

NAVEGAÇÃO E APROXIMAÇÃO ATRAVÉS DO *PERFORMANCE-BASED NAVIGATION* (PBN): UMA ANÁLISE DOS REFLEXOS DA MODERNIZAÇÃO DO T-27M NA FORMAÇÃO DOS CADETES AVIADORES DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA¹

NAVIGATION AND APPROACH THROUGH PERFORMANCE-BASED NAVIGATION (PBN): AN ANALYSIS OF THE EFFECTS OF THE MODERNIZATION OF THE T-27M ON THE TRAINING OF CADET AVIATORS OF THE BRAZILIAN AIR FORCE

Murillo Arfeli Ferreira²
Rafael Campos de Castro Barreto³
Douglas Henrique Queiroz de Carvalho⁴

RESUMO

Devido à constante evolução tecnológica no meio aéreo, tornou-se necessário para o Comando da Aeronáutica acompanhar as mudanças ocorridas, a fim de cumprir a missão da Força Aérea Brasileira (FAB) de defender e integrar o território nacional. Assim, no ano de 2018, a FAB, iniciou os processos para a modernização e atualização das aeronaves T-27 Tucano empregadas na Academia da Força Aérea para a formação dos Cadetes em seu quarto e último ano de ensino. Entre as modificações inseridas nas instruções do 1º Esquadrão de Instrução Aérea, destaca-se o conceito de *Performance-Based Navigation* (traduzido para o português, como Navegação Baseada em Performance), cujas especificações compreendem o RNAV (Navegação de Área) e RNP (Performance de Navegação Requerida). Essas especificações substituirão gradativamente antigas técnicas de navegação convencionais, baseadas em auxílios instalados no solo. Dentro desse contexto, o presente projeto de pesquisa tem como objetivo principal relacionar a implementação da RNP com a formação dos Cadetes Aviadores e analisar suas implicações para a instrução do 1º Esquadrão de Instrução Aérea.

Palavras-chave: RNP; T-27M; Modernização; Instrução Aérea.

¹ Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA).

² Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Árion, 2024).

³ Cap Aviador Bacharelado em administração, com ênfase em administração pública. Bacharelado em ciências aeronáuticas, com habilitação em aviação militar; e pós-graduação Lato sensu em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER. Academia da Força Aérea. E-mail: barretorcbb@fab.mil.br

⁴ 2º Ten QOCon Magistério de Mecânica Geral. Mestre em Física e Química de materiais. Academia da Força Aérea. E-mail: carvalhodhqc@fab.mil.br

ABSTRACT

Due to the constant technological evolution in the air environment, it has become necessary for the Air Force Command to keep up with the changes that have taken place, in order to fulfill the mission of the Brazilian Air Force (FAB) to defend and integrate the national territory. Thus, in 2018, the FAB began the process of modernizing and updating the T-27 Tucano aircraft used at the Air Force Academy to train cadets in their fourth and final year of training. Among the changes made to the 1st Air Training Squadron's instructions is the concept of Performance-Based Navigation, whose specifications include RNAV (Area Navigation) and RNP (Required Navigation Performance). These specifications will gradually replace old conventional navigation techniques based on ground-based aids. Within this context, the main objective of this research project is to relate the implementation of RNP to the training of Cadet Aviators and to analyze its implications for the instruction of the 1st Air Instruction Squadron.

Keywords: RNP. T-27. Modernization. Aerial Instruction.

INTRODUÇÃO

A Academia da Força Aérea (AFA) é uma instituição de ensino superior militar da FAB cujo propósito é formar Oficiais de Carreira da Aeronáutica pertencentes aos Quadros de Oficiais Aviadores (CFOAV), Intendentes (CFOINT) e de Infantaria da Aeronáutica (CFOINF) buscando desenvolver nos Cadetes atributos militares, intelectuais e profissionais, bem como padrões éticos, morais, cívicos e sociais. Dessa forma, ao concluir esse processo de formação, a AFA visa obter Oficiais capazes de assumir funções de liderança em uma Força Aérea moderna (AFA, 2022). Dentro da formação, aulas teóricas e práticas voltadas para cada um dos cursos são ministradas no decorrer de 4 anos, compondo assim a grade curricular de cada quadro.

No quadro da Aviação, os Cadetes Aviadores possuem instruções voltadas para a aptidão militar em relação ao voo, tendo instruções aéreas ao longo do 2º e 4º ano de formação. Os Cadetes passam pelo 2º e 1º Esquadrão de Instrução Aérea (EIA) respectivamente, realizando no último ano o estágio básico da aeronave T-27M.

A Academia da Força Aérea teve seu primeiro T-27 entregue no ano de 1983, utilizando de sua frota de aeronaves para a formação dos Cadetes desde o ano de 1985. Durante esses quase 40 anos de operação, percebeu-se a constante evolução e mudanças dos padrões e métodos aeronáuticos no mundo e no Brasil. Dentro dessas mudanças, encontra-se a criação de novos

métodos de navegação que utilizam como base, principalmente, dados e informações disponibilizadas por satélites, como o RNP (Performance de Navegação Requerida).

O Comando da Aeronáutica estabeleceu, através da Concepção Estratégica Força Aérea 100, uma série de objetivos a serem alcançados ao completar 100 anos de sua criação (1941-2041). Entre esses objetivos, há a aquisição de novos vetores aéreos e modernização dos atuais, incluindo o T-27, que obteve uma atualização em relação a sua aviônica, entregue no final de 2021, possibilitando acompanhar as evoluções aeronáuticas mundiais. De acordo com o ex-Comandante da AFA, Brigadeiro do Ar Marcelo Gobbet Cardoso:

Com o objetivo de bem atender às demandas de uma Força Aérea focada nos projetos estratégicos voltados para controlar, defender e integrar 22 milhões de km², a AFA mantém-se em constante atualização. Novas práticas de ensino, reformulação do sistema de treinamento simulado de voo, modernização da aeronave T-27 Tucano, investimento em adequação das suas instalações e oferecimento de cursos operacionais ainda durante a formação dos nossos Cadetes são apenas alguns exemplos de ações que garantirão a nossa perenidade e o aprimoramento da formação do Oficial que entregaremos para a FAB ao final dos cursos (AFA, 2021).

