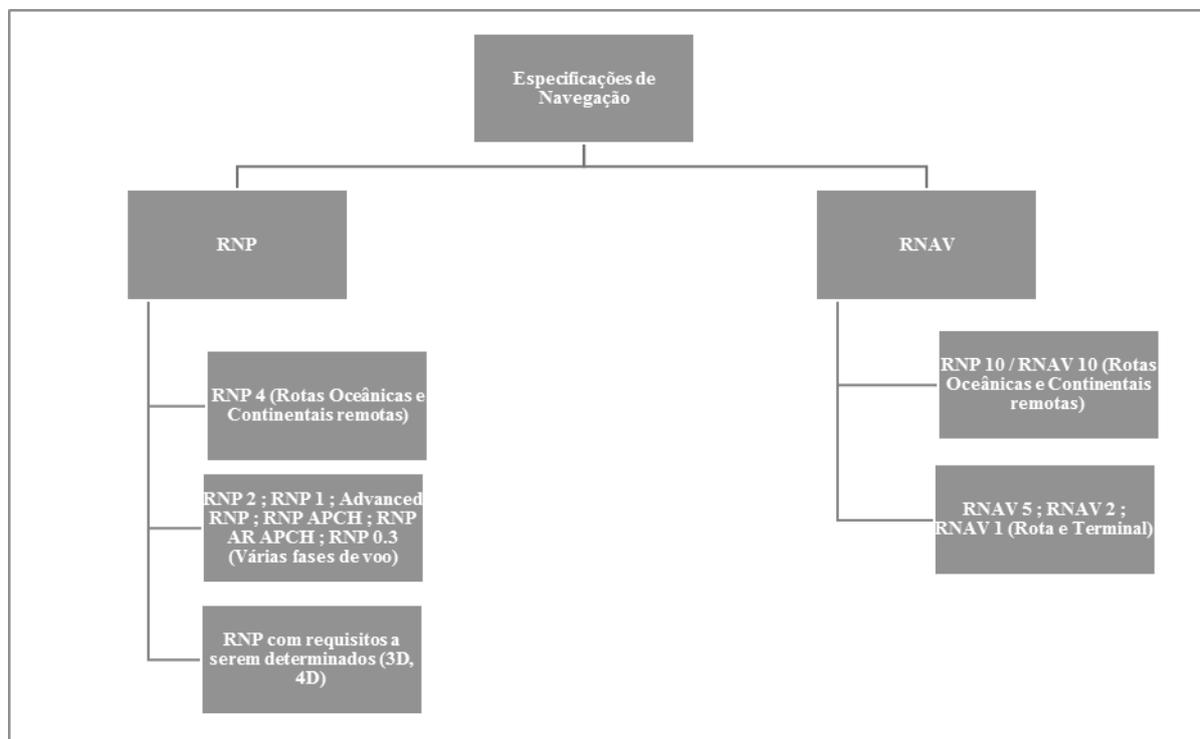


Figura 9 – Tipos de Procedimentos PBN

Fonte – ICAO, 2013

Procedimentos PBN para rotas oceânicas e continentais remotas: **RNAV 10**, **RNP 4**, **RNP 2**. Eles utilizam basicamente o GNSS para a sua realização (ICAO, 2013).

Para rotas continentais são utilizados procedimentos RNAV e RNP. **RNAV 5** no Oriente Médio, América do Sul e Europa, sendo nessas regiões designados como **B-RNAV** (*Basic RNAV*). Nos Estados Unidos, **RNAV 2** (ICAO, 2013).

Para chegadas e partidas, na Europa **P-RNAV** (*Precision RNAV*), devendo ter a sua nomenclatura mudada para **A-RNAV** (*Arrival RNAV*). Existe ainda o **RNAV 1**. O **RNP 1** foi desenvolvido principalmente para a aplicação em ambientes desprovidos de radar de navegação e terminais de baixa densidade.

Para aproximação para pouso, os procedimentos cobrem todas as fases de uma aproximação por instrumento (inicial, intermediária, final e aproximação perdida). São requisitos necessários uma acuracidade entre 0.3 e 0.1 ou até menor. Isso serve como novos procedimentos para uma pista, como procedimentos secundários e como procedimentos confeccionados especificamente para aumentar a capacidade de um aeroporto (ICAO, 2013).

### 5.1 Especificação de navegação

Devido às especificações de desempenho, os requisitos são agrupados para cada tipo de navegação. Uma aeronave aprovada para executar um procedimento RNP não está automaticamente aprovada para executar todos os tipos de procedimentos RNAV, conforme Figura 10 (ICAO, 2013).

