



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

FERNANDA KOZLOWSKI GÖRTZ, Maj Av

**O emprego da técnica de posicionamento RTX na Inspeção em Voo
de PAPI no SISCEAB**

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

FERNANDA KOZLOWSKI GÖRTZ, Maj Av

**O emprego da técnica de posicionamento RTX na Inspeção em Voo
de PAPI no SISCEAB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado,
como requisito parcial para aprovação, no
Curso de Comando e Estado-Maior.

Linha de Pesquisa: Poder Aeroespacial.

Orientador: Ten Cel Av Rodrigo Faria
Rezende Campos

Rio de Janeiro

2024

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar em que medida a técnica de posicionamento *RTX* (*Real Time eXtended*) pode ser utilizada para a inspeção em voo de *Precision Approach Path Indicator* (*PAPI*) no Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (*SISCEAB*). O estudo aborda a evolução dos sistemas de posicionamento global e a aplicação da tecnologia *Trimble Centerpoint® RTX*, que oferece acuracidade centimétrica em tempo real sem a necessidade de estações de solo locais. A pesquisa foi conduzida através de uma metodologia que incluiu a configuração de aeronaves para utilização simultânea dos sistemas *DGPS* (*Differential Global Positioning System*) e *RTX*, aproveitando inspeções já programadas pelo Grupo Especial de Inspeção em Voo (*GEIV*). Foram realizados testes em diferentes localidades e condições climáticas, utilizando a função *RECALC* do Sistema de Inspeção em Voo (*SIV*) para recalcular dados de entrada. Em adição à campanha de testes em voo, foi realizada pesquisa documental e bibliográfica. Os resultados indicaram que o sistema *RTX* atende aos requisitos de acurácia e desempenho necessários para a inspeção de *PAPI*, demonstrando tempo de convergência rápido e manutenção da exatidão durante o voo. O sistema mostrou-se comparável ao *DGPS*, não apresentando discrepâncias significativas entre as médias das duas amostras testadas. A pesquisa conclui que a técnica de posicionamento *RTX* é viável para a inspeção em voo de *PAPI* no *SISCEAB*, recomendando a realização de testes adicionais em diferentes regiões do Brasil e em diversas épocas do ano para confirmar sua eficácia em condições variadas.

Palavras-chave: Inspeção em Voo; *PAPI*; *RTX*; *SISCEAB*.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the extent to which the real-time positioning technique RTX (Real Time eXtended) can be used for the flight inspection of Precision Approach Path Indicator (PAPI) in the Brazilian Airspace Control System (SISCEAB). The study addresses the evolution of global positioning systems and the application of Trimble Centerpoint® RTX technology, which offers centimeter-level real-time accuracy without the need for local ground stations. The research was conducted through a methodology that included configuring aircraft for the simultaneous use of DGPS (Differential Global Positioning System) and RTX systems, utilizing inspections already scheduled by the Special Flight Inspection Group (GEIV). Tests were conducted in different locations and climatic conditions, using the RECALC function of the Flight Inspection System (SIV) to recalculate input data. In addition to the flight test campaign, documentary and bibliographic research was performed. The results indicated that the RTX system meets the accuracy and performance requirements necessary for PAPI inspection, demonstrating a rapid convergence time and maintaining accuracy during flight. The system proved to be comparable to DGPS, showing no significant discrepancies between the means of the two tested samples. The study concludes that the RTX positioning technique is feasible for use in PAPI flight inspection within SISCEAB, recommending additional tests in different regions of Brazil and at various times of the year to confirm its effectiveness under varied conditions.

Keywords: *Flight inspection; PAPI; RTX; SISCEAB.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Requisitos para utilização de SPA.	18
Figura 2 - Lista de Receptores GPS Compatíveis com o Serviço da Trimble RTX.....	20
Figura 3 - Métodos de Correção de Posicionamento GNSS.....	21
Figura 4 - Valores de Precisão do Painel de Inspeção.	22
Figura 5 - Exposição Resultante na Aproximação Final.	24
Figura 6 - Características dos Ângulos de Transição do PAPI.....	24
Gráfico 1 - Desvios dos Sinais de Correção DGPS/RTX.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desempenho da Acurácia Horizontal.....	14
Tabela 2 - Ângulos de Homologação do PAPI.....	25
Tabela 3 - Ângulos de Transição do PAPI	26
Tabela 4 - Desvios dos Sinais de Correção DGPS/RTX.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNS	<i>Communication, Navigation and Surveillance</i>
DCA	Diretriz do Comando da Aeronáutica
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
GEIV	Grupo Especial de Inspeção em Voo
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
HDOP	<i>Horizontal Dilution of Precision</i>
FAB	Força Aérea Brasileira
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
NSM	<i>Norwegian Special Mission</i>
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
PAPI	<i>Precision Approach Path Indicator</i>
PDOP	<i>Position Dilution of Precision</i>
PND	Política Nacional de Defesa
RTX	Real Time eXtended
SIV	Sistema de Inspeção em Voo
SDOP	Subdepartamento de Operações do DECEA
SDTE	Subdepartamento Técnico do DECEA
SGIV	Sistema de Gerenciamento de Inspeção em Voo
SISCEAB	Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
SPA	Sistema de Posicionamento de Aeronave

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	ANÁLISE DE ACURÁCIA	13
2.2	ANÁLISE DE DESEMPENHO.....	15
3	METODOLOGIA.....	16
4	APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	18
4.1	O SISTEMA DE INSPEÇÃO EM VOO (SIV).....	18
4.2	ACURACIDADE DO RTX.....	20
4.3	INSPEÇÃO EM VOO DO PAPI.....	23
4.4	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O DESEMPENHO DO RTX E DGPS.....	27
5	CONCLUSÃO.....	29
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

O Programa SIRIUS congrega um conjunto de empreendimentos estratégicos que promovem a modernização do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), integrando um sistema de navegação aérea seguro e eficiente a uma infraestrutura de defesa aeroespacial do país.

Dentro da área de Comunicação, Navegação e Vigilância (da sigla em inglês, *CNS*), o Empreendimento visa a “Evolução dos Sistemas de Inspeção em Voo do SISCEAB” por meio do planejamento das ações que promovem o desenvolvimento das capacidades de Inspeção em Voo, fomentando pesquisas com foco no emprego de novas tecnologias e aprimoramento dos métodos de inspeção. O Programa é gerenciado pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e alinhado à Política Nacional de Defesa (PND), documento de mais alto nível que norteia o preparo e emprego da expressão militar do Poder Nacional.

O Grupo Especial de Inspeção em Voo (GEIV) é a Organização Militar da Força Aérea Brasileira (FAB) responsável pela aferição dos auxílios, sistemas e procedimentos que apoiam a navegação aérea, ação prevista na Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1) e essencial para garantir a segurança e a regularidade da aviação. Deve-se ter em mente que os procedimentos de Inspeção em Voo “requerem considerações especiais com vistas a uma aeronave apropriada, equipamentos eletrônicos precisamente calibrados e equipes treinadas e qualificadas” (BRASIL, 2023).

