

OTIMIZAÇÃO DE ROTAS E SEUS BENEFÍCIOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO GRADUAÇÃO EM AVIAÇÃO CIVIL

Campus Vila Olímpia

Orientador: Prof. Me. Francisco José Rezende

Abdel Karim Smaili, RA: 125111346624

Alexandre Istvan Nagy Masili, RA: 125111363757

Caio Arthur Berna Pellegrini, RA: 125111361995

Felipe Monteiro Apelbaum, RA: 125111377649

Isabella Rodrigues Paladini, RA: 125111355857

Leonardo Carvalho de Paiva, RA: 125111368477

Vinícius Moraes Dall'Orto Silva, RA: 125111373311

São Paulo

2º semestre, 2022

OTIMIZAÇÃO DE ROTAS E SEUS BENEFÍCIOS

Abdel Karim Smaili; Alexandre Istvan Nagy Masili; Caio Arthur Berna Pellegrini; Felipe Monteiro Apelbaum; Isabella Rodrigues Paladini, Leonardo Carvalho de Paiva e Vinícius Morais Dall’Orto Silva

Prof. Me. Francisco José Rezende

ABSTRACT

Considering the advances provided by the advent of Performance-Based Navigation (PBN) and the various benefits of its implementation, the objective is to help in the dissemination of information about this topic, mainly for the aeronautical community, demonstrating the contrast of scenarios before and after the application of this technology, highlighting its advantages. In order to do so, a bibliographic analysis, comparison of conventional routes with PBN routes and numerical study of the data obtained are carried out. In this way, it is observed that PBN is much more efficient and safer than previous navigation methods, which allows us to conclude that its application and dissemination is fundamental nowadays.

Palavras-chave: Rotas Aéreas, PBN, Navegação, Economia de Combustível.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demonstração de rota IFR convencional (adaptada)

Figura 2 – Comparação de rota IFR convencional com rota RNAV (adaptada)

Figura 3 – Especificações de Navegação por PBN

Figura 4 – Precisão e área de aplicação para cada Designação de Operação (adaptada)

Figura 5 – Comparação ilustrativa de rotas (adaptada)

Figura 6 – Mapa de Rotas da Azul Linhas Aéreas

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Precisão e área de aplicação para cada Designação de Operação

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de dados de rota IFR convencional navegação RNAV Caso 1

Tabela 2 – Comparação de dados de rota IFR convencional navegação RNAV Caso 2

LISTA DE SIGLAS

ABAS	Sistema de Argumentação Baseado na Aeronave
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
GBAS	Sistema de Argumentação Baseado em Solo
GCTA	Gerência de Operações de Empresas de Transporte Aéreo – 121
GLONASS	Sistema de Navegação Global por Satélite
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GOAG	Gerência de Operações da Aviação Geral
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HUB	Aeroporto Centro de Conexões
NDB	Radiofarol não Direcional
OACI	Organização de Aviação Civil Internacional
PBN	Navegação Baseada em Performance
RAIM	Monitoramento de Integridade Autônomo da Aeronave
RBAC	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil
RNAV	Navegação de Área

RNP	Performance de Navegação Requerida
SBAS	Sistema de Argumentação Baseado em Satélite
SPO	Superintendência de Padrões Operacionais
VOR	Radiofarol Onidirecional em VHF

INTRODUÇÃO

Com a evolução tecnológica da aviação e o surgimento dos procedimentos das navegações aéreas houve a necessidade de otimizar rotas e melhorar o fluxo de tráfego aéreo. Neste artigo, iremos abordar a otimização de rotas aéreas e sua implementação no espaço aéreo brasileiro, com o intuito de elucidar os benefícios que a otimização pode trazer no âmbito da aviação comercial. O trabalho foi baseado em documentos da ANAC, ICAO, e relatórios com dados operacionais da aviação civil brasileira.

Na primeira seção há a abordagem do avanço que as navegações aéreas tiveram para garantir voos seguros e eficientes, e o surgimento do Performance Based Navigation (PBN), a Navegação Baseada em Performance, explicando o princípio de uma operação realizada por PBN e os procedimentos que este tipo de navegação exige.

A segunda seção aborda as vantagens que a navegação por PBN traz dentro do espaço aéreo brasileiro na atualidade, apresentando dados que demonstram o objetivo de colaborar para a eficiência do fluxo do tráfego aéreo. Para dar ênfase à aplicabilidade do PBN, o trabalho apresenta um estudo de caso com a comparação das navegações de uma rota e o seu desenvolvimento em cada procedimento.

Além dessas questões, a última seção expõe os requisitos para a otimização de rotas ser fomentada e o seu aproveitamento dentro de uma malha aérea. Além disso, é apresentada a visão da empresa aérea ao elaborar rotas capazes de serem otimizadas, com a finalidade de compactar a sua malha.

Dessa forma, ao longo deste trabalho, há a análise do PBN quanto à eficiência e segurança, em comparação com os métodos de navegação anteriores, para verificar o alcance de sua aplicação nos dias atuais.

1. A OTIMIZAÇÃO DE ROTAS AÉREAS

Ao longo do tempo, os métodos de navegação aérea evoluíram para se adaptar aos contextos em que estavam inseridos, permitindo a otimização contínua de rotas. Dessa forma, toda tecnologia utilizada, atualmente, com esse propósito é consequência de um processo histórico de evolução e adaptação.

1.1 Evolução da Navegação Aérea e a Definição de PBN

A análise da evolução histórica de determinada atividade permite compreendê-la mais profundamente, na forma que é praticada atualmente, incluindo suas características e funcionamento. Nessa perspectiva, a atividade aérea se aplica a esse conceito, experimentando constante desenvolvimento desde o seu início, no começo do século XX, até os dias de hoje.

