

**UNIVERSIDADE ANEHMBI MORUMBI
ÂNIMA EDUCAÇÃO**

**CAIO ACCIARI CORREA,
DANIEL YUJI YOKOYAMA,
LUCAS GONÇALVES DE SOUZA,
MANOEL ELIAS DA CUNHA NETO,
THIAGO DOURADO FELIPE DOS SANTOS**

**POINT MERGE SYSTEM:
UMA INOVAÇÃO NA SEGURANÇA DO ESPAÇO AÉREO**

**CAIO ACCIARI CORREA,
DANIEL YUJI YOKOYAMA,
LUCAS GONÇALVES DE SOUZA,
MANOEL ELIAS DA CUNHA NETO,
THIAGO DOURADO FELIPE DOS SANTOS**

**POINT MERGE SYSTEM:
UMA INOVAÇÃO NA SEGURANÇA DO ESPAÇO AÉREO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Aviação Civil, da Universidade Anhembí Morumbi da Ânima Educação, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Francisco José Rezende, Mestre em Letras.

São Paulo

2022

RESUMO

A proposta deste trabalho é realizar uma análise dos resultados da implementação do “Point Merge System” na Terminal São Paulo, para demonstrar como tal sistema pode contribuir para o aumento da eficiência e para o aumento da segurança no espaço aéreo. Para isso, foi analisado de onde surgiu a demanda para a criação desse sistema, além de como se deu a sua implementação no que tange a obstáculos e desafios durante a fase de implementação nas mais diversas estruturas do espaço aéreo. Além disso, os autores realizaram uma pesquisa com pilotos que regularmente operam procedimentos de aproximação na Terminal São Paulo, questionando sobre as consequências da implementação do sistema em busca de constatar se houve um impacto positivo ou negativo na segurança e eficiência das operações no Aeroporto Internacional de Guarulhos.

Palavras-chave: *Point Merge System, Continuous Descent Approach, Gerenciamento de Tráfego Aéreo*

ABSTRACT

The purpose of this paper is to carry out an analysis of the results of the implementation of “Point Merge System” at São Paulo’s Approach Control, to demonstrate how such system could contribute to increasing efficiency and increasing safety in airspace. For this, it was analyzed where the demand for the creation of this system came from, as well as how its implementation took place in terms of obstacles and challenges in the most diverse airspaces structures in the world. In addition, the authors carried out a survey with pilots who regularly operates arrival procedures in São Paulo Terminal Area, asking about the consequences of implementing the system to see if there was either a positive or negative impact on the safety and efficiency of operations at Guarulhos International Airport.

Keywords: *Point Merge System, Continuous Descent Approach, Air Traffic Management*

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| | LISTA DE IMAGENS..... | 1 |
| | LISTA DE SIGLAS..... | 1 |
| | GLOSSÁRIO..... | 2 |
| | INTRODUÇÃO..... | 3 |
| 1 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 5 |
| 1.1 | CONCEITUAÇÃO DO SISTEMA..... | 5 |
| 1.1.1 | Requisitos Operacionais..... | 7 |
| 1.1.2 | As diversas estruturas das pernas de sequenciamento..... | 7 |
| 1.2 | TÉCNICAS DE CONFLUÊNCIA DE AERONAVES..... | 8 |
| 1.2.1 | Vetoração..... | 9 |
| 1.2.2 | Os benefícios da adoção do Point Merge System..... | 9 |
| 2 | FASES DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA..... | 12 |
| 2.1 | IMPACTO NO ESPAÇO AÉREO | 12 |
| 2.1.1 | Aumento da vida útil do Espaço Aéreo..... | 12 |
| 2.2 | OBSTÁCULOS NA IMPLEMENTAÇÃO..... | 14 |
| 2.2.1 | Planejamento de combustível..... | 14 |
| 3 | OTIMIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES..... | 17 |
| 3.1 | IMPORTÂNCIA NA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO..... | 18 |
| 3.2 | REDUÇÃO DE RUÍDO..... | 19 |
| 3.3 | PMS COMO FERRAMENTA NA SEGURANÇA DE VOO..... | 21 |
| | CONCLUSÃO..... | 23 |

LISTA DE IMAGENS

| | |
|--|----|
| Imagem 1 - Esquema genérico do Point Merge System..... | 6 |
| Imagem 2 - Configurações das Pernas de Sequenciamento..... | 8 |
| Imagem 3 - Gráfico. Relação FL x Tempo para pouso..... | 10 |
| Imagem 4 - Ajustes de Ângulos durante a implementação..... | 13 |
| Imagem 5 - Fluxograma de Implementação do Point Merge System..... | 14 |
| Imagem 6 - Comparação Procedimento STAR x Carta STAR de Abastecimento..... | 16 |
| Imagem 7 - Comunicações Vetoração x Point Merge System..... | 17 |
| Imagem 8 - Representação da emissão de ruídos de um motor a reação..... | 20 |

LISTA DE SIGLAS

ATCO – *Air Traffic Controller*

ATM – *Air Traffic Management*

CDA – *Continous Approach Descent*

dB - Decibéis

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

IAF – *Initial Approach Fix*

NDB – *Non-Directional Beacon*

PMS – *Point Merge System*

RBAC – Regulamento Brasileiro de Aviação Civil

SGSO – Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional

STAR – *Standard Terminal Arrival Route*

TMA – *Terminal Control Area*

VHF – *Very High Frequency*

VOR – *VHF Omnidirectional Radio Range*

SOP – *Standard Operational Procedures*

GLOSSÁRIO

Consciência Situacional – Trata-se da percepção dos elementos presentes no ambiente de trabalho do profissional, compreendendo um certo período de espaço e tempo.