O estágio básico no T-27 é constituído pelas fases de pré solo (PS), voo por instrumentos (VI), manobras e acrobacias (MAC), voo noturno (NT), voo em formatura com 02 (dois) aviões (FR2), navegação visual (NAV VFR) e navegação por instrumentos (NAV IFR) (Brasil, 2024). As principais fases que obtiveram alterações por conta da modernização do T-27 foram as de VI e NAV, devido à possibilidade da realização de procedimentos que utilizam satélites, como a aproximação RNP.

O método de navegação RNP possui uma ampla gama de sistemas disponíveis para sua utilização, no entanto, os cálculos de navegação são baseados no método mais preciso presente no momento. O voo utilizando o RNP oferece uma consciência ativa e em tempo real da situação do voo por meio de uma tela, além de contar com um extenso banco de dados contendo informações sobre rotas, pontos de navegação (waypoints) e procedimentos, permitindo que a verificação da navegação seja realizada pelo sistema presente na aeronave (OACI, 2008).

Nesse contexto, este artigo aborda o seguinte questionamento: **em que sentido a implementação da RNP, pela modernização do T-27, influencia na formação dos Cadetes no 1ºEIA?** Tal questionamento será respondido através da análise e comparação do novo método disponível e os métodos antigos, bem como as mudanças inseridas nas instruções, visando assim, identificar se de fato a modernização tem relevância para a formação dos Cadetes Aviadores.

Além disso, o referente artigo buscará atingir os objetivos específicos de analisar dados estatísticos sobre o desempenho das últimas 3 turmas de Cadetes Aviadores formados, na fase de navegação por instrumento, dentre estes, a turma de 2021 que realizou o curso no T-27 e as turmas de 2022 e 2023 que realizaram o curso no T-27M.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 NECESSIDADE DA MODERNIZAÇÃO

No âmbito do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAV), a formação é concebida em três esferas: Administração Pública, Instrução Militar e Doutrina, e Ciências Aeronáuticas. Este último é estruturado em "Instrução de Voo Teórica [...], Aprontos [...] e Atividade Aérea [...]" (Brasil, 2019, p.10)

Nesse contexto, é fundamental que os métodos empregados no desenvolvimento da atividade aérea estejam constantemente atualizados, proporcionando aos Cadetes meios de aprendizado modernos. A utilização de instrumentos de voo desatualizados, bem como sistemas de comunicação e navegação obsoletos, comprometem a formação do Cadete, a performance da operação e, ainda, a segurança de voo em condições meteorológicas adversas (Brasil, 2018). Além disso, tais auxílios, por limitações físicas do terreno ou da infraestrutura na superfície terrestre, nem sempre podem ser instalados na menor distância entre pontos considerados (PAMPLONA, 2014).

Para garantir que essas necessidades fossem atendidas, a modernização do T-27 foi tida como primordial, e os sistemas de comunicação e navegação como prioridade, segundo a DIRMAB (2018). Os sistemas de navegação do T-27 receberam a introdução de mecanismos que utilizam de monitoramento por satélites, incluindo-se assim o conceito de RNP na formação aérea do Cadete.

1.2 REVISÃO LITERÁRIA

Destaca Monteiro (2002) que, com o término da Primeira Guerra Mundial, a aviação comercial tem como marco o início de suas atividades no ano de 1919, com serviços de transporte aéreo postal na Alemanha. Para que fosse possível tais navegações, foi necessário a implementação de “auxílios” que permitia aos pilotos se localizarem e orientarem.

Assim, os primeiros auxílios à navegação remontam à década de 1920, eram instalados no solo e constituídos de faróis balizadores (semelhantes aos encontrados em regiões costeiras e que orientam embarcações) com a finalidade de marcar as rotas do correio aéreo nacional. Tais balizadores auxiliavam durante voos noturnos, porém, sob condições meteorológicas adversas não era possível realizar os voos.

Dessa forma, através de estudos visando o aperfeiçoamento da navegação aérea, percebeu-se a necessidade do aperfeiçoamento de alguns instrumentos para a realização de um voo orientado sem referências externas à cabine de pilotagem.

Três instrumentos cruciais foram destacados para a realização de voos orientados sem referências externas, permitindo que o piloto se localizasse ao longo da rota. O primeiro é o altímetro, que indica a diferença vertical da aeronave em relação ao nível do mar. O segundo é o horizonte artificial, que utiliza giroscópios para fornecer uma representação do horizonte natural, ajudando na orientação da atitude de voo, especialmente em condições de visibilidade reduzida. O terceiro instrumento é o rádio-farol, introduzido em 1929 nos Estados Unidos, que utiliza ondas de rádio para navegação aérea, permitindo que as aeronaves sigam rotas sem depender de referências visuais no solo. Esses avanços foram fundamentais para voos precisos e seguros, independentemente das condições meteorológicas ou visuais.

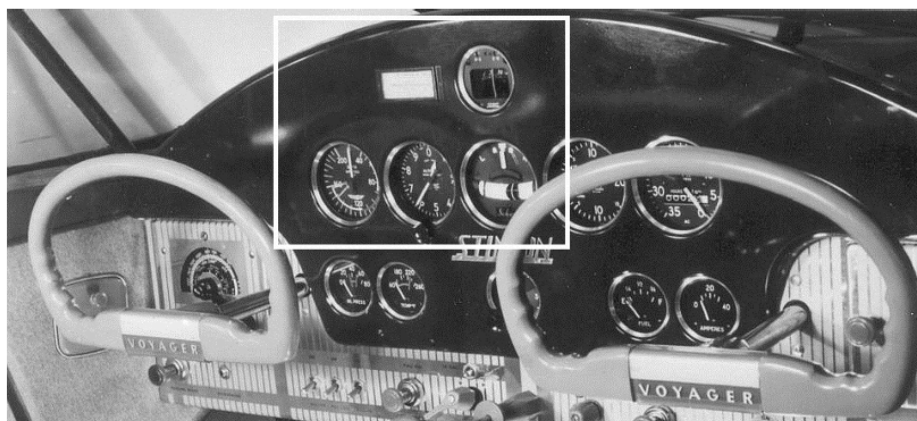


Figura 1 Painel de instrumentos década de 1930/40

Fonte: www.stinsonflyer.com

Na década de 1930, os rádio-faróis eram rudimentares, transmitindo impulsos sonoros em código Morse. Estas estações permitiam que as aeronaves navegassem em apenas quatro cursos a partir da estação, não possibilitando uma navegação completa de 360°.