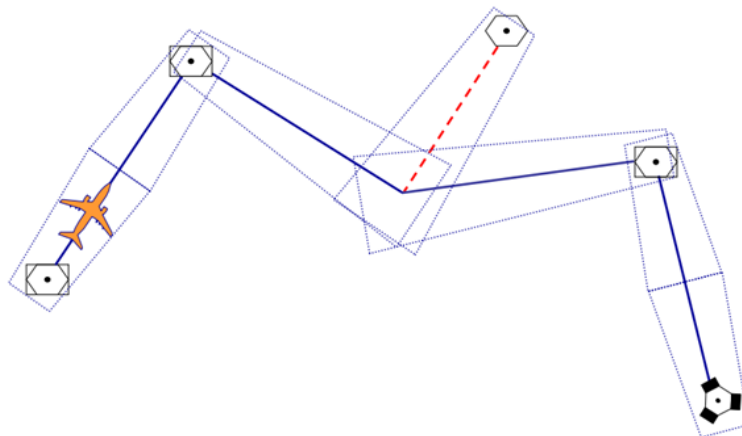
A aviação comercial teve seu início em 1919, logo após o fim da Primeira Guerra Mundial, aproveitando toda a pesquisa e tecnologia desenvolvida durante esse período, de forma a explorar economicamente esses investimentos (Monteiro, 2002). Desde então, com a globalização, verificou-se a possibilidade e a demanda de conectar múltiplos pontos geográficos ao redor do globo, através da atividade aérea, independente de condições meteorológicas adversas, evidenciando a expansão e potencial desse mercado.

No início, os voos se orientavam somente por meio de referências visuais no solo, dando nome ao tipo de voo que hoje é conhecido como Voo Visual (VFR). Com o passar dos anos, foi surgindo, gradualmente, a necessidade de novos métodos de navegação, com maior precisão e confiabilidade, para cumprir a crescente missão da aviação. Nesse caso, foi elaborado um tipo de navegação independente de condições visuais, o Voo por Instrumentos (IFR), utilizando como base as estações de rádio no solo, chamadas de Rádios-Farol.

Dessa forma, a navegação por instrumentos via rádio foi se desenvolvendo, e surgiram tecnologias que operam com frequências cada vez maiores, resultando no aumento da precisão e da confiabilidade dos sinais recebidos como auxílios às aeronaves. A princípio, nasceu o Non-Directional Beacon (NDB) como um dos principais precursores da navegação VFR e, posteriormente, o Very High Frequency Omnidirectional Range (VOR) e o Distance Measuring Equipment (DME), como grande evolução, comparados ao NDB.

Para cumprir uma rota de um ponto A para um ponto B, os métodos de navegação por rádio, denominados de navegação IFR convencional, obrigam que as aeronaves sobrevoem ou passem em determinada radial de cada auxílio no solo existente, próximo a esses pontos. Logo, tal fato faz com que determinadas rotas tenham, usualmente, várias pernas e cursos distintos, não permitindo grande eficiência de tempo e combustível em voos médios e longos.

Figura 1: Demonstração de rota IFR convencional (adaptada)

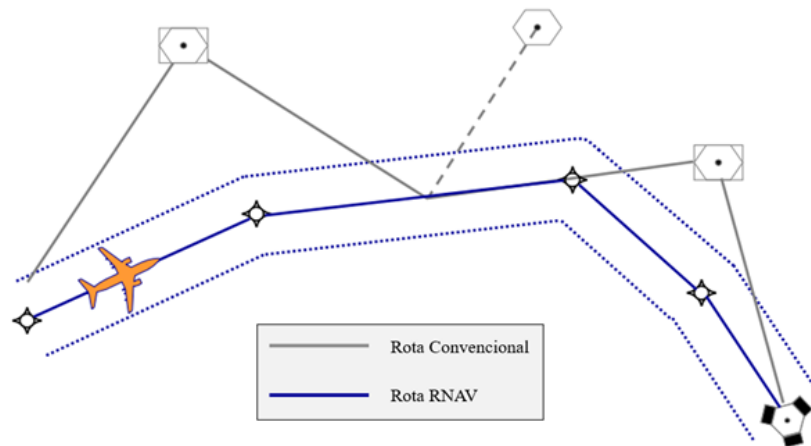


Fonte: ICAO, 2011.

Tendo em vista o aumento do tráfego aéreo e a necessidade de operar rotas cada vez mais longas, surgiu a necessidade de continuar otimizando os métodos de navegação aérea. Nesse contexto, foi criado um novo método de navegação que permite voar uma rota em qualquer trajetória, chamado de Navegação por Área – Area Navigation (RNAV). Esse método, de grande precisão, utiliza a técnica da triangulação para determinar a

posição geográfica de um ponto no globo; sendo baseada em estações rádio no solo, constelações de satélites, equipamentos inerciais embarcados ou na combinação dessas tecnologias.

Figura 2: Comparação de rota IFR convencional com rota RNAV (adaptada)



Fonte: ICAO, 2011.

Em 2017, foi introduzido o conceito de PBN pela OACI, definido como Navegação Baseada em Performance (ICAO, 2017). Isso se deu devido à não padronização da aplicação do conceito de RNAV e RNP (Required Navigation Performance), e representa uma evolução do RNAV, que será abordada na seção 1.2.