GNSS – É um sistema de satélites que permite que equipamentos forneçam, através de indicação de coordenadas, a localização de determinado ponto na superfície terrestre.

IAF – Define o segmento final de um procedimento STAR, e o início de um procedimento de aproximação por instrumento de um determinado aeroporto

Motores a reação – Popularmente conhecido como motores a jato, são motores impulsados através da queima de grandes quantidades de massas de ar, resultando em uma rápida expansão dos gases.

STAR – Rota Padrão de chegada em Terminal. É uma carta de navegação por instrumentos que possui uma trajetória como um caminho que une o voo em rota com um ponto próximo ao aeroporto de destino.

Superfícies Hipersustentadoras – Possuem a função de aumentar a sustentação e arrasto das asas de uma aeronave. Comumente são utilizadas durante as fases de decolagem, aproximação e pouso.

TMA – Área de Controle Terminal situada em regiões de grande densidade de tráfego aéreo. É um espaço aéreo controlado que abrange as chegadas e saídas as aerovias.

Trip Fuel – É o combustível necessário para a realização da etapa planejada. Essa quantidade de combustível é determinada pelo tempo de voo necessário para efetuar uma etapa entre origem e destino, considerando todos os pontos inseridos da rota.

VOR – É um auxílio de Alcance Omnidirecional De Frequência Muito Alta, responsável por auxiliar os pilotos nas determinações de posições, na orientação em rota e na execução de procedimentos de aproximação. É composto por uma unidade transmissora no solo e outra receptora na aeronave.

Waypoints – Pontos de notificação ou fixo, em rotas ou procedimentos baseados em sistemas de rádio navegação ou GNSS.

INTRODUÇÃO

O Espaço Aéreo como parte atuante e fundamental na continuidade da atividade aérea, de maneira segura, eficaz e eficiente, é não obstante, responsável por ditar a capacidade operacional dos aeroportos mais congestionados do mundo.

A proposta deste artigo é apresentar e evidenciar todos os benefícios contemplados pela aplicação de uma tecnologia revolucionária no conceito de sequenciamento de aeronaves em espaços aéreos congestionados. Ademais, é de profundo desejo, evidenciar à comunidade acadêmica, todo o processo de implementação de conceitos de redução de ruído e de emissões de CO², visando aumentar a consciência coletiva sobre a importância de soluções tecnológicas no campo da aviação civil, no combate à poluição sonora e ambiental. Para obter as informações dispostas neste documento, foram realizadas pesquisas em artigos científicos, documentos e manuais operacionais de instituições de aviação civil.

A metodologia utilizada neste trabalho acadêmico, foi a de pesquisa bibliográfica por meio de artigos internacionais de instituições de aviação civil, e por meio da análise estatística de pesquisas conduzidas em conformidade com a metodologia de Observação Direta Extensiva, por meio de questionários com perguntas abertas e de múltipla escolha.

Os autores, que tiveram início dos estudos nesta graduação em 2020, tiveram como motivação a escolha deste tema mediante a implantação do Point Merge System na TMA-SP, mostrando-se condizente com a proposta de evoluir, cada vez mais, a segurança do espaço aéreo.

O Título “Point Merge System: Uma inovação na segurança do espaço aéreo” reflete o objetivo de divulgar, de maneira ostensiva, todos os benefícios proporcionados pela implementação desta tecnologia, nos campos da segurança operacional e adequação as políticas ambientais vigentes no século XXI.

Neste rumo, a pesquisa tem como objetivo geral, demonstrar através de dados estatísticos e por meio da conceituação do sistema, como a implementação desta tecnologia de sequenciamento de aeronaves fora fundamental no aumento da segurança operacional no que tange o espaço aéreo, e na redução significativa das emissões de carbono por parte de aeronaves, quando em procedimentos de aproximação.

No capítulo 1, utilizado como referencial teórico, fora conceituado o sistema de sequenciamento de aeronaves e o benefício de seu uso em detrimento de técnicas alternativas, ainda muito difundidas no controle do espaço aéreo. Além disso, fora conceituado técnicas de aproximação continuada e seus benefícios operacionais quando utilizadas em conjunto com o Point Merge System. Foi utilizado, como referência bibliográfica, manuais operacionais da EUROCONTROL (2021) e (2010), e artigos de IVANESCU et al (2009).

No capítulo 2, é realizado a descrição do fluxograma de implementação do sistema, buscando demonstrar, todos os requisitos operacionais necessários para a implantação segura e eficaz desta tecnologia, assim como, os obstáculos enfrentados durante esta fase.

No capítulo 3, tem-se como objetivo, analisar todos os fatores operacionais que são otimizados pela adoção do sistema em áreas de controle terminal, assim como, demonstrar a eficiência da otimização operacional, na redução da poluição sonora e ambiental.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Para se obter o devido entendimento sobre o funcionamento e importância da aplicação do *Point Merge System*, é necessário demonstrar a sua conceituação básica, visto que é através dela que todos os benefícios da implementação são encontrados. Para isso, foram utilizados como referência bibliográficas, os manuais operacionais da EUROCONTROL (2010) e (2021), e o artigo “*Models of air traffic merging techniques: Evaluating performance of point merge*” dos autores IVANESCU *et al* (2009).