A fim de melhorar o sistema de rádios-faróis, foi desenvolvido o Rádio Compasso ou RDF (*Radio Directional Finder*) que era capaz de fornecer indicações da posição e direção recebidos de um Rádio-Farol.

Até o final da Segunda Guerra Mundial, os avanços nos sistemas de navegação aérea eram limitados, especialmente em situações de baixa visibilidade e nuvens densas durante aproximações e decolagens. O progresso mais significativo ocorreu com o aprimoramento do rádio-farol de quatro cursos (A/N Radio Range) para o NDB (rádio-farol não direcional), proporcionando uma orientação mais precisa.

Durante a guerra, sistemas de navegação baseados em ondas de rádio VHF foram desenvolvidos, reduzindo problemas de transmissão e interferências atmosféricas. Essa nova faixa de espectro permitiu a navegação em cursos magnéticos pré-determinados em um ângulo completo de 360°. Helfrick (2002) destaca que a partir desse período, os auxílios de rádio padrão em aerovias passaram a ser os VOR, embora o NDB não tenha sido abandonado.

Diante da crescente demanda de voos, especialmente os comerciais, a infraestrutura de navegação aérea e o uso do espaço aéreo mostravam-se desatualizados e ineficientes. Em 1983, a ICAO estabeleceu o Comitê FANS para discutir o futuro dos sistemas de navegação aérea. Por meio desse comitê, foram introduzidos novos conceitos, um deles conhecido como CNS/ATM (Comunicação-Navegação-Vigilância vinculados ao Gerenciamento de Tráfego Aéreo). Esse conceito visava aprimorar a comunicação, navegação, vigilância e o gerenciamento de tráfego aéreo.

Nesse contexto, há aproximadamente 50 anos, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos criou a tecnologia do Sistema de Posicionamento Global (GPS) para ser utilizada em aeronaves militares, sendo posteriormente adaptada para a navegação de aeronaves civis. Esse desenvolvimento possibilitou a implementação da navegação aérea global por meio de satélites, resultando no Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS).

Os procedimentos de voo, tanto em rota quanto nas fases de chegada, aproximação e saída, migraram de auxílios baseados em solo para sistemas baseados em Sistemas de Satélites de Navegação Global (GNSS), marcando uma mudança para a Navegação Baseada em Performance (PBN).

Para utilizar os novos instrumentos citados anteriormente, faz-se necessário o bom funcionamento de modernos sistemas satelitais, como o Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS). Este sistema permite a determinação precisa da posição no tempo e no espaço, utilizando

satélites, receptores instalados nas aeronaves e sistemas de monitoramento de integridade de sinais (OACI, 2017).

O GNSS também é fundamental para o conceito inovador de Navegação Baseada em Performance (PBN) (Siqueira, 2005). Comparado às navegações convencionais, que dependem de auxílios rádio em solo, o PBN introduz uma nova forma de orientação de voo por instrumentos, utilizando a navegação baseada em satélites, permitindo que as aeronaves sigam rotas mais curtas, realizem operações mais rápidas, econômicas e com menor impacto ambiental, através do uso de trajetórias diretas (Scussel, 2018).

Além disso, a PBN se beneficia dos avanços tecnológicos nos sistemas de navegação aérea embarcados, nos sistemas de controle de voo e na automação das aeronaves (OACI, 2008). Segundo Bianchini (2014), o conceito PBN não é um modo de navegação em si, mas uma maneira de determinar os meios indispensáveis para realizar as navegações através de tecnologias RNAV/RNP.

O RNP está muito alinhado com o conceito de RNAV (Navegação de Área), que segundo a Organização da Aviação Civil Internacional, pode ser definido como “Um método de navegação que permite a operação de aeronaves em qualquer trajetória de voo desejada dentro da cobertura de auxílios à navegação, ou dentro dos limites das possibilidades dos equipamentos autônomos de navegação, ou de uma combinação de ambos” (OACI, 2008, p. I-A1-1).

Tanto o método de navegação RNAV quanto o RNP, que são elementos do conceito de navegação baseada em performance, apresentam diferentes categorias. Cada procedimento, seja RNAV ou RNP, é identificado por um número após sua abreviação. Por exemplo, o procedimento RNAV 1 indica que a aeronave tem uma tolerância lateral máxima de 1 milha náutica para cada lado em relação à rota ou à fase de voo desejada.

O RNP se difere do RNAV, pois no caso do RNP há um sistema de monitoramento e alerta para detectar se a aeronave se desloca para fora da rota prevista, além de permitir procedimentos entre pontos de referência com trajetórias curvas. De acordo com Bianchini, “A função de alerta e performance a bordo é o elemento principal que determina se o sistema de navegação cumpre com o nível de segurança associado ao RNP” (Bianchini, 2014, p. 175)

Com esse sistema de monitoramento e alerta ao piloto, é possível aumentar a consciência situacional quanto à posição da aeronave, reduzindo a demanda por supervisão e intervenção por parte dos órgãos de controle de tráfego aéreo, além de diminuir a distância de separação necessária dos obstáculos.