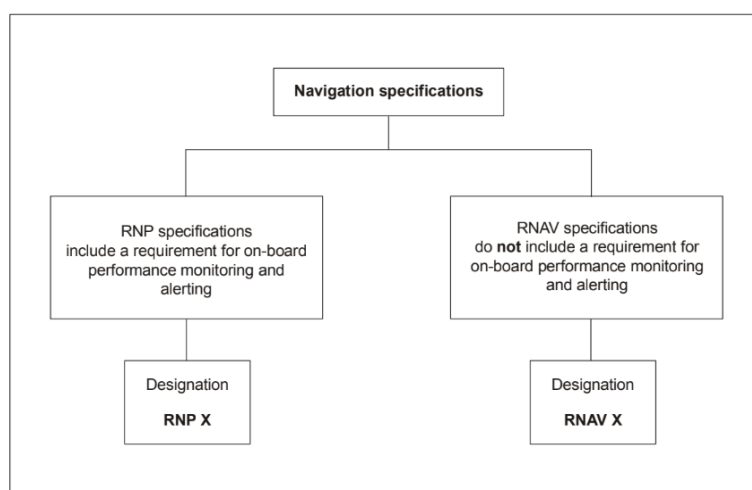
Desse modo, PBN pode ser definido como:

“operação realizada em 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 às especificações expressas em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade, compreendendo especificações de RNAV ou RNP, associados a um determinado nível de precisão para cada tipo de operação” (ANAC, 2008).

1.2 Tipos de Navegação por PBN

Conforme abordado, as operações PBN se resumem a duas especificações de navegação distintas: RNAV (Navegação de Aérea) e RNP (Performance de Navegação Requerida). As duas são fundamentalmente semelhantes, sendo que, em termos gerais, o único diferencial é que a especificação RNP conta com um sistema de monitoramento e alerta de desvios de rota, sendo mais avançada que a especificação RNAV, conforme figura abaixo:

Figura 3 - Especificações de Navegação por PBN



Fonte: Doc 9613, OACI

Além disso, ambas as especificações de operação possuem designações características do modelo RNP, seguindo o Doc 8335 da OACI. Para voos em rota e em áreas de terminal, seguem o modelo RNAV X e RNP X, em que X significa a precisão lateral de navegação em milhas náuticas em pelo menos 95% do tempo voador. Para aproximações, existem somente as designações RNP APCH e RNP AR APCH. Conforme quadro adaptado abaixo é possível determinar a precisão lateral de navegação requerida e a área de aplicação de cada designação existente:

Quadro 1: Precisão e área de aplicação para cada Designação de Operação

Designação da Operação	Precisão Lateral da Navegação	Área de Aplicação
RNAV 10 (RNP 10)	10	Em rota – Oceânica / Remota
RNAV 5	5	Em rota – Continental
RNAV 1 e 2	1 e 2	Em rota – Continental / Área Terminal
RNP 4	4	Em rota – Oceânica / Remota
RNP 1	1	Área Terminal
RNP 2	2	Em rota – Oceânica / Remota / Continental
RNP APCH	0.3	Aproximação
RNP AR APCH	0.5 – 0.1	
APV/BARO-VNAV	-	

Fonte: IS Nº 91-001 F, ANAC, 2017

Como já destacado, para basear as operações RNAV e RNP, podem ser utilizadas constelações de satélites, sistemas embarcados na aeronave, auxílios no solo ou a combinação desses recursos. Para possibilitar a máxima otimização de rotas, não convém depender de auxílios à navegação no solo, pois as outras bases são mais eficientes.

O sistema de localização baseado em constelação de satélites é denominado genericamente de GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) pela OACI. Existem governos que operam seus próprios GNSS - como os EUA, com o GPS, a Rússia, com o GLONASS, e a União Europeia, com o GALILEO.

Entretanto, somente um tipo de GNSS não é capaz de possibilitar uma navegação de área suficientemente precisa, pois está sujeito a interferências, necessitando de sistemas de acréscimo de sinais de satélite, tais como os descritos a seguir.

1.2.1. ABAS (Aircraft-Based Augmentation System)

Sistema que agrega informações recebidas de GNSS com sistemas embarcados na aeronave para aumentar a precisão da navegação por área. O principal método de ABAS é o RAIM (Receptor Autônomo de Monitoramento de Integridade). Grande parte das operações RNAV são realizadas com base no GNSS e no RAIM, de modo que exista uma margem de erro aceitável.

1.2.2. SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*)

Sistema que otimiza a precisão do GNSS por meio de estações baseadas em solo - denominadas Estações de Referência de Monitoramento de Integridade e Estações Mestras - além de satélites geoestacionários. Esse sistema é utilizado somente pela especificação RNP em aproximações.

1.2.3. GBAS (*Ground-Based Regional Augmentation System*)

Sistema que otimiza a precisão do GNSS através de estações baseadas em solo - normalmente dentro de sítio aeroportuário - que transmitem mensagens de erro diretamente para a aeronave. Pode ser utilizado para navegação em áreas terminais e para pousos de precisão.

1.3 Aprovação de operações PBN no âmbito dos operadores aéreos

No que tange à aprovação e regulamentação, as agências regulatórias da aviação ao redor do globo seguem, preponderantemente, o Doc 8335 da OACI. Assim, no Brasil, todo o processo de certificação e manutenção de operações PBN é orientado pelo documento IS Nº 91-001 e realizado pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), a partir de duas aprovações: “aprovação de aero navegabilidade emitida pelo Estado de Registro da aeronave” e “aprovação operacional emitida pelo Estado do operador”.