A verificação dos sistemas e auxílios à navegação durante as inspeções, muitas vezes, requer a utilização de um Sistema de Posicionamento de Aeronave (SPA) que forneça posicionamento *GNSS (Global Navigation Satellite System)* preciso em tempo real. Os requisitos de acuracidade devem atender às legislações da OACI (Organização da Aviação Civil Internacional) e do DECEA, e são necessários ao monitoramento e aferição dos sistemas e auxílios que apoiam a navegação aérea. Normalmente são utilizadas pelo GEIV estações locais *DGPS (Differential Global Positioning System)*, transportadas a bordo das aeronaves e montadas nas localidades antes de se iniciar as inspeções. Os pousos técnicos para montagem, e desmontagem, assim como a operação do equipamento de correção dos sinais de posicionamento demanda tempo e pessoal especializado.

De acordo com o Sistema de Gerenciamento de Inspeção em Voo (SGIV), existem atualmente 262 Sistemas Indicadores de Rampa de Aproximação de Precisão em funcionamento no SISCEAB, inspecionados em intervalos regulares com o auxílio de SPA. Importante notar que houve um crescimento no número de auxílios homologados nos últimos

anos; foram 32 novos auxílios disponibilizados no ano de 2023 e 14 até o mês de maio de 2024.

Visando atender ao crescente número de auxílios visuais existentes no SISCEAB, novas soluções de posicionamento satelital de alta precisão, recentemente disponibilizadas no mercado, merecem ser estudadas como opções para substituição ou complementação ao *DGPS*, com foco no aumento da eficiência das operações.

Leandro *et al.* (2011) explicam que a solução de posicionamento *RTX (Real Time eXtended)* é uma tecnologia inovadora que oferece precisão de posicionamento em tempo real a nível centimétrico globalmente, sem a necessidade de um receptor no solo, além de ser aplicável a constelações multi-GNSS, ponto crucial em caso de degradação ou perda de sinal *GPS* americano.

Estudos cuidadosos, todavia, devem ser realizados para garantir que essas tecnologias mantenham os elevados padrões de segurança exigidos pela OACI e então possam garantir que a integração dessas inovações represente de fato um avanço significativo na atividade de Inspeção em Voo no SISCEAB.

Tendo em vista o estudo de novas soluções que possam aumentar a eficiência operacional da Inspeção em Voo, em alinhamento ao Empreendimento de “Evolução dos Sistemas de Inspeção em Voo do SISCEAB”, essa pesquisa buscou verificar se seria possível a utilização de uma nova tecnologia baseada em satélite que forneça a precisão requerida para as verificações em voo dispensando a necessidade de montagem de equipamento no solo, considerando a solução *Trimble Centerpoint® RTX*. Nesse cenário, buscou-se atender ao seguinte Objetivo Geral (OG): Analisar em que medida a técnica de posicionamento *RTX (Real Time eXtended)* pode ser utilizada para a Inspeção em Voo de *Precision Approach Path Indicator (PAPI)* no Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ANÁLISE DE ACURÁCIA

Trimble Inc. é uma empresa de tecnologia que oferece soluções para o posicionamento satelital. Fundada em 1978, a Trimble expandiu suas operações para diversos setores, como agricultura, transporte, logística e geoespacial. Com a evolução constante dessas áreas, a demanda por tecnologias de posicionamento de alta precisão tem aumentado significativamente.

No ano de 2011 a Trimble introduziu o serviço de posicionamento em tempo real denominado de *Centerpoint RTX™*, que utiliza dados de uma Rede Geodésica (ativa) global *GNSS* composta por 107 estações de referência – de monitoramento contínuo, juntamente com inovadores algoritmos de modelagem e compressão para calcular e retransmitir órbitas precisas dos satélites, além de informações sobre o relógio do sistema e outras correções, como por exemplo, as ambiguidades da fase da onda portadora, proporcionando um posicionamento de alta acurácia em tempo real. As correções e os parâmetros calculados são transmitidos para os usuários, em qualquer lugar do planeta, através de seis satélites geoestacionários que utilizam a Banda L (TEIXEIRA *et al.*, 2022, p. 3).

Através da rede global de estações de referência *GNSS* que monitoram continuamente e aplicam algoritmos avançados para calcular e transmitir dados precisos sobre a órbita dos satélites e correções de tempo, é possível obter o posicionamento de alta precisão em tempo real. Teixeira *et al.* (2022) explicam ainda que o posicionamento proporcionado por este sistema é realizado globalmente e, ao contrário de outras tecnologias como o *DGPS*, requer apenas um receptor por parte do usuário.

A eficácia desta rede global destaca um salto significativo na tecnologia de posicionamento. No entanto, a eficiência operacional deste sistema avançado não está isenta de desafios, principalmente relacionados ao tempo de convergência do *Trimble RTX*.

Tempo de convergência do *Trimble RTX* refere-se ao período necessário para que o sistema atinja a acurácia desejada após a inicialização. Esse tempo de convergência pode variar dependendo de vários fatores, como as condições atmosféricas, a visibilidade dos satélites e o ambiente em que o receptor está operando, fator primordial que deve ser levado em consideração durante a avaliação do sistema.

Os autores explicam que “de maneira geral, observa-se que o desempenho da acurácia horizontal [...] melhorou gradativamente com o aumento do tempo de convergência” (Teixeira *et al.*, 2022, p.21). Os experimentos demonstraram que as medições realizadas com 10, 20 e 30 minutos de tempo de convergência registraram um crescente aumento da acurácia no posicionamento *GNSS*, obtendo-se $0,031 \pm 0,007$ metros com 30 minutos.

Tabela 1 - Desempenho da Acurácia Horizontal

Convergência (')	Acurácia (m)
10	$0,042 \pm 0,027$
20	$0,036 \pm 0,011$
30	$0,031 \pm 0,007$

Fonte: Teixeira et.al. (2022, p. 21).

Importante notar que a “precisão está ligada com a dispersão das observações em torno do valor médio, enquanto a acurácia (ou exatidão) está relacionada com a proximidade do valor real, ou seja, sem a influência de erros sistemáticos” (Galo e Camargo, 1994 apud Teixeira *et al.*, 2022, p. 8). De forma semelhante, o conceito de acuracidade utilizado pelo autor serviu de base para a análise da técnica de posicionamento *RTX* neste trabalho.

2.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO

Além de analisar a acurácia da tecnologia de posicionamento *RTX* da *Trimble*, é essencial comparar seu desempenho com sistemas de posicionamento consolidados, como o *DGPS*. Essa comparação é crucial para avaliar a eficácia do *RTX* em condições operacionais reais.

Para assegurar a confiabilidade dos resultados ao comparar o desempenho de ambos os sistemas, é fundamental que os dados cumpram certas premissas estatísticas. Conforme Santos *et al.* (2016) apontam, " a maioria das avaliações de acurácia posicional que analisam tendências utilizam o teste de hipóteses t de *Student*, conforme descrito em Merchant (1982)". Este método será, portanto, utilizado para realizar a análise de desempenho do sistema *RTX*, proporcionando uma base estatística sólida para a comparação.

O teste estatístico t de *Student* para amostras independentes permite a comparação das diferenças existentes entre as duas amostras, assumidos pressupostos de normalidade de distribuição e semelhança de variâncias entre os dois grupos. Desse modo, em um primeiro momento, as amostras serão submetidas a verificação dessas premissas.