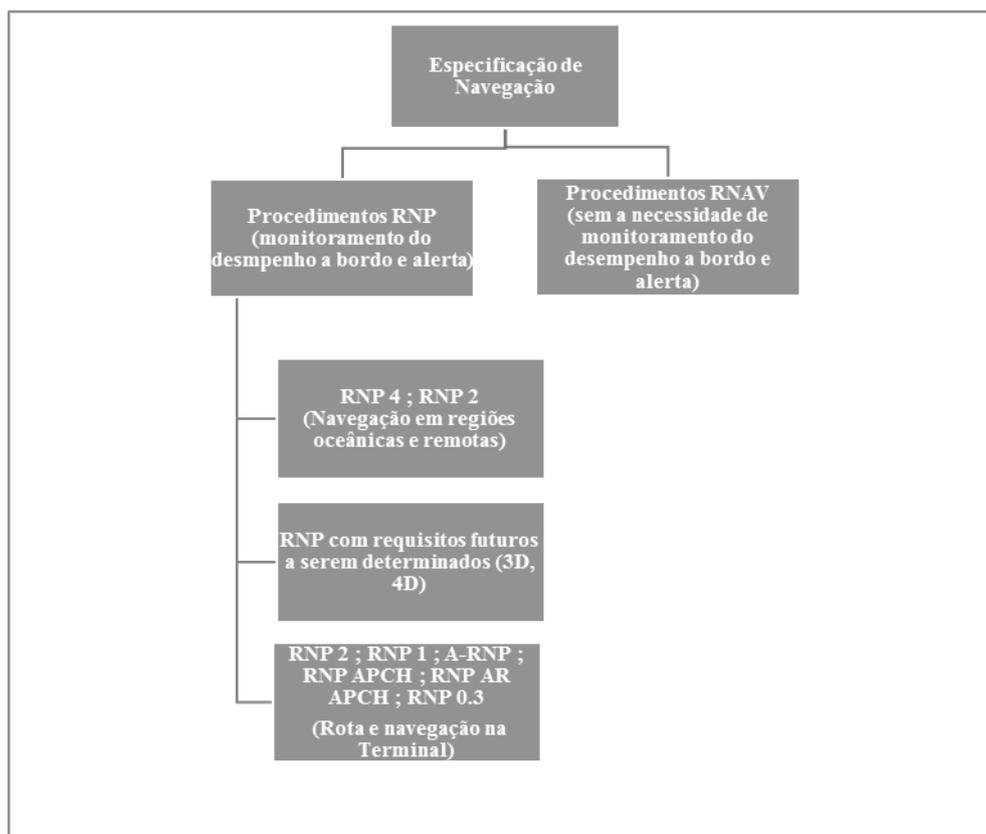


Figura 10 – Especificação de navegação PBN  
Fonte – ICAO, 2013

Inicialmente, os procedimentos RNAV para a sua execução baseavam-se em sensores baseados no solo. A construção das rotas ficava restrita a localização desses sensores, não permitindo ao planejador buscar a melhor rota de navegação. Com a introdução baseada em GNSS, foi possível criar fixos utilizando latitude e longitude, com isso foi possível a criação de rotas menos dependentes da localização dos auxílios à navegação, e viabilizando a construção trajetórias ótimas (ICAO, 2013).

O desempenho de navegação necessário pelos procedimentos RNAV e RNP é parte integrante das especificações de navegação. Por exemplo, caso se esteja planejando um espaço aéreo RNAV 1 (especificação de navegação), ou seja, o máximo de desvio lateral permitido será de 1 milha náutica lateral 95% das vezes, o desempenho de navegação dos equipamentos de navegação aéreo embarcados na aeronave deverá seguir os limitadores. Tendo isso em mente, o planejador aéreo determinará as separações mínimas e os espaçamentos entre rota.

No conceito PBN, existem dois tipos de especificações de navegação: especificações RNAV e especificações RNP. A principal diferença entre os dois, é que as especificações RNP necessita do monitoramento do desempenho da navegação mostrado ao piloto e que alertas sejam emitidos caso as especificações para o cumprimento do procedimento não sejam atingidas. Por exemplo, caso se esteja voando um procedimento RNP 5 e os equipamentos a bordo da aeronave indiquem que o equipamento está mantendo um desvio lateral maior que 5 milhas náuticas, não será possível para aquela aeronave executar o procedimento, conforme Tabela 2 (ICAO, 2013).