1.1 CONCEITUAÇÃO DO SISTEMA

O *Point Merge System* é um projeto de sequenciamento de aeronaves desenvolvido e lançado em 2012 pela organização de Tráfego Aéreo privada belga EUROCONTROL.

O sistema consiste em uma ferramenta de sequenciamento de aeronaves com base em um ponto único de confluência entre elas, onde o controlador de tráfego aéreo, através de instruções pontuais, é capaz de otimizar o fluxo aéreo de aproximação de um determinado aeroporto ou pista.

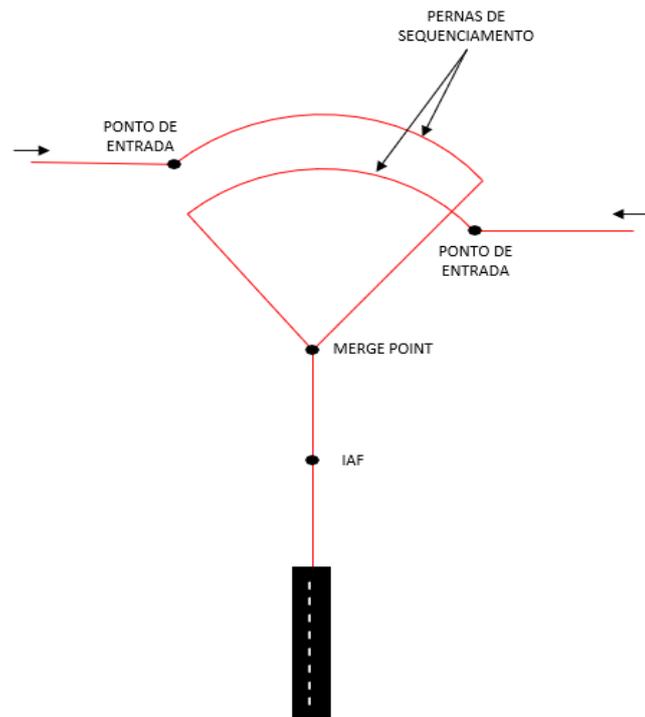
Para a aplicação do sistema, é desenvolvido uma arquitetura tridimensional no espaço aéreo, onde são estabelecidos dois ou mais pontos de entrada de aeronaves, onde elas ingressarão nas pernas de sequenciamento (arcos), e serão posteriormente instruídas a voarem para um ponto único de confluência entre elas (*merge point*).

As pernas de sequenciamento são compostas por diversos *waypoints* equidistantes entre si e entre o *merge point*, além disso, elas são responsáveis por possibilitarem, durante situações de alto fluxo aéreo, a realização segura de procedimentos de espera.

Para evitar a ocorrência de conflitos, as pernas de sequenciamento são separadas verticalmente entre si em 1.000ft, sendo a perna de sequenciamento

externa a mais baixa, oferecendo autonomia total ao controlador durante o sequenciamento das aeronaves, sem que ocorram conflitos entre elas.

Figura 1. Esquema genérico do Point Merge System (configuração associada)



Fonte: Autores

O sistema como um todo, tem a função de integrar todos os tráfegos provenientes da TMA em um único ponto de confluência entre elas, utilizando-se da técnica de *Continuous Descent Approach (CDA)*.

Esta técnica tem como objetivo, reduzir as emissões de carbono e ruído através da utilização do conceito de aproximação ininterrupta. Esse conceito consiste em iniciar o procedimento de aproximação em uma posição otimizada no espaço aéreo, onde a aeronave poderá constantemente empregar a potência mínima para o procedimento, evitando a necessidade de um voo nivelado, ou utilização precoce de superfícies hipersustentadoras e speed brakes.

Ao todo, existem três fatores cruciais que irão influenciar na proporção de aeronaves que aplicam com sucesso o CDA, são eles: o gerenciamento de velocidade, gerenciamento de energia da aeronave, e as características do espaço aéreo. (EUROCONTROL, 2010).

1.1.1 Requisitos Operacionais

Quando tratamos de qualquer tecnologia inserida na aviação, diversos requisitos devem ser cumpridos por cada aeronave, de modo que todas se adequem aos novos parâmetros de segurança. No caso do PMS, os principais requisitos que devem ser atendidos pelas aeronaves são:

a) Performance básica das Aeronaves:

Para haver adequação com os requisitos operacionais dos procedimentos de STAR – Standard Terminal Arrival Route, as aeronaves necessitam de características operacionais que permitam o cumprimento de todas as restrições do procedimento, ou seja, os limites operacionais das aeronaves que integram o sistema, sejam de velocidade e/ou teto operacional, não podem estar abaixo dos mínimos especificados no procedimento.

b) PBN – *Performance Based Navigation*:

Para a utilização eficaz do sistema, é indispensável que a aeronave seja certificada para operações PBN. Isto significa que aeronaves com esse tipo de certificação, possuem condições de navegarem sem a necessidade de utilização de *waypoints* balizados por instrumentos de Rádio Navegação (VOR ou NDB). Isso proporciona a criação de *waypoints* baseados em WGS84, uma norma cartográfica que utiliza como referência o funcionamento do GNSS. (ICAO).

Sua utilização é fundamental durante o Point Merge System, visto que, os *waypoints* em WGS84 que constituem a arquitetura conceitual do sistema, permitem uma navegação de área mais complexa e extremamente precisa.