Inicialmente, o teste de *Kolmogorov-Smirnov*, apresentado por Triola (2010), é utilizado para testar a normalidade da população de onde foi retirada a amostra. A hipótese nula é que os dados são normalmente distribuídos enquanto a hipótese um assume que a distribuição é não normal. O autor reforça que essa verificação de normalidade da distribuição é importante para a aplicação dos testes estatísticos subsequentes.

Para a segunda premissa, Triola (2010) advoga que o Teste de Levene permite a avaliação da homogeneidade das variâncias entre os grupos, sendo de igual importância para uma análise estatística robusta. Ele testa a hipótese nula de que as variâncias populacionais são iguais (homogeneidade das variâncias), e permite que o teste adequado seja aplicado no próximo passo para medir as discrepâncias entre os dois grupos que se deseja comparar.

Para Casella (2002) o teste t de *Student* é usado para comparar as médias de duas amostras. O teste determina se a diferença entre as duas médias é estatisticamente significativa. Ele assume que as variâncias das duas populações são iguais e que os dados são normalmente distribuídos. Daí a importância de se verificar ambas as premissas para que não se chegue a resultados errados.

Os testes são realizados para garantir que os dados sejam adequados para análise estatística e para comparar a performance dos dois sistemas de correção de *GNSS* de forma robusta e rigorosa, alinhados com os estudos de acurácia de Teixeira *et al.* (2022).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi cuidadosamente delineada para garantir a adequabilidade e a relevância dos dados coletados.

Visando manter a excelência dos serviços prestados e o aumento da eficiência na atividade de Inspeção em Voo, o Grupo Especial de Inspeção em Voo realizou campanha aérea com o sinal de correção para sistemas de posicionamento via satélite *Trimble Centerpoint® RTX*.

As aeronaves foram configuradas para a utilização dos dois sistemas de posicionamento simultaneamente, garantindo que as análises pudessem ser realizadas sob as mesmas condições, no maior número possível de localidades e em diferentes condições climáticas. Não houve gasto de hora de voo para os testes, por terem sido realizados em aproveitamento a inspeções que já estavam previstas na programação do GEIV.

De forma a garantir uma base de dados consistentes para a análise comparativa, as passagens foram realizadas com o sensor *GPS1 (DGPS)* e depois recalculado para o sensor *GPS2 (RTX)* por meio da função *RECALC* do Sistema de Inspeção em Voo (SIV).

Inicialmente foi necessário estipular o Objetivo Específico 1 (OE1), de caracterizar o Sistema de Inspeção em Voo que equipa as aeronaves laboratórios do GEIV. Para atingi-lo, foi realizada pesquisa documental no manual do fabricante do painel de inspeção, buscando conceitos fundamentais empregados na realização da campanha de testes em voo do *RTX*.

Após, buscou-se analisar a acurácia do *Trimble Centerpoint® RTX* como Sistema de Posicionamento de Aeronave (SPA), como o Objetivo Específico 2 (OE2). Para isto, foi realizada pesquisa documental das informações técnicas disponibilizadas pela Trimble Inc.,

complementados por dados coletados na campanha de testes em voo realizada pelo GEIV, e analisadas sob a ótica dos estudos de Teixeira *et al.* (2022), sobre a acurácia e o tempo de convergência para sistemas de posicionamento de alta precisão *GNSS*.

Na sequência, tornou-se imprescindível cumprir o Objetivo Específico 3 (OE3), de identificar os procedimentos operacionais e as aferições obtidas durante as Inspeções em Voo do *PAPI*. Assim, foi realizada uma pesquisa documental dos métodos padronizados pelo DECEA no Manual Brasileiro de Inspeção em Voo (2023), complementados por dados registrados nos Relatórios de Inspeção em Voo da campanha realizada pelo GEIV, utilizando os sistemas *DGPS* e *RTX* em diferentes localidades.

O Objetivo Específico 4 (OE4), por fim, propôs analisar comparativamente os desempenhos dos sistemas de correção *RTX* (*Real Time eXtended*) e *DGPS* (*Differential Global Positioning System*) na Inspeção em Voo de *PAPI*. De modo a garantir a consistência dos dados, os ângulos de transição do *PAPI* foram medidos simultaneamente com os dois sinais, através do SIV.

Para comparação estatística entre os resultados das duas amostras foram calculados os desvios de cada sistema utilizando-se como referência os ângulos de homologação. Os resultados foram submetidos a tratamento estatístico rigoroso para verificar o desempenho do sistema *Trimble Centerpoint® RTX* para a Inspeção em Voo de *PAPI* em comparação ao *DGPS*.

Os critérios de inclusão das amostras foram definidos pela disponibilidade de dados recentes e pela execução de inspeções durante o período de testes. A seleção das localidades foi baseada em critérios de diversidade geográfica e climática, abrangendo as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, limitando-se ao período de um mês de assinatura disponibilizada pela empresa. Foram consideradas as localidades de Anápolis, Cuiabá, Goiânia, Rio Verde, Santa Cruz e Sorriso.

Em virtude do tempo disponível para a pesquisa, não foi possível aguardar o término da campanha de voo do GEIV, sendo utilizados apenas os voos de *PAPI* realizados no mês de maio. Os voos que ocorreram em junho não foram considerados. A realização de voos em diferentes regiões do Brasil e em diversas épocas do ano para uma análise mais abrangente e precisa, garantindo assim que todas as variáveis climáticas e regionais sejam contempladas é essencial ao se tratar de sinais *GNSS*, sendo este o fator limitante deste estudo.

4 APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 O SISTEMA DE INSPEÇÃO EM VOO (SIV)

A *Norwegian Special Mission (NSM)* é uma empresa especializada no desenvolvimento e fornecimento de equipamentos e sistemas para missões específicas e complexas realizadas por aeronaves, como inspeção em voo, vigilância e sensoriamento remoto. Entre seus produtos, destaca-se o UNIFIS 3000, um equipamento avançado que auxilia na verificação e calibração dos sistemas de comunicação, navegação e vigilância, de modo a garantir que operem em conformidade com os padrões de segurança e eficiência estabelecidos pela OACI (NSM, 2024).

Este equipamento é instalado a bordo das aeronaves laboratórios do GEIV e capta os sinais eletrônicos dos equipamentos a serem checados. Para se localizar no espaço, o Sistema de Inspeção em Voo (SIV), também conhecido como painel de inspeção, recebe sinais do Sistema de Posicionamento Global por Satélites. No entanto, para alcançar a acuracidade requerida para a atividade de Inspeção em Voo, pode ser necessário obter aumento de precisão, dependendo do auxílio a ser checado. Esta precisão é disponibilizada a partir de um Sistema de Posicionamento de Aeronaves (SPA).

Figura 1 - Requisitos para utilização de SPA.