Na ANAC, a Superintendência de Padrões Operacionais (SPO) é responsável pela coordenação de processos de aprovação de operações PBN, por meio de duas gerências: a GCTA (Gerência de Operações de Empresas de Transporte Aéreo – 121), para operadores regidos pelo RBAC 121, e a GOAG (Gerência de Operações da Aviação Geral), para operadores regidos pelo RBAC 135. Concomitantemente, demais agências regulatórias aplicam e organizam esses processos de forma semelhante.

Além disso, os processos de autorização de operações PBN são compostos por 5 fases, que incluem desde a análise de manuais, até demonstrações práticas, que resultam na emissão de um EA (Especificação de Aeronave), LOA (*Letter of Authorization* ou Carta de Autorização), ou EO (Especificidade Operativa), dependendo do tipo de operação realizada.

2. BENEFÍCIOS DA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS

Como apresentado anteriormente, a implementação do PBN pode encurtar rotas e reduzir as distâncias laterais e longitudinais entre as aeronaves. Isso beneficia os operadores, mantém um alto nível de segurança durante as operações e, ainda reduz impactos ambientais causados pelas aeronaves. A partir disso, verificam-se os variados benefícios de sua implantação nos setores:

2.1. Financeiro e operacional

Visto que o setor aéreo trabalha com uma reduzida margem de lucro, toda forma de economizar recursos e aumentar o resultado financeiro da operação é valiosa para as empresas. Por isso, o impacto econômico da implementação da navegação baseada em performance é de extrema relevância, quando se discute seus benefícios.

2.1.1. Os benefícios mais importantes e vantajosos da implementação do PBN para os operadores são a economia de combustível e de tempo. Isso se dá por conta do melhor aproveitamento do espaço aéreo e a possibilidade de traçar ótimas trajetórias de voo (agora, independentes de auxílios no solo). Sendo assim, em decorrência dessas menores distâncias voadas, obtêm-se voos mais eficientes, curtos e gastando menos combustível por etapa. (ICAO, 2008)

2.1.2. Conforto dos passageiros: o conforto dos passageiros também é algo que pode ser levado em conta nessa implementação de rotas PBN. Com o encurtamento dos trechos voados, podemos ter uma redução no período em que o passageiro deverá permanecer a bordo, resultando em viagens mais rápidas e com maior comodidade, o que pode incrementar ainda mais a compra de passagens.

2.1.3. Mais voos e maiores trechos por dia: com a redução considerável no tempo de voo, as companhias aéreas podem incluir trechos com alcances maiores, sem necessidade de conexão ou escala, podendo também aumentar o número de voos que possuem trechos mais curtos. Além disso, a implantação de rotas paralelas, propicia novos

pontos de chegada e saídas nas TMA e de procedimentos de aproximação com mínimos operacionais mais baixos, possibilitando uma redução nos cancelamentos e o registro de atrasos nas operações.

2.1.4. Ainda, por conta do aumento da eficiência, há um melhor aproveitamento do tempo útil dos motores, visto que os motores aeronáuticos precisam passar por revisões completas (overhaul), onde são retirados e desmontados, a um custo que pode ultrapassar 12 milhões de dólares (IBA, 2022). Desse modo, uma operação que consegue efetuar voos mais eficientes e curtos pode resultar em mais destinos alcançados entre essas revisões, que variam entre cada tipo de motor e operador, mas que são estabelecidas, geralmente, entre 5 e 30 mil horas de voo. Isso representa mais lucro para as empresas aéreas.

2.1.5. Além disso, graças ao PBN há uma redução de custos relacionados à manutenção dos auxílios convencionais à navegação e sua adequação ao espaço aéreo. (ICAO, 2005, p. I-A-11).

2.2. Segurança

A segurança operacional é um dos pilares da aviação civil e há sempre uma busca pelo seu aprimoramento e redução dos índices de acidentes e fatalidades. Nesse contexto, é visível a corroboração do PBN nessa busca.

2.2.1. O PBN fornece mais precisão na navegação, nos procedimentos e no espaço aéreo como um todo, por meio da implantação de procedimentos com descida contínua e estabilizada, por exemplo. Isso permite uma redução significativa dos eventos de CFIT (Controlled Flight Into Terrain) e diminui os riscos de voo, mesmo em qualquer condição meteorológica, possibilitando evitar condições críticas de relevo, por meio da utilização de trajetórias RNAV e/ou RNP. Dessa forma, há uma redução de mínimos operacionais de teto e visibilidade.

2.2.2. Há também a redução da carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo e do piloto, considerando que o emprego de trajetórias RNAV e/ou RNP reduz a necessidade

de vetoração radar e, em consequência, o tempo empregado nas comunicações piloto/controlador, enquanto a função do piloto dentro do cockpit passa a ser mais no âmbito do gerenciamento de voo. Há também, a implementação de trajetórias de aproximação, saída e chegada mais precisas, reduzindo a dispersão e propiciando fluxos de tráfego mais previsíveis para o ATC.

2.2.2.1. Juntamente com essa organização do espaço aéreo, vem o aumento da capacidade ATC, com a potencial redução na separação entre rotas paralelas, para acomodar maior quantidade de tráfego aéreo no mesmo fluxo, o que pode ser revertido em lucro para os operadores.

2.3. Sustentabilidade

Segundo a European Environment Agency, atualmente, a aviação comercial sozinha é responsável por 2% das emissões de carbono no mundo, o que não é um valor extremamente alto, porém, com a projeção de constante crescimento da malha aérea nos próximos anos, a poluição gerada pode aumentar muito. Além disso, há também o problema de ruídos gerados pelas aeronaves durante as operações próximas aos aeroportos. Esses ruídos podem chegar a 85 decibéis, o que é extremamente desconfortável para a população que reside nessas regiões. Sob esse viés, verifica-se que há uma diminuição desses impactos com as novas tecnologias de navegação.