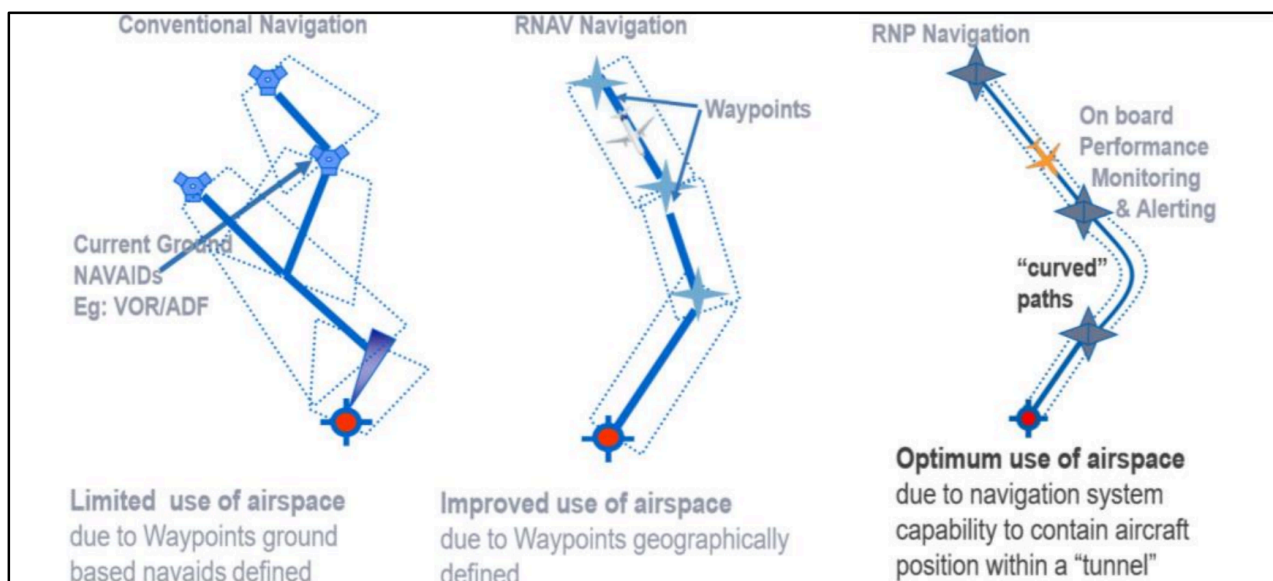


Figura 2 Comparação do Sistema Convencional, RNAV e RNP

Fonte: Airbus (2015, p. 18)

Além da questão referente à formação dos Cadetes, a modernização também trouxe mecanismos que possibilitam a economia de combustível por meio de trajetórias simplificadas. Segundo Pamplona, Fortes e Alves (2015), ao analisarem os procedimentos de pouso em diversas rotas Galeão-Guarulhos, constataram que a economia de combustível estava relacionada ao perfil do procedimento e às características da aeronave. Economias da ordem de 30% puderam ser verificadas em procedimentos de aproximação com trajetórias diretas.

Outro fator muito relevante proporcionado pela introdução do conceito PBN nos voos do 1º EIA é o “aumento da segurança do espaço aéreo, por meio de procedimentos com descida contínua e estabilizada, com guia vertical, possibilitando uma redução significativa dos eventos de colisão com o solo.” (Braga, 2017).

Dessa forma, o presente artigo busca aprofundar os estudos na relação da presença do método RNP na formação dos Cadetes, e como ele pode modificar diversos aspectos na instrução aérea, além de desenvolver novas competências no Cadete Aviador em formação, necessárias ao piloto militar contemporâneo.

1.3 ANÁLISE DA MODERNIZAÇÃO

Após a modernização, a cabine original teve uma mudança significativa, passando de uma cabine analógica, equipada com instrumentos e dispositivos mecânicos que indicavam altitude, velocidade, pressão e temperatura para uma versão quase totalmente digital, com equipamentos da empresa Garmin, resultando na substituição de muitos desses instrumentos analógicos por telas digitais multifuncionais, permitindo a exibição simultânea de várias informações, como mapas, dados e alertas de voo.

A empresa Garmin tem uma vasta gama de opções de equipamentos de geoposicionamento aéreo, porém, o T-27M da AFA foi composto por três elementos primordiais: o GDU 1060 (tela central), GTN-650Xi e GI-275. Adicionalmente, foram instalados instrumentos de reserva para o motor e rádio, servindo como backup em caso de falha dos principais displays.

A tela central (GDU 1060) é dividida em *Primary Flights Display* (PFD), amplamente utilizado pelos pilotos, que apresenta informações essenciais para o voo, como velocidade, altitude, inclinação, proa e *Multi-function Display* (MFD), que oferece uma ampla gama de instrumentos e recursos suplementares, incluindo mapas eletrônicos, informações de tráfego aéreo e terreno, radar meteorológico, sistema de navegação via satélite (GPS), indicador de fluxo de combustível, diagnóstico de falhas, entre outros.

Para um melhor gerenciamento das tarefas, existe o GTN-650Xi, que é um sistema multifuncional de GPS/NAV/COMM com atributos como planejamento de voo gráfico, mapeamento do terreno, monitoramento de tráfego aéreo, mapas detalhados e informações meteorológicas via satélite, além de integração com os meios de navegação e rádios de comunicação da aeronave.

Já o *Multi-function Instrument* (MFI) GI-275 é um dispositivo digital de suporte usado em caso de falha dos outros equipamentos, fornecendo as informações necessárias para um pouso seguro em situações de falta de energia elétrica. Ele possui uma bateria interna que garante pelo menos 60 minutos de operação contínua em caso de falha elétrica total da aeronave e apresenta funções semelhantes ao PFD, exibindo informações básicas de voo provenientes de sensores internos.

A modernização do painel de controle do T-27 Tucano para uma configuração digital contribui para a precisão do voo, eficiência e segurança. Além disso, o *layout* das telas pode ser personalizado de acordo com as preferências do piloto, proporcionando uma maior ajuste às

condições de voo, nas mais diversas fases do voo. O Esquadrão de Instrução Aérea busca manter essa adaptação de acordo com a fase de treinamento do Cadete Aviador, preparando-o para o uso futuro da tecnologia após sua formação.



Figura 3 Antigo painel do T-27 Tucano

Fonte: Imagem retirada da aula do Estágio Preparatório para Instrução Básica aos Cadetes do terceiro ano da Afa (2023).



Figura 4 Novo painel do T-27M Tucano

Fonte: Imagem retirada da aula do Estágio Preparatório para Instrução Básica aos Cadetes do terceiro ano da Afa (2023).

Mais de 15 instrumentos analógicos foram substituídos por telas digitais, visando melhorar o desempenho dos Cadetes durante os voos. O design interno da aeronave passou por alterações substanciais para acomodar essas mudanças.

Vale ressaltar que os manuais Garmin são recursos disponíveis para todas as áreas da aviação, civil e militar, fornecendo detalhes sobre o funcionamento do sistema. Esses manuais incluem um índice que estrutura o guia em seções, detalhando cada operação do sistema.