AUXÍLIO/SISTEMA	SPA REQUERIDO
	UNIFIS 3000
LOC CAT I/II/III	DGPS, DRTT ou UNICAM
GS CAT I/II/III	DGPS, DRTT ou UNICAM
LOC CAT I DESLOCADO	DGPS ou DRTT
AZIMUTE PAR	DGPS, DRTT, THD (*) ou UNICAM
RAMPA PAR	DGPS, DRTT, THD (*) ou UNICAM
PAPI/VASIS	DGPS, DRTT, THD (*) ou UNICAM
VOR/DVOR	GPS
GBAS	DGPS

Fonte: BRASIL (2023, p.38).

O SPA mais comum utilizado pelo GEIV é o *DGPS*, do inglês *Differential Global Positioning System*, uma estação móvel para correções locais, transportado a bordo das aeronaves laboratórios e montado nas localidades antes do início da inspeção.

De acordo com os dados de posicionamento obtidos do SPA, o painel de Inspeção apresenta as informações básicas do *GPS* através da página "*Position*". Os modos possíveis são: "*No GPS*", onde nenhuma conectividade *GPS* é detectada; "*GPS*", que é o *GPS* autônomo sem dados de correção; "*DGPS*", que representa uma solução diferencial apenas com fase de código (dados de correção *GPS* recebidos); "*FLOAT*", que é uma solução diferencial baseada em fase de portadora flutuante; e "*FIX*", que é uma solução diferencial baseada em fase de portadora fixa, sendo este último modo o buscado pelos Operadores (NSM, 2021).

A página "*Ref*" da janela *GPS* é usada para fornecer detalhes sobre a acurácia atual em comparação com a acurácia requerida, além de apresentar o *status* do procedimento atual. A acurácia requerida é obtida das tolerâncias do banco de dados na tabela "*GPS Accuracy*", de acordo com cada auxílio a ser checado. Essa janela é tipicamente usada para investigar exatamente qual parâmetro causou o alarme, ou seja, o que fez com que a referência se tornasse inválida (NSM, 2021). Este alarme, juntamente com o *status FIX*, são amplamente utilizados durante as inspeções.

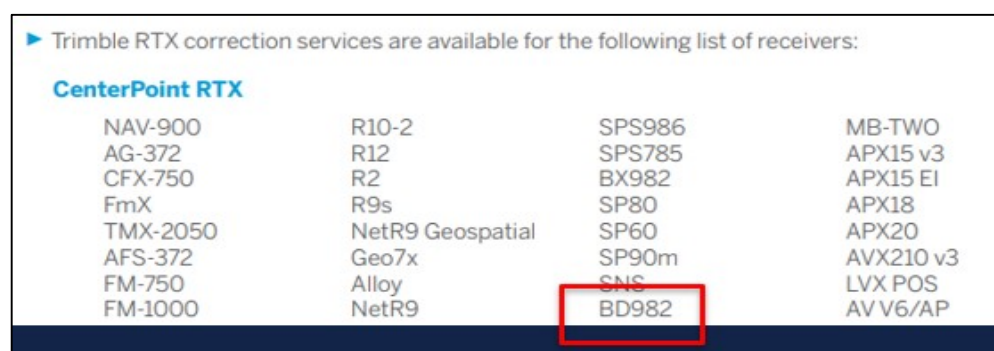
Outra funcionalidade que merece destaque é a chamada *RECALC*. De acordo com o Manual de Operador do UNIFIS 3000, "O recálculo (*RECALC*) possibilita ajustar os dados de entrada sobre um resultado anterior já calculado. Isso pode ser útil por vários motivos, como corrigir dados por erros óbvios (nas configurações, nos dados do auxílio) ou para fins de investigação e pesquisa" (NSM, 2021, p. 167, tradução nossa). Com isto, é possível realizar uma só passagem e verificar os resultados obtidos considerando como *input* dois sistemas de posicionamento, o que foi de extrema importância para os testes realizados.

Nota-se que o UNIFIS 3000 se destaca como um equipamento de inspeção em voo de alta qualidade, oferecendo funcionalidades essenciais para garantir a acuracidade requerida para este tipo de atividade. Dessa forma foi atingido o Objetivo Específico 1 (OE1) de caracterizar o Sistema de Inspeção em Voo que equipa as aeronaves laboratórios do GEIV, conceituando recursos essenciais tanto para a calibração dos auxílios quanto para a campanha de testes do *RTX*.

4.2 ACURACIDADE DO RTX

Durante a fase de planejamento da campanha, verificou-se que o receptor BD982, que equipa as aeronaves laboratórios, possui compatibilidade com o serviço de correção *Trimble RTX*, conforme informações disponibilizadas pela empresa.

Figura 2 – Lista de Receptores *GPS* Compatíveis com o Serviço da *Trimble RTX*.



▶ Trimble RTX correction services are available for the following list of receivers:

CenterPoint RTX

NAV-900	R10-2	SPS986	MB-TWO
AG-372	R12	SPS785	APX15 v3
CFX-750	R2	BX982	APX15 EI
FmX	R9s	SP80	APX18
TMX-2050	NetR9 Geospatial	SP60	APX20
AFS-372	Geo7x	SP90m	AVX210 v3
FM-750	Alloy	SNS	LVX POS
FM-1000	NetR9	BD982	AV V6/AP

Fonte: *Trimble*.

Houve necessidade de atualização do *firmware* do receptor do *GPS* do SIV para haver conexão com o sistema *RTX* e do navegador do painel para conseguir acessar as funcionalidades deste novo *firmware*. As configurações foram feitas com sucesso nas aeronaves FAB 3601, FAB 3602 e FAB 3603.

Foi observado que a indicação de *status FIX*, solução diferencial baseada em fase de portadora fixa, modo buscado pelos Operadores do GEIV, ocorre rapidamente no pátio após a inicialização do sistema. Quando reinicializado o painel em voo, a indicação de *FIX* também foi rápida. Isto indica que o tempo de convergência analisado por Teixeira *et al.* (2022) atende às necessidades da Inspeção em Voo.

É essencial destacar a importância de um tempo de convergência adequado para a Inspeção em Voo, dado que estas operações são altamente dinâmicas. Frequentemente, a decolagem é imediatamente seguida pela inspeção de auxílios à navegação, e esperas prolongadas por uma acurácia satisfatória poderiam comprometer a operação. Portanto, a capacidade do sistema de alcançar rapidamente a acuracidade necessária é crucial para o sucesso e a eficiência deste tipo de atividade.

Convém ressaltar que no relatório da inspeção da localidade de Sorriso foi registrado no solo 1 minuto e 45 segundos entre o momento de ligar o painel ao *status FIX*. Porém, em

voo, após ligar o painel e colocar a senha, o receptor de *GPS 2* ficou com o status "*No GPS*". Após 5 minutos com o painel ligado e recebendo esse *status* foi desligado o receptor de *GPS 2* e acionado novamente. Após essa intervenção o *GPS* ficou com o status *FIX* com 1 minuto e 30 segundos, o que aparentou ser pane espúria.

Foi verificado no trecho entre o Rio de Janeiro e Brasília que o status *FIX* se manteve mesmo durante as rotas e foi reportado que a precisão só foi perdida em um único momento em torno de 20 NM do litoral, sendo restabelecida rapidamente logo em seguida. Destaca-se esta funcionalidade do painel de inspeção em voo de criticar a acuracidade dos dados de posicionamento e não permitir validar a inspeção sem a exatidão requerida.