2.3.1. A partir desse ponto de vista, viu-se que ocorre um menor impacto ao Meio Ambiente, com a redução de emissões de CO₂, por meio de procedimentos com menor distância voada. Ou seja, como as aeronaves percorrem distâncias menores por conta das rotas otimizadas, gasta-se menos combustível por voo e, consequentemente, há uma menor liberação de gases poluentes. (DECEA, 2018)

2.3.2. Quanto à emissão de ruídos pelas aeronaves nas cidades, durante as fases de aproximação e decolagem percebe-se uma diminuição, por meio de trajetórias em perfil

ótimo de descida/subida e uma concepção de procedimentos sobre áreas mais despovoadas. (DECEA, 2018)

3. ESTUDO DE CASO: PBN EM PARALELO À NAVEGAÇÃO IFR CONVENCIONAL

Com o objetivo de demonstrar os benefícios da PBN face à Navegação IFR Convencional de forma específica e prática, esse tópico apresenta dois casos de rotas reais, planejadas através do sistema ARINC Direct:

3.1 Caso 1 - Rota SBBU (Bauru, SP) para SBME (Macaé, RJ)

No primeiro caso, foram planejadas duas rotas do Aeroporto de Bauru (SBBU) até o Aeroporto de Macaé (SBME), uma VOR e outra RNAV, com a aeronave Boeing Business Jet voando no FL250, com velocidade aplicada de M 0.78. O resultado é apresentado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Comparação de dados de rota IFR convencional com navegação RNAV Caso 1

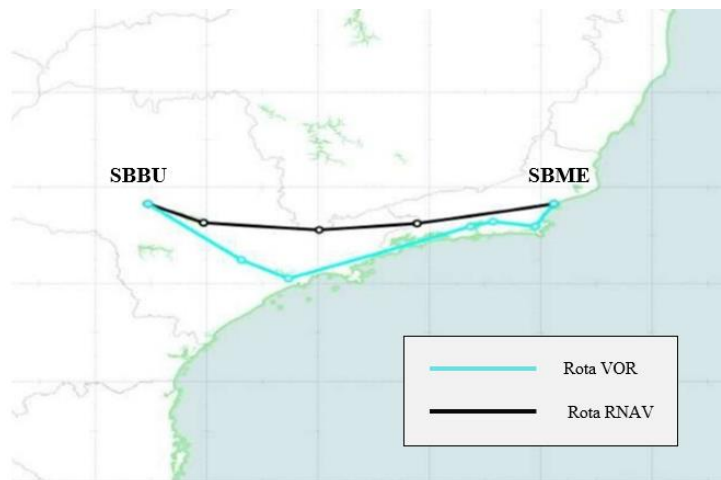
	Navegação VOR	Navegação RNAV
Rota	SBBU (RW32) DCT SCB DCT RDE DCT CXI DCT PCX DCT ADA DCT (RW06) SBME	SBBU (RW32) DCT CERVA DCT VUMEV DCT SIDUR DCT (RW06) SBME
Distância percorrida	458 nm	412 nm
Tempo total de voo	1+07h	1+02h
Combustível gasto	7138 lbs	6451 lbs

Fonte: Autoria Própria

A partir dos dados acima, conclui-se que a rota RNAV apresentou melhor eficiência, economizando tempo, combustível e apresentando uma rota mais retilínea sobre a rota balizada por auxílios VOR. As diferenças podem parecer mínimas, porém, é necessário levar em consideração que a análise foi feita em um voo curto, provido de uma região rica em auxílios VOR.

A seguir, ilustra-se o perfil de ambas rotas apresentadas.

Figura 4: Precisão e área de aplicação para cada Designação de Operação (adaptada)



Fonte: ARINCDirect (adaptado)

3.2 Caso 2 - Rota SBEG (Manaus, AM) para SBSP (São Paulo, SP)

No segundo caso, foram planejadas duas rotas do Aeroporto Internacional de Manaus (SBEG) até o Aeroporto Internacional de Congonhas (SBSP), uma VOR e outra RNAV, com a aeronave Boeing Business Jet voando no FL350 com velocidade aplicada de M 0.78, apresentando o seguinte resultado:

Tabela 2: Comparação de dados de rota IFR convencional com navegação RNAV Caso 2

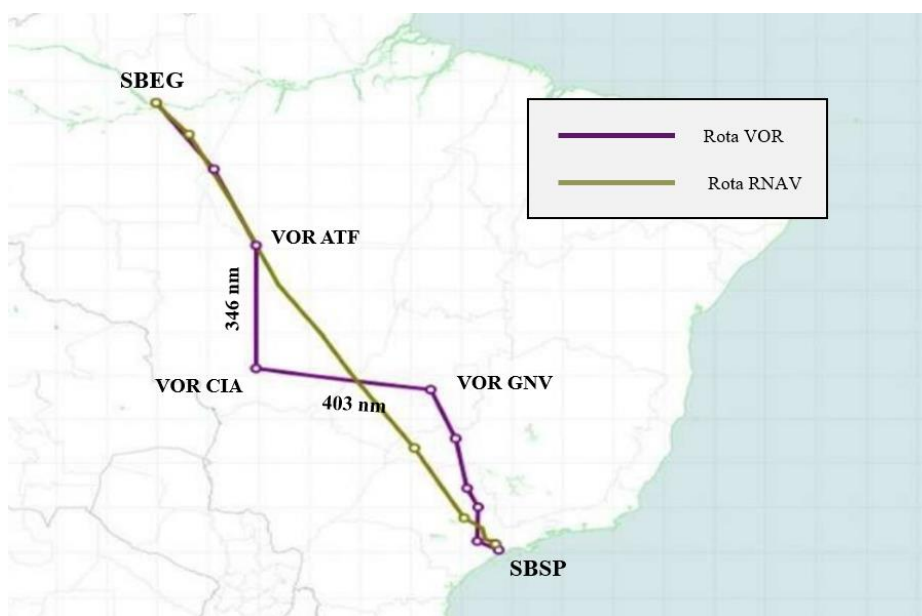
	Navegação VOR	Navegação RNAV
Rota	SBEG (RW11) DCT JAC DCT ATF DCT CIA DCT GNV DCT ULD DCT RPR DCT PIR DCT SCB DCT RDE DCT (RW17L) SBSP	SBEG (RW11) UTPAM1A GIKVI UM417 KUGPO DCT UTLOT DOSPI1A (RW17R) SBSP
Distância percorrida	1720 nm	1471 nm
Tempo total de voo	03+55h	03+23h
Combustível gasto	21295 lbs	18337 lbs

Fonte: Autoria Própria

A partir da tabela acima, conclui-se que as diferenças entre os dois modos de navegação começam a se destacar mais - a navegação RNAV, além de mais eficiente, também é claramente mais segura. Diferente do primeiro caso, analisado a região na qual

essa rota se traça, já é possível notar uma região pobre em auxílios VOR, fazendo com que a aeronave navegue longas distâncias com trechos sinuosos de um auxílio a outro sem um RNP para indicá-lo caso comece a derivar. Do VOR ATF ao CIA encontramos uma distância de 346 nm e do VOR CIA ao GNV uma distância de 403 nm, valores altos para serem voados sem o auxílio de algum balizador. Assim, novamente, a rota RNAV se destaca, trazendo melhorias em todos os aspectos envolvidos na navegação. Abaixo, ilustra-se o perfil de ambas rotas apresentadas.

Figura 5: Comparação ilustrativa de rotas (adaptada)



Fonte: ARINC Direct (adaptado)

4. IMPLEMENTAÇÃO DO PBN

Visando atender às necessidades relacionadas ao crescimento do tráfego aéreo, o DECEA vem contemplando o empreendimento “Implementação Operacional PBN”, com o objetivo de trazer uma série de benefícios operacionais, como o aumento da segurança da navegação aérea e a eficiência no uso do espaço aéreo. (DECEA, 2018)

Para essa implementação é necessário que o espaço aéreo brasileiro possua a aplicabilidade das operações RNAV e/ou RNP, além da disponibilidade de uma infraestrutura de auxílios à navegação aérea adequada, e a instalação do sistema RNAV a bordo da aeronave. (DECEA, 2018).

Nesta seção, a implementação da navegação por performance será abordada de maneira a verificar as vantagens da otimização de rotas aéreas para as grandes empresas aéreas, assim intituladas devido ao número de aeronaves na frota.

4.1 Malha Aérea

No decorrer do desenvolvimento da Aviação Comercial Brasileira, surgiu a necessidade da implementação de uma malha aérea segura e otimizada para contemplar as operações de voos das empresas aéreas.

“A estrutura do espaço aéreo, seu controle através de monitoramento por radares e comunicações aparenta estar sendo otimizado e ampliado para atender ao enorme fluxo de tráfego aéreo que pode ocorrer”. (CÔRREA, 2013).

Sendo assim, as empresas iniciaram o planejamento de malha, realizando as definições de rotas e destinos, normalmente designados através de locais com maior concentração econômica no país e alto potencial de turismo.

O planejamento de malha é uma área fundamental para empresas de transporte aéreo regular, estabelecendo os voos conforme a disponibilização operacional das

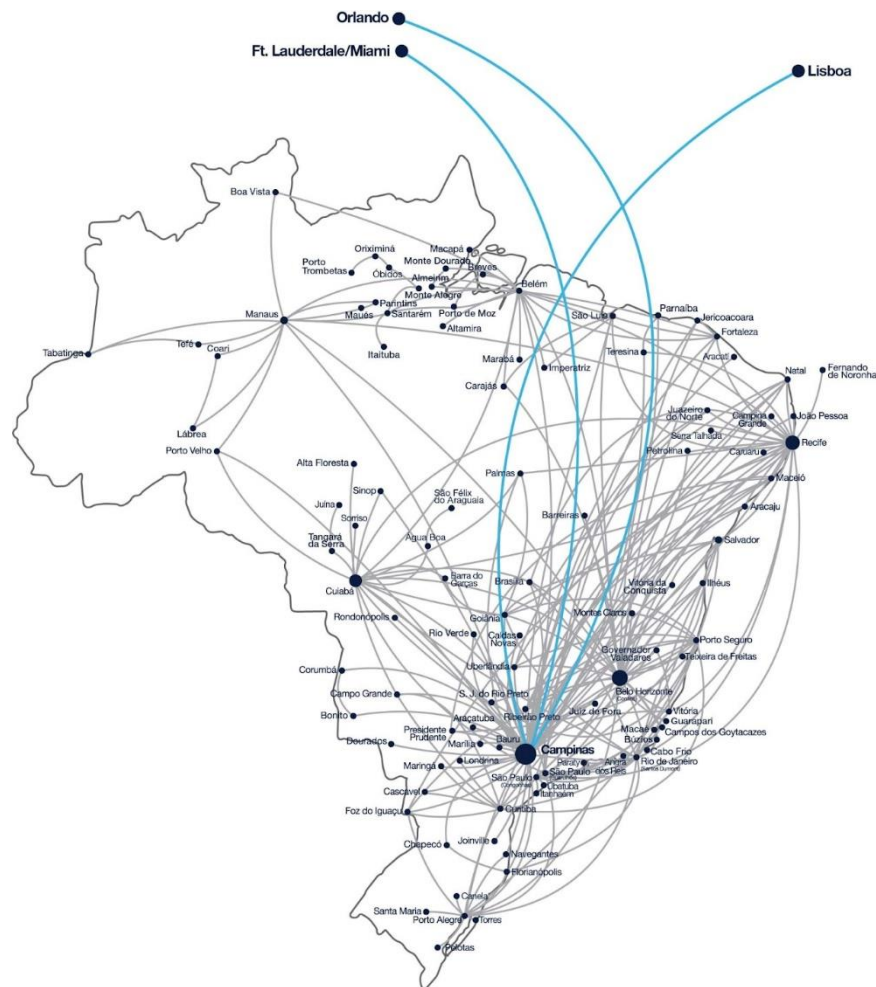
aeronaves e as jornadas de trabalho dos tripulantes. Na criação dos cenários de voos, são observadas as limitações dos aeroportos em que a empresa opera e o intervalo de tempo que a aeronave consegue ficar no solo antes e/ou após os voos.