Figura 5 Comparativo painel de instrumentos T-27M e T-27

Fonte: Cotta (2023, p. 27)



Figura 6 Comparativo painel de rádio e navegação T-27M e T-27

Fonte: Cotta (2023, p. 27)

Um Programa de Capacitação Gradual nos Recursos Aviônicos da Aeronave T-27M foi concebido para os alunos do 1º EIA, com o intuito de ensinar conceitos essenciais de voo visual, desenvolver habilidades psicomotoras básicas e promover o raciocínio espacial. Este programa é dividido em módulos, onde cada fase de voo proporciona novas habilidades ao aluno, que deve seguir um layout de telas pré-definidas ou sugeridas.

Por exemplo, na fase de Pré-solo, o foco do aluno está no voo visual, técnicas de orientação, coordenação de tráfego e execução de exercícios. Durante essa fase, o aluno opera o PFD no GDU, que exibe informações básicas de voo, e o *Default Nav* no GTN, utilizado para extrair informações de orientação GPS e operar rádios e transponder. É proibido o uso do SVT (visão sintética) em todas as fases, exceto na navegação, visando evitar a dependência do aluno nos instrumentos durante o voo visual e promover a adaptação ao voo por instrumentos.

A Aproximação pelo método RNP no sistema GARMIN integrado no T-27M muito facilita aos pilotos realizarem tal procedimento de chegada em diversos aeródromos, visto que, a alta tecnologia presente oferece uma visualização simplificada das próximas ações necessárias, cabendo ao piloto, basicamente seguir o que o computador de bordo está orientando.

Na imagem seguinte, é possível verificar que toda a trajetória do procedimento de aproximação em SBYS já está visível no mapa, plotando os próximos pontos, qual direção deve seguir, quando e em quanto tempo irá curvar, entre outros, permitindo uma melhor consciência situacional ao piloto.



Figura 7 Procedimento de Aproximação RNP em SBYS

Fonte: Autor

Vale ressaltar que, para a melhor utilização de tais recursos é de suma importância o preparo e estudo prévio. Por exemplo, na figura anterior, se o piloto não souber a correta maneira de

carregar o procedimento no GTN-650Xi, ou de quais informações ele deve seguir após carregado, de nada adiantará todos esses recursos disponíveis.

Portanto, é possível verificar quão relevante é o Programa de Capacitação Gradual nos Recursos Aviônicos citado anteriormente, pois permite um melhor aproveitamento por parte dos Cadetes.

2 MÉTODOS DE ANÁLISE

Em termos metodológicos, foi realizada uma pesquisa *quali-quantitativa*, que segundo Denzin e Lincoln (2006), envolve tanto uma abordagem interpretativa do mundo quanto a ênfase aos dados visíveis e concretos. Com a finalidade de identificar as principais características e aspectos do RNP e comparar com os métodos convencionais de navegação utilizados anteriormente, foi feita consulta bibliográfica em artigos, livros e documentos sobre aviação e procedimentos de navegação aérea em geral e aviação militar em particular.

Além disso, foi empregado o método comparativo para avaliar o desempenho dos Cadetes em formação no ano de 2021 em relação aos anos de 2022 e 2023. Segundo Lakatos e Marconi (2003), o método comparativo permite verificar similitudes e explicar divergências entre os grupos analisados, observando as semelhanças e diferenças na amostra.

Outrossim, a fim de compreender como o método RNP foi implementado na instrução dos Cadetes no 1ºEIA e como esse método pode influenciar na formação do Cadete Aviador, foram analisados, fundamentalmente, o Programa de Manutenção Operacional (PIMO), o Manual de Procedimentos (MAPRO) e documentos oficiais da Força Aérea Brasileira.

Além disso, a pesquisa desenvolvida neste trabalho adotará a abordagem bibliográfica, que conforme Alyrio (2008) diz, tem como base a investigação de material teórico acerca do assunto de interesse, por meio da identificação, localização e fichamento das ideias mais importantes do assunto abordado.

Artigos científicos anteriores desempenharam um papel crucial ao proporcionar a compreensão e aquisição de dados sobre as transformações na aeronave T-27 Tucano, contribuindo significativamente para a análise qualitativa do impacto futuro dessa modernização nos Cadetes Aviadores do 4º Esquadrão.

A partir da revisão crítica da literatura especializada e da análise dos dados estatísticos, foram apresentadas as principais características e funcionalidades do RNP, destacando suas implicações na formação dos Cadetes Aviadores e comparando-os com os métodos convencionais de navegação utilizados anteriormente, bem como, foi possível a compreensão da diferença no desempenho dos Cadetes.

3 APRESENTAÇÃO DE DADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES

A partir da exposição sobre o uso dessa nova tecnologia na instrução dos Cadetes e os conceitos de Navegação baseada em Performance (PBN), é válido analisar a aplicação desses fatores no voo de instrução do 1º EIA, com vistas a entregar para a Força Aérea pilotos aptos e capazes de conduzir modernas aeronaves.

3.1 ANÁLISE QUANTITATIVA

Para melhor entendimento acerca de como o rendimento do Cadete, como instruendo, é aferido, tem-se os conceitos de nível de aprendizado e grau para uma ficha de voo.

Cada fase de instrução é dividida em missões de voo e, nesses eventos, é esperado um nível de aprendizado que evolui progressivamente. Esses níveis de aprendizado, segundo o PIMO, são divididos em:

- Nível PR (Pronta Resposta): os exercícios são exemplificados totalmente pelo instrutor;
- Nível RO (Resposta Orientada): os exercícios possibilitam assistência verbal e mecânica do instrutor;
- Nível RM (Resposta Mecânica): permitem somente interferência verbal do instrutor; e
- Nível RC (Resposta Complexa): o aluno deve estar apto a realizar o exercício sem interferência alguma do instrutor.

Os graus atribuídos nas fichas de voo são aferições globais e subjetivas. Conseqüentemente ao desempenho do instruendo na missão, e de acordo com o nível esperado para cada uma delas, atribui-se um grau de 1 a 6, conforme descrição abaixo:

- Grau 1: voo perigoso. É atribuído quando há transgressão das normas da atividade aérea sem justificativa ou quando um acidente iminente é evitado pelo instrutor, considerando o nível de aprendizado esperado do aluno;

- Grau 2: voo deficiente. Para níveis de aprendizado iniciais (RO), ocorre quando o desempenho do aluno não atinge o esperado, mesmo após instruções e práticas repetidas. Já para missões com níveis mais avançados (RM e RC), ocorre quando o instrutor interfere além do que se espera;
- Grau 3: voo satisfatório nos mínimos. Requer repetições e práticas em grande escala para alcançar os níveis adequados de progresso exigidos;
- Grau 4: voo satisfatório. Designado quando o aluno, apesar de alguns erros, consegue superar obstáculos e demonstrar melhora em seu rendimento;
- Grau 5: voo bom. O aluno comete erros menores e alcança o nível de progresso exigido com pouca prática adicional; e
- Grau 6: voo excelente. O aluno demonstra um desempenho excepcional, dominando a aeronave com facilidade e avançando em seu progresso sem necessidade de práticas adicionais.