Tabela 2 – Equipamentos necessários para a utilização do espaço PBN

Tipos de navegação	Fase de voo	Equipamentos Necessários	Aplicação
<b>RNAV 10</b>	Oceânica	GPS, GPS/IRU, FMS	Obrigatório
<b>RNAV 5</b>	Rota	GPS, GPS/IRU, DME/DME, FMS	Obrigatório
<b>RNP 4</b>	Oceânica	GPS, GPS/IRU, FMS	Rota Preferencial
<b>RNAV 2</b>	Rota	GPS, GPS/IRU, DME/DME, FMS	Obrigatório no futuro
<b>RNP 2</b>	Rota	GPS, GPS/IRU, FMS	Obrigatório no futuro
<b>RNAV 1</b>	Terminal, STAR e Saídas	GPS, GPS/IRU, DME/DME, FMS	Obrigatório no futuro
<b>RNP 1</b>	Terminal, STAR e Saídas	GPS, GPS/IRU, FMS	Obrigatório no futuro
<b>LNAV / RNP 0.3</b>	Aproximação	GPS, GPS/IRU, FMS	Necessário para ADS-B
<b>RNP AR</b>	Aproximação	GPS, GPS/IRU, FMS	
<b>LPV</b>	Aproximação	GBAS, SBAS	
<b>VNAV</b>	Aproximação	Baro-altimetria/ADC, GPS	

Fonte – ICAO, 2013

As mínimas distâncias de separação e o espaçamento de rotas em procedimentos baseados em solo, são determinados pelos dados de performance do equipamento, tendo como parâmetro principal a acuracidade do equipamento em solo. Na utilização de procedimentos PBN, o tipo de procedimento que poderá ser voado se baseia na capacidade do equipamento embarcado em processar os dados e prover o posicionamento (ICAO, 2013).

## 6. CONCLUSÃO

Nos próximos 15 anos, espera-se que a frota comercial de aeronaves dobre e que algumas cidades concentrem a maior parte da demanda aérea dos voos de longa duração e regionais criando *hubs* globais de transporte.

Com o aumento da demanda aérea, faz-se necessário, faz-se necessário pensar novas maneiras de melhor utilização do espaço aéreo. Uma das maneiras encontradas para a melhor utilização foi a introdução dos Procedimentos Baseados em Performance (PBN).

A sua introdução resultou em novas maneiras de se pensar e planejar o espaço aéreo. Com a precisão advinda desse novo tipo de procedimento, permitiu o planejamento aéreo de rotas otimizadas em termos de consumo, tempo, ruído aeronáutico e diminuição dos atrasos.

A organização do espaço aéreo busca atingir objetivos estratégicos e deve estabelecer estruturas com o objetivo primordial de manter a aeronavegabilidade e segurança. O espaço aéreo PBN com sua especificação de navegação são agrupados para cada tipo de navegação.

Por fim, vale salientar que por ser algo novo, constantes avaliações devem ser realizadas com o objetivo de verificar os objetivos estratégicos são atingidos, contribuindo para aumentar a eficiência do sistema.

**REFERÊNCIAS**

**AIRBUS.** *Global market forecast 2014-2034.* 2015

**BOEING.** *Current market outlook 2015-2034.* 2015

**CHANDRA, D.C; GRAYHEM, R; BUTCHIBABU, A.** *Area Navigation and Required Navigation Performance Procedures and Depictions.* 2012.

**FAA – Federal Aviation Administration.** *AC 90-100A, 2007-03-01 — U.S. Terminal and En Route Area Navigation (RNAV) Operations.* 2007

**FAA – Federal Aviation Administration.** *Airspace Management Handbook.* 2004.

**ICAO – International Civil Aviation Organization.** *Doc 9854. Global Air Traffic Management Operational Concept. 1<sup>st</sup> Edition.* Quebec, Canada. 2005

**ICAO - International Civil Aviation Organization.** *Doc 8168. Aircraft Operations Manual. Volume I Flight Procedures. 5th Edition.* Quebec, Canada. 2006

**ICAO - International Civil Aviation Organization.** *Doc 9613. Performance-Based Navigation (PBN) Manual. 4th Edition.* Quebec, Canada. 2013

**NOLAN, M. S.** *Fundamentals of air traffic control.* Cengage Learning. 2010.

**PAMPLONA, D.A; FORTES, J.L.C; ALVES, C.J.P.** *Análise dos benefícios da utilização de procedimentos baseados em desempenho e da utilização de aproximações de descida contínua na rota Galeão-Guarulhos.* *Revista Transportes*, v.23, n.2. 2015. DOI:10.14295/transportes.v23i2.862