De modo a comparar dados de acuracidade informadas pela empresa com dados recebidos pelo painel de Inspeção em Voo, foi realizada a seguinte abordagem. De acordo com o manual do SIV (NSM, 2021) os limites de alarme do painel para passagem de *PAPI* são de 0.05 graus, atendendo ao preconizado pela OACI. A partir desse limite é possível calcular a acuracidade em metros que o sistema de referência precisa fornecer para a inspeção desse tipo de auxílio à navegação. Considerando-se uma passagem padrão com término a 3 NM da cabeceira, a precisão requerida é de 5 m, conforme cálculo da tangente abaixo:

$$\text{REF_Syst_error_m} = \tan(0.05^\circ) * 3\text{NM} = 5\text{m}$$

O sinal satelital do *Trimble RTX* possui cobertura global e precisão declarada pela empresa de 0.02 m horizontais e 0.05 m verticais, mostrando-se, portanto, como uma alternativa viável para o uso na Inspeção em Voo.

Figura 3 - Métodos de Correção de Posicionamento GNSS.

Solution	Availability	Delivery Method	Horizontal Accuracy (RMS)	Vertical Accuracy (RMS)
Trimble RTX*	Global (Standard), Regional (Fast)	Satellite, Internet	2 cm - CenterPoint 10 cm - FieldPoint 50 cm - ViewPoint	5 cm - CenterPoint N/A N/A
Virtual Reference Station (VRS) (Network RTK)*	Regional (State or Country)	Internet	2 cm	3 cm
Differential RTK (Single-Baseline)*	Local	Radio	2 cm	3 cm
SBAS - WAAS, EGNOS, etc.	Continental	Satellite	1-2 m	2 m
Autonomous	Global	N/A	3 - 5 m	6 - 10 m

Fonte: Trimble.

De fato, durante a campanha de testes foi possível confirmar a estabilidade do link satelital, obtendo-se o *status FIX* ainda no solo e permanecendo durante todo o voo, assim como a acuracidade que se manteve dentro dos limites do alarme do painel, gerando resultados válidos para as passagens realizadas sem a exibição de mensagens de alerta. A figura abaixo apresenta os valores de acuracidade apresentados pelo painel ao término da passagem de inspeção de *PAPI* com o *Trimble Centerpoint® RTX*.

Figura 4 - Valores de Precisão do Painel de Inspeção.

GPS2: Trimble BD982			
Position	Event	Satellites	Ref
Quality:	FIX	Corr:	GRS
LAT:	S 16° 38' 26.275"		0.012 m
LOn:	W 49° 12' 20.938"		0.014 m
ALT:	789.4 m		0.038 m
Reference:	INVALID	VALID	
	Actual:	Required:	
Azimuth [°]:	0.001647	0.5	
Elevation [°]:	0.002247	0.05	
Distance [m]:	0.018439	185.2	
PDOP:	1.3	5.0	
HDOP:	0.7	4.0	
Satellites:	15	5	

Fonte: A autora.

Dentro da área destacada em vermelho é possível verificar que na coluna da direita em branco constam os requisitos de acuracidade do painel para os valores de azimuth, elevação, distância, *PDOP* (*Precision Dilution of Position*), *HDOP* (*Horizontal Dilution of Precision*) e quantidade de satélites disponíveis enquanto na esquerda em verde a confirmação dos valores obtidos durante o voo, comprovando que a exatidão fornecida pelo *RTX* ficou dentro dos limites esperados. Importante observar que para o limite de 0.05° utilizado para o ângulo de transição foi obtida a acuracidade de 0.002247° .

O SIV possui capacidade de alarme que informa caso a acuracidade fique fora dos requisitos estabelecidos nessa tela, aumentando a segurança do sistema e permitindo confirmar que a exatidão foi mantida durante as inspeções. Nota-se que a teoria detalhada por Teixeira *et al.* (2022) de que o tempo de convergência é um fator crucial para que se atinja alta acuracidade pôde ser percebida na prática, e de fato a obtenção do *status FIX* demonstrou que o sistema atende aos requisitos da Inspeção em Voo dentro de um intervalo de tempo bastante adequado para as operações.

Além disso, foi comprovado em voo que o sinal de correção *Trimble Centerpoint*® *RTX* forneceu a precisão de 0.002247 graus, ficando dentro do limite de 0.05 graus requeridos para a inspeção em voo de *PAPI*, apresentando, portanto, desempenho adequado como Sistema de Posicionamento de Aeronave (SPA).

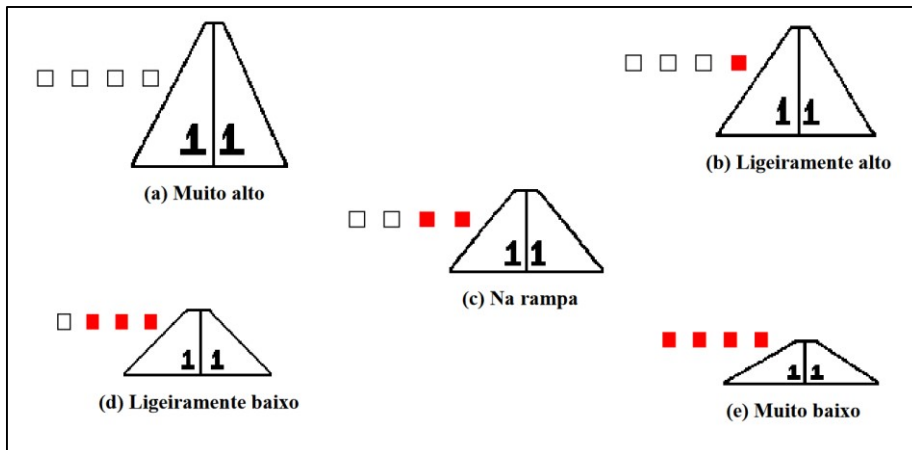
Os resultados alcançados durante a campanha foram bastante significativos em diferentes aeroportos das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, permitindo uma análise precisa da acuracidade e da estabilidade do sinal da *Trimble* como Sistema de Posicionamento de Aeronaves para estas regiões. Dessa forma foi possível atingir o Objetivo Específico 2 (OE2) de analisar a acurácia do *Trimble Centerpoint*® *RTX* como Sistema de Posicionamento de Aeronave (SPA), concluindo que o sistema funcionou perfeitamente durante a campanha de testes, mantendo o status *FIX* durante as inspeções, sem que houvesse alarmes ou perda de sinal significativa.

4.3 INSPEÇÃO EM VOO DO *PAPI*

Também chamado de Sistema Indicador de Rampa de Aproximação de Precisão, ou simplesmente *PAPI*, do inglês *Precision Approach Path Indicator*, o equipamento é instalado predominantemente na lateral esquerda da pista de pouso e utiliza lâmpadas brancas e vermelhas para fornecer indicação visual da rampa de aproximação para pouso. O conjunto é formado por quatro caixas de luzes e cada uma possui um sistema que projeta um feixe de luz com a parte superior branca e a inferior vermelha, alternando entre as cores por um estreito feixe de luz rosa com largura de 0.05° (BRASIL, 2023).