Vale ressaltar que o grau 1, quando obtido, leva à reprovação imediata do aluno no curso. Por conta disso, e para fins de análise, o grau 1 será excluído das métricas que se seguem. O grau 2, voo deficiente, exige repetição da missão a fim de que haja uma revisão nos erros cometidos e que a dificuldade apresentada seja sanada. Os graus 3, 4, 5 e 6, por suas vezes, permitem o avanço de uma missão para outra dentro da fase de voo no qual se encontra e diferenciam-se de acordo com o rendimento apresentado pelo Cadete.

Após a explanação acerca dos níveis de aprendizados e dos graus designados para os Cadetes em cada missão, é possível avaliar a diferença no desempenho do aluno antes e depois da inserção dos conhecimentos de PBN. Para isso, foi solicitado formalmente à Divisão de Operações Aéreas (DOA) da AFA que disponibilizasse os graus dos Cadetes na fase de navegação no período de 2021 a 2023. Neste período, no ano de 2021, o T-27 foi usado para as instruções no 1ºEIA e, nos anos de 2022 e 2023, o T-27M foi utilizado.

Foi confeccionado então uma tabela com a quantidade de graus 2, 3, 4, 5 e 6 nas fichas, durante o período mencionado, para a fase de navegação por instrumento, ilustrada abaixo:

Tabela 1 Quantidade de ocorrências de graus por ano

| GRAUS | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2021 | 3 | 20 | 99 | 295 | 8 |
| 2022 | 1 | 7 | 88 | 539 | 37 |
| 2023 | 2 | 15 | 84 | 272 | 7 |

Fonte: Elaboração própria.

Como foram formados 86, 106 e 91 pilotos nos anos de 2021, 2022 e 2023, respectivamente, e cada um recebeu, em média, 70 fichas de voo correspondentes a 6 missões na fase de navegação, foi adotado o método de média aritmética para que a análise possa ser mais clara e panorâmica.

Assim, em uma análise comparativa, foi possível observar que:

- Média aritmética do ano de 2021: 4,67
- Média aritmética do ano de 2022: 4,90
- Média aritmética do ano de 2023: 4,70

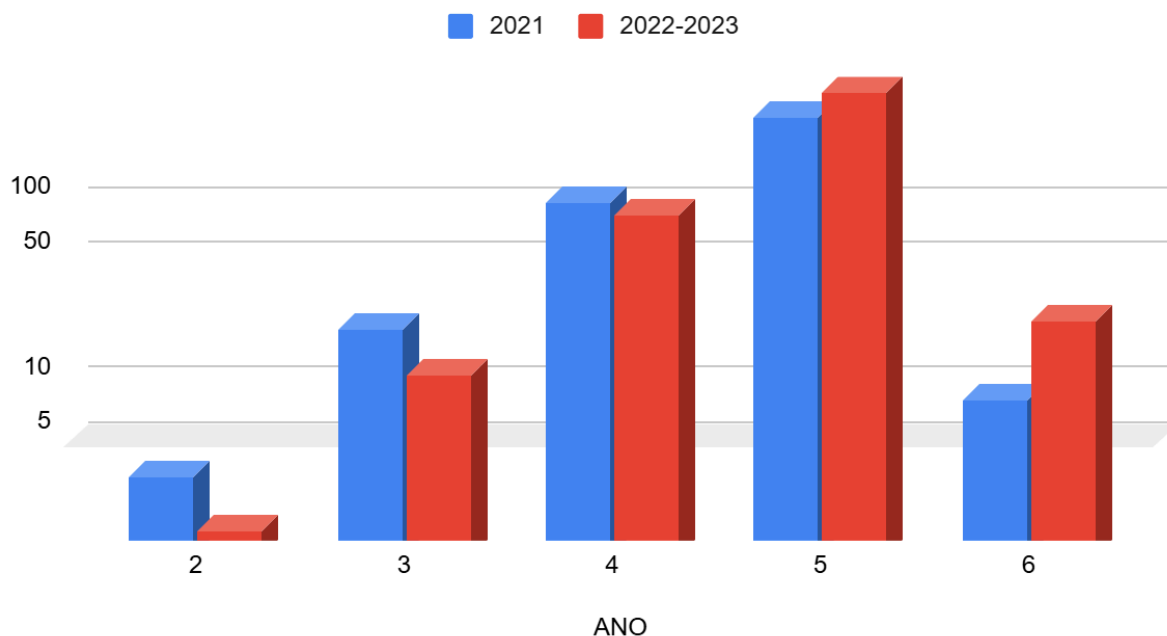
Nota-se que houve uma pequena melhora no rendimento nos graus de voo da turma formada em 2021 (T-27) para as turmas de 2022 e 2023 (T-27M). Pode-se dizer, ainda, que a facilidade de aprendizado melhorou para os Cadetes em posição de instruendos.

Por outro lado, é perceptível que, apesar de no primeiro ano com a aeronave modernizada (2022) os graus ascenderem consideravelmente, no ano seguinte (2023) esse rendimento não se manteve. Tal indicativo pode ter ocorrido devido a fatores como: uma atenuação no grau de exigência dentro dos mínimos permitidos, devido ao período de adaptação às novas tecnologias implementadas; um aumento dos níveis de exigência aos instruendos, proporcionais às novas possibilidades de otimização ao cumprimento das instruções; e ainda, uma diminuição metacognitiva por parte dos instruendos no ano de 2023 em função da facilidade no uso da tecnologia.

Nesta toada, usando os dados presentes na tabela 1, foi possível elaborar um gráfico que assevera a evolução de graus recebidos nas fichas de voo em cada ano. Demonstrando, por conseguinte, a evolução no desempenho dos alunos na fase de navegação.