1.1.2 As diversas estruturas das pernas de sequenciamento

Considerando os requisitos existentes em cada espaço aéreo adepto ao sistema, é possível estabelecer diversas configurações de pernas de sequenciamento, entre elas:

a) Associadas:

Nesta configuração, a otimização do espaço em prol da capacidade é alta, porém a eficiência de sequenciamento é prejudicada. Além disso, nessa configuração, os riscos de resolução de tráfego no transponder são maiores.

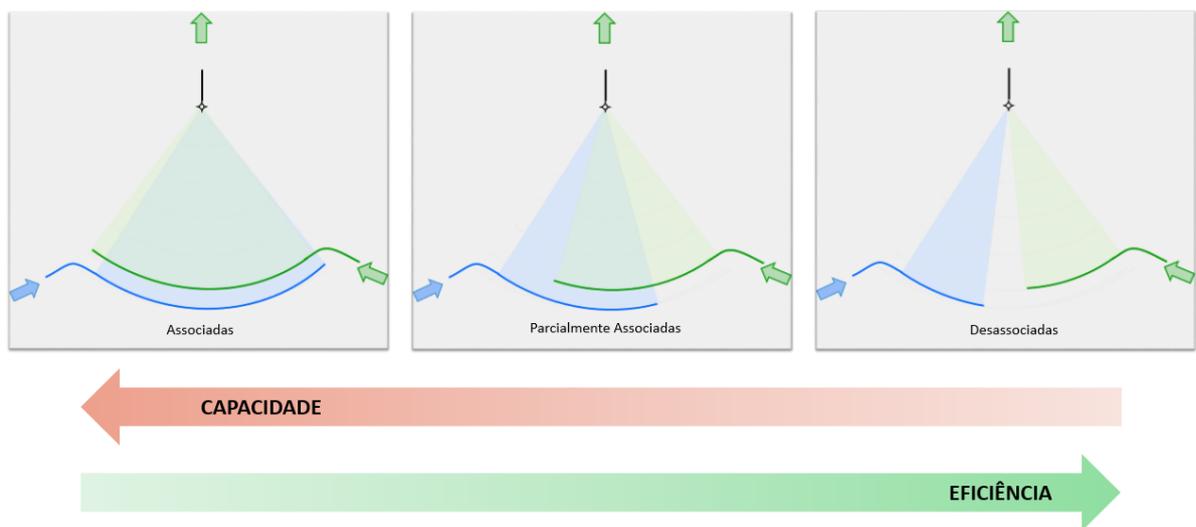
b) Desassociadas:

Nesta configuração, a capacidade de aeronaves em um único espaço aéreo é reduzida, porém, a eficiência do sistema é razoavelmente melhorada, visto que as pernas de sequenciamento não necessitam de separação vertical.

c) Parcialmente associadas:

Para essa configuração, ainda é necessária uma separação vertical entre as pernas de sequenciamento, por conta disso, a capacidade do sistema é alta, mas a eficiência é prejudicada.

Figura 2. Configurações de Pernas de Sequenciamento



Fonte: EUROCONTROL, 2021, (Adaptado pelos autores)

Além disso, ainda é possível a criação de um sistema que inclua dois pontos de confluência (*merge points*) entre aeronaves, onde a capacidade de aeronaves é significativamente aumentada, mas, em contrapartida, considerando esse tipo de arquitetura, é necessário um espaço aéreo de grande dimensão, com poucas restrições de obstáculos e de conflitos com outros espaços aéreos controlados. (EUROCONTROL, 2021).

1.2 TÉCNICAS DE CONFLUÊNCIA DE AERONAVES

Além da técnica de sequenciamento que é objeto desse estudo, o *Point Merge System*, ainda existem outras técnicas de sequenciamento muito difundidas na aviação, a principal e mais utilizada dentre elas, que será objetivo de comparação neste estudo, é chamada de vetoração.

1.2.1 Vetoração

Com o avanço tecnológico ao longo do desenvolvimento do meio de transporte aéreo, a aviação foi e continua sendo modernizada constantemente principalmente no que se refere a segurança operacional.

Para haver esse implemento cada vez maior na segurança foi necessário também uma melhora significativa na eficiência do espaço aéreo, ou seja, a diminuição da carga de trabalho dos pilotos e controladores no que se refere a navegação aérea. Com isso a implementação do sistema de Vetoração, trouxe para a aviação um índice de segurança mais elevado.

A Vetoração é o mais completo serviço radar proporcionado pelo controle de aproximação. Sempre que uma aeronave estiver sob Vetoração, será proporcionado o controle de tráfego aéreo onde o *ATCO – Air Traffic Controller* será responsável pela navegação integral da aeronave, devendo transmitir para a aeronave as orientações de mudança de proa e nível que forem necessárias.

A vetoração tem como objetivo evitar conflitos entre tráfegos, proporcionando o sequenciamento entre eles. O início da Vetoração é caracterizado pela informação do controle de que a aeronave está sob Vetoração. Para ocorrer uma Vetoração eficiente, deve ser utilizada a seguinte estrutura: identificação da aeronave, a expressão “Contato radar”, o propósito da vetoração, instruções e o limite da autorização em caso de falha de comunicações. O término da Vetoração é sempre caracterizado pela instrução de que o piloto reassuma a navegação ou chame outra frequência.

1.2.2 Os benefícios da adoção do Point Merge System

Ao se estabelecer os conceitos de Vetoração e *Point Merge System* como as principais ferramentas para a confluência de aeronaves, é possível evidenciar tanto suas diferenças quanto seus benefícios, baseando-se principalmente em suas características e aplicabilidade nos mais diversos espaços aéreos existentes, sejam de baixo ou alto fluxo de aeronaves.