O piloto recebe informação das luzes sobre o seu posicionamento na aproximação para pouso relativo à rampa ideal (duas brancas e duas vermelhas), ou variações para cima (aumento das luzes brancas) ou para baixo (aumento das luzes vermelhas) conforme dispositivo abaixo:

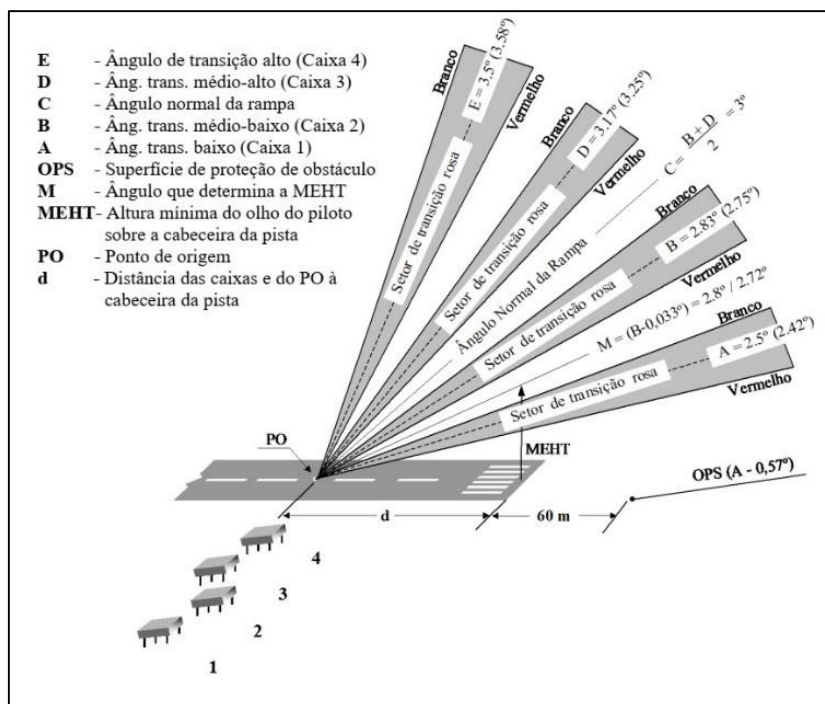
Figura 5 - Exposição Resultante na Aproximação Final.



Fonte: BRASIL (2023, p.137).

Normalmente o *PAPI* é projetado para uma rampa de 3° , podendo ter uma rampa mais baixa para atender a aviação de caça ($2,5^\circ$) ou mais alta em função do relevo. A figura abaixo apresenta os ângulos de transição para um sistema padrão, considerando a possibilidade de o auxílio visual ser instalado isoladamente ou os valores entre parênteses para funcionamento conjugado a rampa eletrônica de um Sistema de Pouso por Instrumento (*ILS*) e para aeronaves de grande porte (BRASIL, 2023).

Figura 6 – Características dos Ângulos de Transição do *PAPI*.



Fonte: BRASIL (2023, p.152).

Os ângulos de transição são aferidos na Inspeção em Voo pelo método da passagem nivelada ou na rampa, com marcação de eventos no painel de inspeção quando há transição do vermelho para o branco (BRASIL, 2023).

Tendo em vista os métodos padronizados pelo DECEA para a aferição do *PAPI*, será procedida a fase de identificação dos dados encontrados durante as inspeções. Os resultados das aferições extraídas durante o voo foram registrados em relatórios específicos e armazenados na Seção de Inspeção em Voo do GEIV, utilizando-se como referência os ângulos de homologação dos auxílios.

Tabela 2 - Ângulos de Homologação do *PAPI*.

Local	Ângulo Alto	Ângulo Médio Alto	Ângulo Médio Baixo	Ângulo Baixo
Anápolis (SBAN) RWY 06	3.18	2.85	2.35	2.02
Santa Cruz (SBSC) RWY 05	3.58	3.25	2.75	2.42
Sorriso (SBSO) RWY 05	3.50	3.17	2.83	2.50
Cuiabá (SBCY) RWY 17	3.50	3.17	2.83	2.50
Goiânia (SBGO) RWY 32	3.58	3.25	2.75	2.42
Rio Verde (SWLC) RWY 03	3.50	3.17	2.83	2.50

Fonte: Autora.

A seleção das amostras dos resultados do *PAPI* foi feita de forma não probabilística e não aleatória a partir dos resultados dos voos realizados com o sistema *DGPS* do GEIV em comparação ao sistema *Trimble Centerpoint® RTX*.

Foram utilizados os relatórios disponibilizados pelo GEIV dos voos realizados nos meses de maio, totalizando uma amostra de 24 ângulos de transição medidos nos auxílios visuais de seis localidades conforme tabela abaixo:

Tabela 3 - Ângulos de Transição do *PAPI*.

Local	Ângulo Alto <i>DGPS</i>	Ângulo Alto <i>RTX</i>	Ângulo Médio Alto <i>DGPS</i>	Ângulo Médio Alto <i>RTX</i>	Ângulo Médio Baixo <i>DGPS</i>	Ângulo Médio Baixo <i>RTX</i>	Ângulo Baixo <i>DGPS</i>	Ângulo Baixo <i>RTX</i>
Anápolis (SBAN) <i>RWY 06</i>	3.25	3.25	2.78	2.78	2.39	2.40	2.11	2.11
Santa Cruz (SBSC) <i>RWY 05</i>	3.58	3.57	3.21	3.18	2.74	2.72	2.45	2.46
Sorriso (SBSO) <i>RWY 05</i>	3.49	3.48	3.19	3.19	2.84	2.84	2.50	2.50
Cuiabá (SBCY) <i>RWY 17</i>	3.55	3.55	3.20	3.20	2.83	2.83	2.49	2.49
Goiânia (SBGO) <i>RWY 32</i>	3.52	3.51	3.19	3.18	2.74	2.73	2.45	2.45
Rio Verde (SWLC) <i>RWY 03</i>	3.50	3.50	3.22	3.21	2.85	2.85	2.56	2.55

Fonte: A autora.

As medições com os dois sinais de correção foram realizadas de forma simultânea nas passagens, assegurando que o perfil de voo e as condições atmosféricas fossem as mesmas para ambos os casos. As passagens foram gravadas com o sensor primário (*GPS1*) selecionado com o sistema *DGPS* e em seguida foi realizado o recálculo automático (*RECALC*) para o sensor secundário (*GPS2*) configurado para o sistema *RTX* da *Trimble*.

Todos os parâmetros foram considerados válidos pelo Sistema de Inspeção em Voo (*SIV*) e não houve perda do *status FIX* ou alarme de perda de sinal durante as passagens. Os resultados foram coletados dos Relatórios Imediatos de Inspeção em Voo disponibilizados pelo GEIV.

Existem outros parâmetros previstos na lista de verificação do MANINV, Manual Brasileiro de Inspeção em Voo (BRASIL, 2023) para serem analisados na Inspeção em Voo; no entanto, para esta pesquisa, apenas os ângulos de transição serão considerados, por serem os principais parâmetros a serem medidos no *PAPI* e que requerem a utilização de um SPA.