Gráfico 1: Quantidade de graus por ano

2021 e 2022-2023



Fonte: Elaboração própria.

Como fica evidente ao observar o gráfico acima, as turmas de 2022 e 2023 tiveram uma diminuição em 50% na ocorrência do grau 2, o qual aponta uma deficiência no aprendizado, e um aumento de 37,5% no grau 6, indicando maior eficiência na instrução de navegação e consequentemente, no aprendizado também.

Tal análise quantitativa foi uma iniciativa de dar complemento à pesquisa realizada pelo Ten Cel Av Saciloto no ano de 2023. Parte do seu trabalho contemplou a análise dos graus dos Cadetes na fase de navegação por instrumento nos anos de 2021 e 2022. Dessa forma, o atual trabalho, por sua vez, buscou expandir a amostra com dados mais atualizados.

3.2 ANÁLISE QUALITATIVA

O estudo realizado pelo Ten Cel Av Saciloto em 2023, sobre a “A INFLUÊNCIA DA MODERNIZAÇÃO DO T-27 NA CAPACIDADE DE NAVEGAÇÃO DOS FUTUROS PILOTOS MILITARES: UMA ANÁLISE SOB A ÓPTICA ESTRATÉGICA”, relacionou diversos fatores que a modernização trouxe para a instrução do 1º EIA, dentre estes fatores, o autor fez uma pesquisa

com os instrutores de voo dos Cadetes do 4º ano, visando aferir a opinião destes sobre a modernização.

Na referida pesquisa, um dos questionamentos feito aos instrutores foi: “Com base na sua experiência como instrutor de voo, o treinamento das missões de navegação após a modernização do T-27 está adequado?”. Como resposta, foi obtido mais de 90% dos instrutores concordando totalmente ou parcialmente.

Além disso, todo ano, os Comandantes responsáveis pela instrução aérea de Natal-RN (destino dos Cadetes Aviadores formados após seleção das aviações) reúnem-se com os Comandantes responsáveis pela instrução do 1º EIA para discutir sobre aspectos que melhoraram ou pioraram em relação à performance dos pilotos.

Na última reunião, que ocorreu entre os dias 21 e 24 de Maio de 2023 (referente a primeira turma que teve seu 1ºEIA com o T-27M), dentro de vários assuntos abordados, somente em um pequeno momento foi comentado sobre a nova capacidade do T-27M de realizar RNP. O oficial no cargo de Operações do Esquadrão Joker na época comentou que a realização do RNP não incrementa capacidades para o piloto de caça, visto que nenhuma aeronave (A-29, F-5) voa RNP atualmente. Os oficiais da AFA o informaram que seria dado enfoque em 2024 na realização de VOR nas navegações rádio para mitigar dificuldades dos Aspirantes.

Em resposta à tal situação, o 1º EIA fez uma alteração no Programa de Instrução e Manutenção Operacional da AFA em relação a fase de navegação, ficando definido que a escolha dos procedimentos realizados nas localidades da rota deverá seguir a seguinte ordem de prioridade: (1) PAR, (2) ILS Convencional, (3) VOR, (4) ILS com Segmento inicial RNP/RNAV e (5) RNP. (Brasil, 2024).

Tal fato ocorre devido às aeronaves pilotadas pelos Aspirantes não possuírem um sistema integrado tão moderno quanto no T-27M, como o A-29, H-50 e C-95. Dentre esses três, somente o C-95 é capaz de realizar o procedimento RNP, mesmo assim, tendo certas diferenças comparado com o do T-27M.

Em contrapartida, quando se pensa em relação aos vetores mais modernos atualmente na FAB, como o F-39 Gripen, KC-390 Millennium e o KC-30 é possível dizer que a modernização e efetivação dos novos T-27 M foi essencial para, ao final do Curso de Formação de Oficiais Aviadores, os Cadetes se formassem possuindo um nível básico de conhecimento, o qual os ajudará na operação e na compreensão dos sistemas empregados nas novas aeronaves da FAB.

Referente à fase de voo por instrumentos, a modernização do T-27 possibilitou a realização de procedimentos de aproximação que anteriormente não eram realizados, como a aproximação RNP (não precisão) e a aproximação ILS (procedimento de precisão) com segmento inicial RNP, sendo balizado por GPS até a interceptação do curso de aproximação.

Essa nova capacidade de executar tais procedimentos é de grande auxílio para o desenvolvimento das habilidades dos Cadetes, uma vez que amplia seus conhecimentos e experiências aeronáuticas. Durante a navegação para outros aeródromos, essa capacidade proporciona uma variedade maior de opções, não ficando limitada aos procedimentos convencionais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As inovações tecnológicas estão integradas ao cenário dos recursos da Força Aérea Brasileira, incluindo uma parcela significativa de suas aeronaves. Os sistemas avançados demandam uma formação adequada dos pilotos para operar essas aeronaves de maneira altamente eficiente, contribuindo para elevar o padrão de excelência militar brasileiro e o poder aeroespacial.

A pesquisa documental dos artigos, ordens técnicas e sistêmicas proporcionou a base para as comparações e análises realizadas. O arcabouço teórico adotado, que abrange os conceitos de Navegação Baseada em Performance (PBN), orientou a análise do estudo de caso sobre a incrementação do RNP na formação dos Cadetes, fornecendo as respostas ao objetivo geral do artigo.

Outrossim, para analisar de maneira mais concreta os possíveis impactos da modernização e responder o objetivo específico da pesquisa, foi realizada uma coleta dos graus recebidos pelos Cadetes nas missões da fase de navegação por instrumento, diferenciando aqueles que realizaram o Estágio Básico no T-27 (turma de 2021) com aqueles que concluíram o mesmo estágio na aeronave modernizada (turmas de 2022 e 2023).

Através da realização da média aritmética simples foi possível notar uma pequena melhora no desempenho das turmas que realizaram o curso nos anos de 2022 e 2023, com a média de 4,8 enquanto no ano de 2021 foi verificado a média de 4,67.

Como exposto neste trabalho, com a modernização do cockpit do T-27M, que substituiu cerca de 90% dos instrumentos analógicos por displays digitais, houve uma significativa melhora na visualização e análise das informações pelos pilotos. Essa atualização tecnológica permite uma

leitura mais clara e rápida dos dados, reduzindo a carga cognitiva e possibilitando uma tomada de decisão mais ágil e precisa. Além disso, a acuidade visual dos pilotos é beneficiada, pois os displays digitais oferecem maior nitidez e contraste, contribuindo para uma operação mais segura e eficaz da aeronave.