A principal diferença operacional que se pode observar entre às duas técnicas de sequenciamento, está justamente na aplicação do conceito de aproximação ininterrupta (CDA), utilizada apenas no *Point Merge System*.

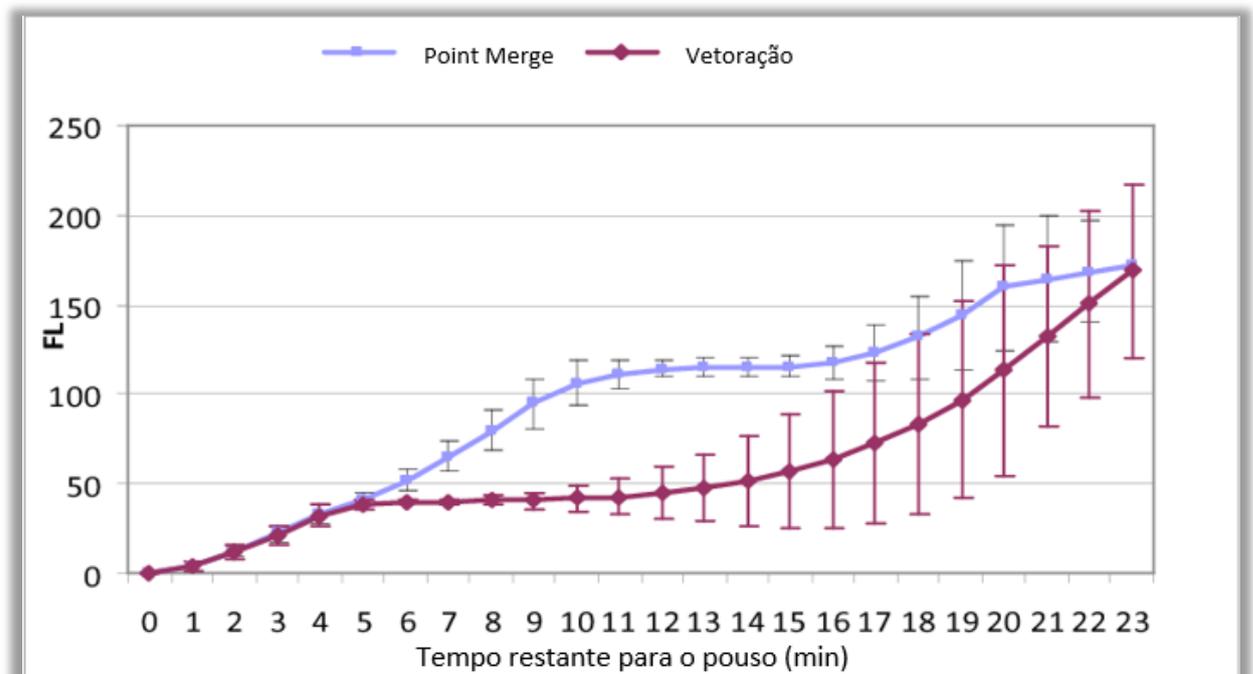
Ao considerar todos os dados estatísticos de pesquisas realizadas após a implementação do *Point Merge System*, é possível identificar diversos benefícios em comparação com o uso da vetoração.

Um dado extremamente relevante quando levamos em consideração a performance das aeronaves atuais, dita justamente sobre a relação entre altitude e tempo restante para o pouso, que sofre influência direta, da utilização da técnica de CDA.

Ao comparar uma aeronave sob vetoração com uma aeronave que realizava o procedimento de aproximação via PMS, houve uma diferença média de aproximadamente 6.000ft de distância vertical, no momento em que ambas estivessem a cerca de 10 minutos do toque na pista. (IVANESCU, et al., 2009)

Levando em consideração que a grande maioria das aeronaves que tem como destino o Aeroporto Internacional de Guarulhos, são aeronaves com motores a reação, a utilização de um ponto otimizado para início do procedimento de descida, considerando a aplicação do CDA, é responsável por uma redução significativa no gasto de combustível de cada aeronave durante todo o procedimento de aproximação.

Figura 3. Gráfico. Relação FL x Tempo para pouso



Fonte: IVANESCU, et al. p. 9 (2009) (Adaptado pelo autor)

É importante também ressaltar que por conceito, o PMS possui limitações de aplicabilidade. Um dos principais requisitos, que será discutido neste artigo, trata sobre a limitação de uso do sistema em aeroportos com baixo fluxo de aeronaves.

Por se tratar de uma ferramenta de sequenciamento lógico de aeronaves, com ênfase na redução da carga de trabalho das partes envolvidas, se pressupõe que para atingir um nível satisfatório de otimização, o sistema deve ser aplicado em regiões de alta densidade de tráfego aéreo, onde outras ferramentas de sequenciamento de aeronaves, como a vetoração, não possuem um alto nível de eficiência.

Em contrapartida, em TMAs com baixo fluxo de aeronaves, a aplicabilidade do *Point Merge System* se mostra pouco eficiente, visto que o custo de implementação e treinamento não são coerentes com o propósito de ser mais eficaz que a vetoração.

2 FASE DE IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

Neste capítulo, serão abordadas todas as implicações, sendo elas positivas ou negativas, da implementação e aplicação do Point Merge System, com o intuito de ressaltar o impacto proporcionado no espaço aéreo. Para discorrer sobre tais características, foi consultado os manuais e fóruns fornecidos e realizados digitalmente pela EUROCONTROL (2021), além dos artigos de: LEE, D. S. et al (2009), TIAN, Y. et al. (2020).