O HUB de uma empresa é comumente estipulado pela demanda de passageiros, onde existe maior conectividade entre as bases do país, sendo responsável pelas saídas e chegadas dos principais voos da empresa. Por meio do HUB são elaboradas as rotas que uma aeronave irá efetuar, posicionando a mesma em certos locais para manutenção / inspeção durante o pernoite ou até mesmo em um “trânsito” de maior duração na base.

“Quando se projeta as rotas de uma empresa de transporte aéreo de linha regular sobre um mapa, fica visível a sua estrutura em rede, onde todos os pontos (aeroportos) são ligados pelo voo de seus aviões. Quando um atraso ocorre em um dos nós (aeroportos) da rede, ou quando um avião vai para um aeroporto de alternativa, toda a rede, ou sua maior parte, pode ser afetada”. (CÔRREA, 2013)

A Figura 6 a seguir, apresenta um exemplo de mapa de rotas aéreas.

Figura 6 - Mapa de Rotas da Azul Linhas Aéreas



Fonte: Azul, 2021.

Nesta análise podemos perceber que a implementação da Otimização de Rotas dentro da malha aérea de uma empresa traz inúmeros benefícios tanto no quesito lucro, quanto em operacionalidade. Para essa otimização de fato ocorrer, há o estudo do tráfego aéreo e das navegações que saem com rotas mais precisas e distâncias encurtadas, assim a aeronave pode navegar de forma alinhada até o destino.

“A Azul desenvolve um trabalho contínuo junto ao DECEA buscando a otimização das rotas e, assim, otimizar o trânsito de cargas e passageiros, economizando combustível e, consequentemente, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para uma melhor eficiência das nossas operações. Na primeira semana de cada mês, estudamos a malha do mês seguinte, identificamos as rotas e coletamos o histórico de cada uma, avaliando oportunidades de redução e redesenhando rotas que são, então, submetidas à avaliação do DECEA. A partir da aprovação, nossos planejamentos de voos seguintes passam a considerar as otimizações de rotas e espaços aéreos. [...] Em 2021 fomos responsáveis por quase 90% das requisições de otimização ao DECEA, o que traz um ganho de cerca de 16 toneladas CO₂ ao mês por rota e mais de 250 mil reais por mês”. (Azul, 2021)

A Azul Linhas Aéreas Brasileiras, companhia aérea nacional com uma frota de 159 aeronaves diversificadas, é uma das empresas que visa operações mais eficientes e maior controle de gastos.

De acordo com o John Rodgerson, CEO da Azul, em seu agradecimento no webnário “Aviação Sustentável” da ANAC, afirma que a empresa é 19% mais eficiente em 2022 do que em 2016. Ou seja, mesmo que o transporte de clientes da Azul tenha aumentado nesses 6 anos, as operações otimizadas resultaram na menor emissão de carbono.

Outro fator apontado pelo Relatório de Sustentabilidade da Azul de 2021, é que a otimização de 106 rotas da malha aérea contribuiu com a redução de 483.5 toneladas de Jet A-1 e a diminuição de 4,3% das distâncias planejadas. No quesito lucro, a empresa teve 108 milhões de reais adicionados em 2021, devido à otimização das navegações, além da melhora na eficiência de suas operações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos observar que com a evolução histórica dos meios de navegação aérea, acompanhando a crescente demanda por um serviço de transporte aéreo rápido e efetivo em um mundo globalizado, as rotas aéreas experimentaram constante otimização, e essa é a tendência para o futuro.

Nessa perspectiva, o PBN surge como um esforço da OACI de padronização das últimas tecnologias de navegação, tendo como base: precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade.

Dessa forma, foram destacados os principais benefícios gerais do PBN enquadrados em três áreas principais: financeira/operacional, segurança e sustentabilidade. Além disso, foi possível constatar todas as vantagens supracitadas por meio de um estudo de caso, com a criação de plano de voo de rotas hipotéticas do tipo convencionais e PBN, demonstrando numericamente a tese defendida.