As mudanças implementadas na aeronave T-27 refletiram diretamente na instrução aérea, resultando em uma navegação mais precisa e eficiente. O sistema Garmin, ao fornecer dados precisos sobre direção, velocidade, e altitude, não só facilita a navegação como também promove economia de combustível e aumenta a segurança das operações. Além disso, o método de aproximação RNP auxilia no gerenciamento de dados, incluindo planejamento de rotas e voos, reduzindo retrabalho e contribuindo para uma maior eficiência operacional.

Apesar de algumas aeronaves da FAB ainda não serem capazes de realizar voos e aproximações RNP, isso não torna essa nova capacidade do T-27M indiferente, pelo contrário, mostra que houve um incremento na formação dos Cadetes tendo um melhor desempenho nas missões, com graus mais altos e menor dificuldade, conforme mostram os dados. Além disso, é interessante perceber que a equipe de instrutores de voo da Academia da Força Aérea segue sempre buscando a forma de entregar pilotos melhor preparados para cumprir as diversas missões da FAB.

Dessa forma, considerando a relevância da contínua análise dos recursos e métodos utilizados na formação militar dos pilotos, esse trabalho sugere uma extrapolação desse estudo para anos seguintes, onde mais dados poderão ser coletados e tratados a fim de se obter uma análise ainda mais refinada acerca das variáveis examinadas até aqui.

Outrossim, recomenda-se enfaticamente que seja realizada uma pesquisa mais robusta com o objetivo de se ratificar, ou refutar, os motivos estipulados neste trabalho pelo qual, no ano de 2023, os graus dos Cadetes declinaram na fase de navegação por instrumento, quando comparado com o ano de 2022, para a aeronave T-27M.

Por fim, este artigo incentiva o contínuo avanço na modernização dos recursos aéreos da Força Aérea Brasileira. Embora a implementação de um novo sistema seja um processo complexo e demorado, seus benefícios, como discutido anteriormente neste estudo, são vastos. Além disso, atende ao principal objetivo da Academia da Força Aérea: formar oficiais altamente capacitados, o que contribui significativamente para fortalecer e preparar ainda mais a Força Aérea para os desafios futuros.

REFERÊNCIAS

ACADEMIA DA FORÇA AÉREA, **Academia da Força Aérea completa 80 anos**. Pirassununga, 2021. Disponível em: <<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/37103/ANIVERS%C3%81RIO%20-%20Academia%20da%20For%C3%A7a%20A%C3%A9rea%20completa%2080%20anos>>. Acesso em: 01 mar 2024.

ACADEMIA DA FORÇA AÉREA, **Manual do cadete da Aeronáutica**. Pirassununga, 2023.

AIRBUS, ProSky. **PBN Implementation from Industry perspective: RNAV, RNP & RNP AR**. Cairo, Airbus: 2015.

ALYRIO, R.D. **Metodologia Científica**. PPGEN: UFRRJ, 2008.

BIANCHINI, D. **Navegação Aérea por Instrumentos**. 1. ed. São Paulo: Ed. Bianchi, 2014.

BRAGA, A.L. **Guia Prático para entender PBN-RNP: Navegação Baseada em Performance**. São Paulo: eBianch, 2017.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Comando Geral de Pessoal. Academia da Força Aérea. Divisão de Operações Aéreas. **Programa de Instrução e Manutenção Operacional da Academia da Força Aérea**. 2024.

BRASIL. Diretoria de Ensino da Aeronáutica. ICA 37-736, **Currículo Mínimo do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAV)**. Brasília, 2019.

BRASIL. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico da Aeronáutica. Projeto Básico 023/DIRMAB/2018. **Projeto Básico de Instalação do Sistema Aviônico das Aeronaves T27 Tucano (EMB-312): Projeto T-27M**. São Paulo, 12 dez. 2018.

COTTA, A. **A MODERNIZAÇÃO DE MEIA VIDA PARA AERONAVES NA FAB: estudo de caso da atualização da aeronave T-27 e os impactos no desempenho do plano de manutenção do projeto**. Trabalho de Conclusão de Curso Avançado de Comando e Estado-Maior - Escola De Comando e Estado-Maior Da Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2023.

DENZIN, N. K. e LINCOLN, Y. S. **Introdução: a disciplina e a prática da pesquisa qualitativa. O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p. 15-41.

HELFRICK, A. **Principles of avionics**. 2ª ed. Leesburg: Avionics Communications Inc.; 2002.

MONTEIRO, R.F. **Aviação: construindo a sua história**. Goiânia: Editora da UCG; 2002.

OACI. ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. Doc 9750 AN/963, **Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems**. 2. ed. Montreal: OACI, 2002.

OACI. Doc 9613 NA/937, **Performance-based Navigation (PBN) Manual**. 3. ed. Montreal: OACI, 2008.

OACI. Doc 9849, **Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual**. 3. ed. Montreal: OACI, 2017.

PAMPLONA, D.A.; De Castro Fortes, J. L.; 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**. TRANSPORTES, v. 23, n. 2, p. 22-35, 2015

PAMPLONA, D.A. **Mensuração dos benefícios pela introdução dos Procedimentos de Navegação Baseados em Performance**. 2014. Tese (Mestrado em Infraestrutura Aeronáutica/ Transporte Aéreo e Aeroportos). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos –SP, 2014.

SACIOTO, A. **A INFLUÊNCIA DA MODERNIZAÇÃO DO T-27 NA CAPACIDADE DE NAVEGAÇÃO DOS FUTUROS PILOTOS MILITARES: UMA ANÁLISE SOB A ÓPTICA ESTRATÉGICA**. Trabalho de Conclusão de Curso Avançado de Comando e Estado-Maior - Escola De Comando e Estado-Maior Da Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2023.

SCUSSEL, M. **Navegação Aérea Baseada em Performance (PBN): Vantagens frente à Navegação Aérea Convencional**. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SIQUEIRA, C.A. **Navegação Aérea Segundo o Conceito CNS/ATM: Custos e Benefícios**. 2005. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005.