2.1 IMPACTO NO ESPAÇO AÉREO

A ascensão do *Point Merge System* desde sua criação pela EUROCONTROL (2012) revelou-se como uma ferramenta indispensável para os espaços aéreos congestionados. Isso pode ser notado através da implementação e operação regular dessa tecnologia em 38 aeroportos de 4 continentes diferentes. Foi através dessa ferramenta, que diversos dos aeroportos mais congestionados do mundo, conseguiram aumentar significativamente a vida útil e segurança dos espaços aéreos em que estão inseridos. (EUROCONTROL, 2022).

2.1.1 Aumento da vida útil do Espaço Aéreo

Através da otimização do fluxo de aproximações, o *Point Merge System* consegue, desde que com uma boa arquitetura do espaço aéreo, oferecer uma longa vida útil até mesmo para as TMAs mais congestionadas do mundo.

A otimização de um sistema como o PMS, deve ser considerada na fase de concepção do espaço aéreo, onde o esquema inicial do PMS é desenvolvido. Além disso, envolve a atuação em diversas frentes do projeto de implementação. As principais, que serão objetivo deste estudo são: Ajuste de Altitude, Ajuste de ângulo e Conformidade com Restrições:

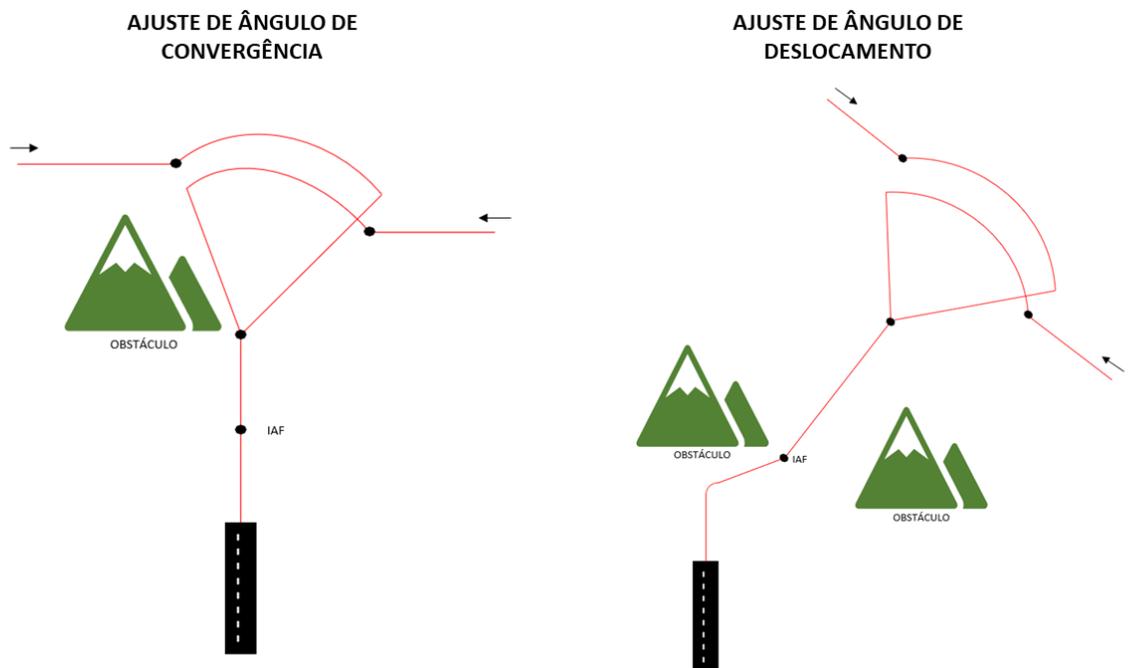
a) ajuste de altitude:

Essa fase de otimização do projeto, consiste no ajuste da altitude das pernas de sequenciamento de modo que as aeronaves não encontrem nenhuma restrição de performance. Além disso, é nessa fase de otimização que se deve garantir que o sistema possibilite que as aeronaves possam livrar todos os obstáculos de maneira de satisfatória e segura.

b) ajuste de ângulo:

Essa fase de otimização do projeto, consiste no ajuste de dois ângulos essenciais para a implementação do *Point Merge*. São eles: **ângulo de convergência**, nome dado ao ângulo de abertura das pernas de sequenciamento (30° até 120°), e o **ângulo de deslocamento**, que é o nome dado ao ângulo entre o *Point Merge* e o eixo da pista.

Figura 4. Ajustes de Ângulos durante implementação

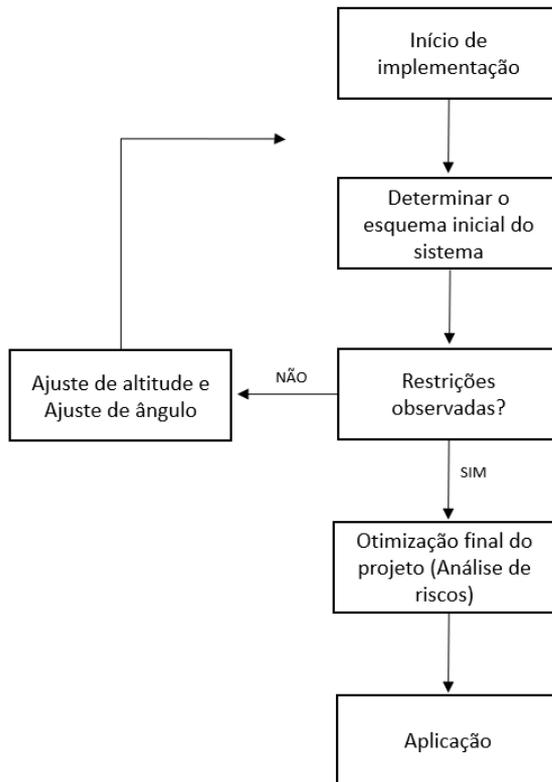


Fonte: Autores

c) cumprimento com as restrições existentes no espaço aéreo:

O último passo na otimização do projeto de implementação do PMS se dá na esfera de verificação, através de simulações, se o sistema será capaz de satisfazer todas as restrições existentes em um determinado espaço aéreo. Essa fase é crucial e determina a aplicabilidade, ou não, do sistema em determinada localização.

Figura 5. Fluxograma de Implementação do Point Merge System



Fonte: TIAN, Y. et al. (2020) (Adaptado pelo autor)

2.2. OBSTÁCULOS

Assim como qualquer inovação no sistema de tráfego aéreo, o *Point Merge System* enfrenta alguns obstáculos em comum durante a sua implementação. A existência dessas problemáticas, no entanto, não se demonstram como impedoras ou deficiências que possam contrapor a eficiência do sistema. Para fins de estudo, serão apresentadas as duas problemáticas mais incisivas para implementação do PMS, sendo elas:

2.2.1 Planejamento de combustível

Para a execução de procedimento de chegada e/ou aproximação existente, o tripulante técnico deve inserir todos os *waypoints* e restrições do procedimento no GPS da aeronave. Em contrapartida, nos procedimentos que envolvem o PMS, a inserção padrão dos *waypoints* acarretaria um planejamento de combustível que levaria em conta um *Trip Fuel* acima do que seria realmente utilizado no voo. Isso ocorre, devido ao próprio conceito do CDA, onde a aeronave raramente cumpre toda a rota prevista no procedimento do PMS.

A consequência de uma inserção padrão de *waypoints*, como em outros procedimentos previamente utilizados, levaria a um abastecimento de combustível extra desnecessário para o voo, prejudicando a performance de voo e aumentando, conseqüentemente, o peso e as emissões de carbono (MCCANN, 2021).

Isso pode ser constatado através do seguinte relato de um Piloto de Linha Aérea que regularmente opera procedimentos de aproximação no Aeroporto Internacional de Guarulhos, colhido através de um questionário:

O Planejamento de combustível foi impactado devido não sabermos se vamos ser encurtados ou se cumpremos a STAR completa, caso seja necessário o cumprimento completo, o impacto no consumo pode ser de até 500/600kg em um A320. (Piloto de Linha Aérea, 2022).

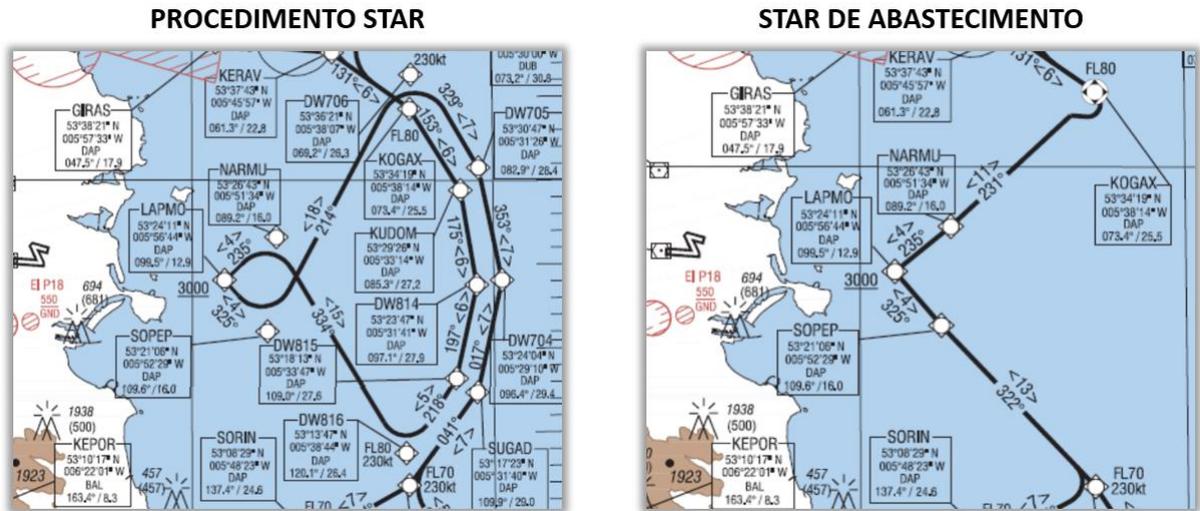
Em busca de contornar esse problema a OACI através do DOC 9976 (Planejamento de Voo e Administração do Combustível) permitiu que, durante o uso de procedimentos que envolvam o PMS, os operadores podem fazer uso de procedimentos específicos de chegada, chamados de *Fuelling STAR* (STAR de abastecimento).

A criação de uma carta STAR de planejamento de combustível surge como uma solução para o principal obstáculo regulamentar da implementação do PMS, sendo o abastecimento excessivo de combustível, na busca de adequar a aeronave a regulamentação vigente de *Trip Fuel*. Essa solução age, na prática, permitindo a inserção nos sistemas de navegação, de uma rota diferente da que será realmente voada pela aeronave.