Por fim, todos esses conceitos foram levados novamente a uma visão macro do tema, expondo a realidade da otimização de rotas e seus benefícios no cenário de uma das maiores companhias aéreas brasileiras.

Portanto, fica evidente que o PBN já é uma realidade no presente para as principais operações aéreas do Brasil e do mundo e será cada vez mais explorado no futuro. Logo, é fundamental que esse tema continue sendo amplamente discutido e difundido na aviação, de forma cada vez mais profunda, visto que os benefícios obtidos com sua implementação e desenvolvimento serão crescentes. Desse modo, sugere-se futuras pesquisas acerca dos desdobramentos deste tema.

REFERÊNCIAS

ACKERT, Shannon. **Engine Maintenance Concepts for Financiers - Elements of Turbofan Shop Maintenance Costs**. Aircraft Monitor. 2011. Disponível em: <http://www.aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/engine_mx_concepts_for_financiers_v2.pdf> Acesso em 02/10/2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Aprovação operacional de navegação baseada em desempenho (PBN)**. Instrução Suplementar - IS Nº 91-001, Revisão F. Brasília. 2017. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-91-001>> Acesso em 02/10/2022.

AIR TRAFFIC. B851-6 **European Environment Agency CORINAIR manual**. 2001. Disponível em: <<https://www.carbonindependent.org/files/B851vs2.4.pdf>
<<http://www.valentiniweb.com/piermo/meccanica/mat/Rolls%20Royce%20-%20The%20Jet%20Engine.pdf>> Acesso em 05/10/2022.

AVIATION IN FOCUS – JOURNAL OF AERONAUTICAL SCIENCES. **Os precedentes históricos da navegação aérea baseada em instrumentos: necessidade, surgimento e evolução**. 2015. Disponível em: <<https://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/aviation/article/view/21165>> Acesso em 21/10/2022.

AZUL LINHAS AÉREAS BRASILEIRAS. **Relatório de Sustentabilidade 2021**. São Paulo. 2021. Disponível em: <<https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/ed78542a-4e01-429a-8926-03d69ccfa307/eb4910c8-971c-75c8-3457-699ec28261eb?origin=2>> Acesso em 02/10/2022.

COLLINS AEROSPACE. **ARINC DIRECT**. Annapolis, EUA. 2022. Disponível em: <<https://direct.arinc.net/ADC/Login/Login>> Acesso em 27/09/2022.

CÔRREA, Francisco Luiz. **Planejamento do Transporte Aéreo (Livro didático da Unisul Virtual - Universidade do Sul de Santa Catarina)**. Palhoça. 2013. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/21940/1/fulltext.pdf>> Acesso em 21/09/2022.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Implementação Operacional do Conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN) no Espaço Aéreo Brasileiro**. Circular de Informação Aeronáutica AIC Nº 41/17. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <https://static.decea.mil.br/publicacoes/files/2018/dcebd1b9-6f0f-466d-9b1549d990ca83e2.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=pNf2JQbOhtSrsEzMW9aNRyAHfQzX2fnd%2F20221018%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221018T154908Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=900&X-Amz->

[Signature=c83145dcf741f399f8f446754a098d6eedb5136773aca113d37b73480192c7b0>](#)
Acesso em 02/10/2022.

EUROPEAN ORGANIZATION FOR THE SAFETY OF AIR NAVIGATION (EUROCONTROL). **European Airspace Concept Workshops for PBN Implementation**. Bruxelas, Bélgica. 2011. Disponível em:
<<https://www.eurocontrol.int/concept/performance-based-navigation>> Acesso em 23/10/2022.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **National airspace system capital investment plan FY 2013-2017**. Washington, Estados Unidos. 2011. Disponível em:
<https://www.faa.gov/air_traffic/publications/cip/files/FY13-17/FY13-17_CIP_Complete_March_2012.pdf> Acesso em 05/10/2022.

IBA INSIGHT. **Engine Status**. Leatherhead, Reino Unido. 2022. Disponível em:
<<https://www.myairtrade.com/resources/enginestatus>> Acesso em 08/10/2022.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Overview of the U.S. Performance-Based National Airspace System**. Quebec, Canada. 2005. Disponível em:
<<https://www.icao.int/SAM/Documents/2005/APATM10/WP22-apatm10.pdf>> Acesso em 15/10/2022.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Performance-based Navigation (PBN) Manual**. Doc 9613 AN/937, Third Edition. Quebec, Canada. 2008. Disponível em: <<https://www.icao.int/sam/documents/2009/samig3/pbn%20manual%20-%20doc%209613%20final%205%2010%2008%20with%20bookmarks1.pdf>> Acesso em 09/09/2022.

MONTEIRO, Raul Francé. **Aviação: Construindo a sua história**. Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 2002.

NABINGER, Luciano Baldino. **Medições de Ruído Aeronáutico dentro da Área II do Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre/RS**. Porto Alegre. 2005. Disponível em:
<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7962/000563187.pdf?sequence=>>> Acesso em 18/10/2022.

REVISTA BRASILEIRA DE AVIAÇÃO CIVIL & CIÊNCIAS AERONÁUTICAS (RBAC&CIA). **O Impacto da Implementação da Navegação Baseada em Performance para as Rotas mais voadas do Sul do Brasil**. Santa Catarina. 2021. Disponível em:
<<https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/25>> Acesso em 18/10/2022.

SCUSSEL, Marcelo. **Navegação Baseada em Performance: Vantagens Frente à Navegação Aérea Convencional**. Brasília. 2018. Disponível em:
<https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/33874/1/2018_MarceloScussel.pdf> Acesso em 07/10/2022.