Dessa forma, por meio da análise documental das legislações e Relatórios de Inspeção em Voo, foi atingido o Objetivo Específico 3 (OE3) de identificar os procedimentos operacionais e as aferições obtidas durante as Inspeções em Voo do *PAPI*.

4.4 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O DESEMPENHO DO *RTX* E *DGPS*

Nesta seção, será realizada uma análise comparativa entre os desempenhos dos sistemas de correção *RTX* (*Real Time eXtended*) e o consagrado sistema utilizado pelo GEIV, o *DGPS* (*Differential Global Positioning System*). Para avaliar o desempenho desses sistemas, foi utilizado como referência o ângulo de homologação. A medição foi realizada simultaneamente para ambos os sistemas, garantindo a consistência dos dados coletados. Essa abordagem é fundamentada na necessidade de quantificar a diferença entre os valores observados (ângulos medidos) e os valores esperados (ângulos de homologação), permitindo uma avaliação objetiva dos sistemas de correção.

Com a fórmula matemática de Triola (2010) foram calculados os desvios dos sinais de correção *DGPS/RTX* em relação aos ângulos de homologação dos auxílios, sendo possível observar resultados bastante próximos entre as amostras.

$$\text{Desvios } (\sigma) = (\hat{\text{Ângulo de homologação}} - \hat{\text{Ângulo }} \textit{DGPS/RTX})$$

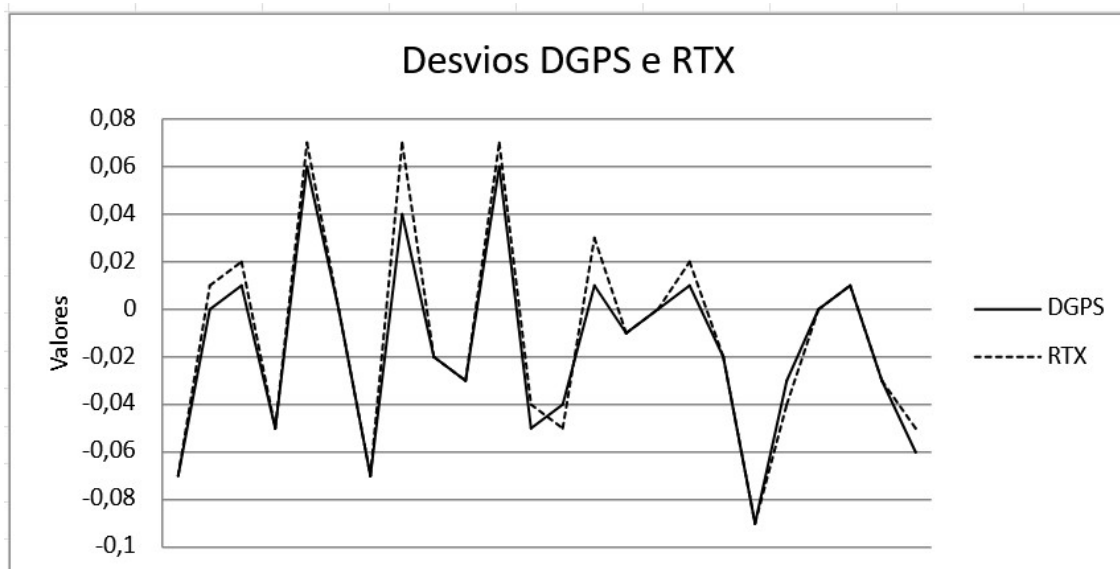
Tabela 4 - Desvios dos Sinais de Correção *DGPS/RTX*.

Local	Ângulo Alto <i>DGPS</i>	Ângulo Alto <i>RTX</i>	Ângulo Médio Alto <i>DGPS</i>	Ângulo Médio Alto <i>RTX</i>	Ângulo Médio Baixo <i>DGPS</i>	Ângulo Médio Baixo <i>RTX</i>	Ângulo Baixo <i>DGPS</i>	Ângulo Baixo <i>RTX</i>
Anápolis (SBAN) <i>RWY 06</i>	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.04	-0.05	-0.09	-0.09
Cuiabá (SBCY) <i>RWY 17</i>	-0.05	-0.05	-0.03	-0.03	0	0	0.01	0.01
Goiânia (SBGO) <i>RWY 32</i>	0.06	0.07	0.06	0.07	0.01	0.02	-0.03	-0.03
Rio Verde (SWLC) <i>RWY 03</i>	0	0	-0.05	-0.04	-0.02	-0.02	-0.06	-0.05
Santa Cruz (SBSC) <i>RWY 05</i>	0	0.01	0.04	0.07	0.01	0.03	-0.03	-0.04
Sorriso (SBSO) <i>RWY 05</i>	0.01	0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	0	0

Fonte: A autora.

Com a representação gráfica fica evidenciada a similaridade entre as aferições dos dois sistemas (*RTX* e *DGPS*).

Gráfico 1 - Desvios dos Sinais de Correção *DGPS/RTX*.



Fonte: A autora.

Os fundamentos de Triola (2010) e Casella (2002) embasaram a comparação estatística entre os desempenhos do *RTX* e *DGPS*, considerando-se o benchmark para os cálculos dos desvios de cada sistema.

Com o auxílio do código fonte Python foi possível aplicar a estatística KS e valor-p para teste de normalidade das amostras, estatística de Levene e valor-p para averiguar a homogeneidade das variâncias e por meio do Teste *T Student* para amostras independentes, comparar as médias para verificar se existe discrepância estatisticamente relevante entre os grupos.

O Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov aplicado nas duas amostras confirmou a hipótese nula (H_0) de distribuição normal em ambos os casos com os seguintes resultados: desvios *DGPS* (estatística KS = 0.1329, valor-p = 0.7873) e desvios *RTX* (estatística KS= 0.0920, valor-p = 0.9870). Portanto, para o nível de significância (σ) de 0.05, foi descartada para as duas amostras a hipótese um (H_1) de que a distribuição não é normal. Assim como os resultados do Teste de Levene (estatística L = 0.3568, valor-p = 0.5532) confirmaram a hipótese nula (H_0) de que as variâncias das duas amostras não possuem discrepâncias relevantes, descartando dessa forma a hipótese um (H_1) de que as variâncias das duas amostras são diferentes, considerando (σ) = 0.05.

Por conseguinte, satisfeitos os critérios de distribuição normal e variâncias iguais para amostras independentes, foi aplicado o Teste *T Student* para a comparação entre as médias das duas amostras, com nível de significância (σ) de 0.05. O resultado confirmou a

hipótese nula (H_0) de que não existe discrepância significativa entre as duas distribuições (valor-p = 0.7309), descartando a hipótese um (H_1) de que as duas distribuições são diferentes; apresentando baixa dispersão em torno da média (estatística $T = 0.3459$).

Dessa forma foi possível responder ao Objetivo Específico 4 (OE4) de analisar comparativamente os desempenhos dos sistemas de correção *RTX (Real Time eXtended)* e *DGPS (Differential Global Positioning System)* na Inspeção em Voo de *PAPI*. Foi possível concluir que houve similaridade entre as aferições dos ângulos inspecionados com ambos os sistemas e que o sistema *Trimble Centerpoint® RTX* tem desempenho similar ao *DGPS* para a Inspeção em Voo de *PAPI*.

Cumprindo-se o OE1, OE2, OE3 e OE4 foi possível atender ao Objetivo Geral (OG) de analisar em que medida a técnica de posicionamento *RTX (Real Time eXtended)* pode ser utilizada para a Inspeção em Voo de *Precision Approach Path Indicator (PAPI)* no Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), deixando claro que a nova tecnologia atende aos requisitos de acuracidade para a Inspeção em Voo de *PAPI* e atende aos critérios de desempenho esperados como Sistema de Posicionamento de Aeronaves, apresentando desempenho semelhante ao *DGPS*, podendo, portanto, ser utilizada como técnica de posicionamento de alta precisão para a Inspeção em Voo de *PAPI* no SISCEAB.

Contudo, recomenda-se que um período adicional de um ano de assinatura seja considerado para testes em diferentes condições climáticas nas regiões Norte, Nordeste e Sul do Brasil, analisando-se a possibilidade de estudos mais profundos pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), Subdepartamento de Operações do DECEA (SDOP) e Subdepartamento Técnico do DECEA (SDTE) sobre a tecnologia *RTX* e a viabilidade de emprego na Inspeção em Voo. Foram encontradas evidências de que o sistema de posicionamento poderia ser utilizado para inspeções de *ILS CAT I (Instrument Landing System)*, no entanto, não houve tempo suficiente para a análise desses resultados nessa pesquisa.

5 CONCLUSÃO

Alinhados aos objetivos estratégicos do Programa Sirius do DECEA, esta pesquisa buscou analisar o emprego de uma nova tecnologia de posicionamento em tempo real baseada em satélite para a Inspeção em Voo de *PAPI* no SISCEAB. A solução *Trimble Centerpoint® RTX* permite alcançar acuracidade centimétrica sem a necessidade de uma estação de solo

local, contribuindo para o aumento da flexibilidade e eficiência operacional do GEIV, dispensando a necessidade de pousos técnicos para montagem de equipamentos de solo nas inspeções que demandam maior exatidão. O objetivo geral (OG) deste estudo foi analisar em que medida a técnica de posicionamento *RTX* (*Real Time eXtended*) pode ser utilizada para a Inspeção em Voo de Precision Approach Path Indicator (*PAPI*) no Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB).

Para atingir esse objetivo, foi conduzida uma pesquisa documental e bibliográfica, além da coleta de dados em campanha de voo realizada pelo GEIV. O Objetivo Específico 1 (OE1) consistiu em caracterizar o Sistema de Inspeção em Voo que equipa as aeronaves laboratórios do GEIV, com base em pesquisa documental no manual do fabricante do painel de inspeção. O Objetivo Específico 2 (OE2) analisou a acuracidade do *Trimble Centerpoint® RTX* como Sistema de Posicionamento de Aeronave (SPA), atendendo aos requisitos de exatidão estabelecidos pela Organização da Aviação Civil Internacional e pelo Manual Brasileiro de Inspeção em Voo do DECEA. Os resultados confirmaram a eficácia do método *RTX* em termos de acurácia e tempo de convergência, comparável ao *DGPS*.

Os testes indicaram que a solução *RTX* proporciona uma indicação rápida de *FIX* após a inicialização do sistema, tanto no pátio quanto em voo. O sinal manteve-se estável durante os voos, sem perda significativa de precisão. O Objetivo Específico 3 (OE3) foi atingido ao identificar os procedimentos operacionais e aferições durante as Inspeções em Voo do *PAPI*. Finalmente, o Objetivo Específico 4 (OE4) analisou comparativamente os desempenhos dos sistemas de correção *RTX* e *DGPS* na Inspeção em Voo de *PAPI*, concluindo que não houve discrepâncias significativas entre os dois sistemas em termos de exatidão dos ângulos de transição.

A pesquisa evidenciou que a técnica de posicionamento *RTX* é viável para a Inspeção em Voo de *PAPI* no SISCEAB, validando seu desempenho em diferentes localidades. Os resultados foram registrados nos Relatórios de Inspeção em Voo e submetidos a testes estatísticos, confirmando a similaridade das aferições realizadas com os sistemas *RTX* e *DGPS*. Recomenda-se a realização de testes adicionais em diferentes regiões do Brasil e em diversas épocas do ano para confirmar a eficácia do *RTX* em condições variadas.

Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se um período adicional de um ano de assinatura para coleta de dados em aeroportos das regiões Norte, Nordeste e Sul do país, além de estudos mais aprofundados por parte do ICEA, SDOP e SDTE sobre a tecnologia

RTX e sua viabilidade na Inspeção em Voo. Pesquisas adicionais podem incluir a possibilidade de utilização do *RTX* nas Inspeções em Voo de *ILS CAT I*, que não foi analisada devido à limitação de tempo nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Portaria nº 1.224/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a reedição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira - Volume 1 (DCA-1-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 205, f. 14971, 12 nov. 2020.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA Nº 1022/DNOR, de 1º de agosto de 2023. Aprovar a reedição do Manual que dispõe sobre os procedimentos operacionais de inspeção em voo. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 135, 25 jun. 2023.

CASELLA, G.; BERGER, R. L. **Statistical Inference**. 2.ed. Pacific Grove: Duxbury, 2002. 660 p. ISBN 0-534-24312-6.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Annex 14 to the Convention of International Civil Aviation. **Aerodromes: Volume 1 – Aerodromes Design and Operations** 9th Edition, July 2022.

LEANDRO, Rodrigo; LANDAU, Herbert; NITSCHKE, Markus; GLOCKER, Markus; SEEGER, Stephan; CHEN, Xiaoming; DEKING, Alois; BEN-TAHAR, Mohamed; ZHANG, Feipeng; FERGUSON, Kendall; STOLZ, Ralf; TALBOT, Nick; LU, Gang; ALLISON, Timo; BRANDL, Markus; GOMEZ, Victor; CAO, Wei; KIPKA, Adrian. **RTX Positioning: The Next Generation of cm-accurate Real-Time GNSS Positioning**. Trimble Terrasat GmbH, Germany, 2011.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**. 9ed. atual. São Paulo: Atlas, 2021. 315 p. ISBN 9788597026603. E-book.

NORWEGIAN SPECIAL MISSION. **UNIFIS 3000 Operators Manual - NSM-1410-MAN-041 Rev 18.0 Norway**, 2021.

NSM. **Norwegian Special Mission**. Disponível em: <https://www.nsm.aero/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico - 2a edição**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D.D; SANTOS, N.T.; JUNIOR, J.G. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais Utilizando Técnicas de Estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 22, nº4, p.630-650, dez. 2016.

TEIXEIRA, N. N.; CRUZ JÚNIOR, D. C.; RODRIGUES, W. S. **Análise do Desempenho da Técnica de Posicionamento GNSS PPP-RTK em Tempos de Convergência Distintos**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 16, e515111638680, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i16.38680>. Acesso em: 01 jun. 2024.

TRIMBLE INC. **Nossa companhia**. Disponível em: <https://trimble.com.br/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

TRIOLA, M. F. *Elementary Statistics*. 11.ed. Pearson: Boston, 2010.