Isso permite que as aeronaves integrantes do sistema possam calcular seu combustível de jornada (*Trip Fuel*) baseando-se na rota planejada da *Fuelling STAR*, evitando um abastecimento de combustível desnecessário para o voo.

Para a criação de determinado procedimento são levados em conta, todos os dados históricos dos operadores, onde se realiza uma média, do uso de combustível de contingência. Podem ser utilizados também, estatísticas publicadas pelos Provedores de Serviços de Navegação Aérea no que tangem ao número de pernas de sequenciamento que foram utilizadas ao longo de um determinado período de horas ou dias, por exemplo.

Figura 6. Comparação Procedimento STAR x Carta STAR de Abastecimento (Dublin, Irlanda)



Fonte: MCCANN, 2021 (Adaptado pelo autor)

3 OTIMIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES

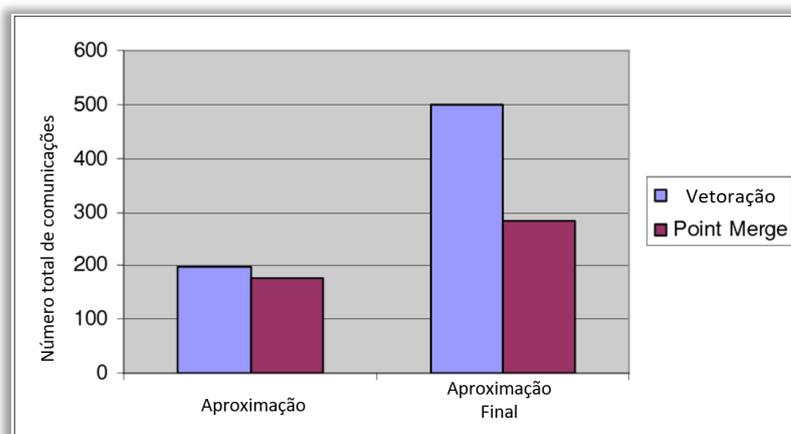
Este parágrafo tem como objetivo apresentar, através de dados estatísticos, a otimização proporcionada pelo PMS ao espaço aéreo em que é inserido. Para discorrer sobre este tema, foram utilizados artigos científicos de IVANESCU, et al. (2009), CAN; ICSA (2020), EUROCONTROL (2021), EUROCONTROL (2010) e (SKYBRARY, 2022).

Segundo Rangnes (2021), a implementação do PMS na Área de Controle Terminal de Oslo, proporcionou um aumento significativo na taxa de aproximações ininterruptas, que atingiu o valor de 52,4% em 2021, levando o Aeroporto Internacional de Oslo a liderar esse segmento no continente europeu. (EUROCONTROL, 2021).

Como observado anteriormente através do conceito de CDA, aproximações ininterruptas representam um grande avanço tecnológico principalmente no que tange a busca pela otimização máxima do espaço aéreo, onde rotas otimizadas de chegadas seriam responsáveis por diminuir os conflitos entre todas as aeronaves que integram uma dimensão do espaço aéreo.

Outro ponto importante que deve ser destacado sobre o sistema, é sua capacidade de reduzir significativamente a carga de trabalho das partes envolvidas na operação. Segundo pesquisa realizada por IVANESCU, et al. (2009), o número médio de comunicações entre uma aeronave e o controle de tráfego aéreo durante uma aproximação com PMS foi reduzida em aproximadamente 40% quando em comparação com outros procedimentos de aproximação na mesma localidade.

Figura 7. Comunicações Vetoração x Point Merge System



Fonte: IVANESCU, et al. p. 9 (2009) (Adaptado pelos autores)

Ademais, através de pesquisas realizadas via questionário com Pilotos de Linha Aérea que operam regularmente procedimentos de aproximação no Aeroporto Internacional de Guarulhos, constatou-se que 57,1% dos pilotos entrevistados entendem a adoção do sistema como uma mudança significativamente benéfica no âmbito da segurança de voo. Além disso, através de uma caixa de respostas aberta fora constatado que apesar de ainda existirem imperfeições na implementação do projeto, ele ainda se mantém como uma opção mais eficaz do que técnicas de sequenciamento de aeronaves utilizadas na mesma terminal.

3.1 IMPORTÂNCIA DO SISTEMA NA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO

Como pode-se observar, a implementação do PMS visa aumentar a eficiência dos procedimentos de aproximação por instrumentos. Com essa premissa, é inevitável, que a implementação desse sistema traga consequências benéficas para a aviação como um todo. No caso específico desse parágrafo, serão analisados os impactos positivos que o PMS pôde trazer para a redução nas emissões de carbono das aeronaves.

A implementação de um sistema de sequenciamento de aeronaves cujo objetivo é reduzir o tempo e a distância de aproximação, resulta conseqüentemente, em uma diminuição no consumo de combustível e emissões de carbono.

Ao considerar que a indústria global de aviação é responsável por cerca de 2,1% das emissões de carbono (CO²) no mundo e por 4,9% do impacto no aquecimento global, é necessário entender que esse setor possui um papel de grande importância na busca pelo “*Net Zero Emissions*”, programa desenvolvido pelas Nações Unidas em busca de reduzir as emissões de carbono e conseqüentemente aliviar as consequências do aquecimento global. (ELSEVIER, 2009).

Muitas tecnologias que reduzem a emissão de carbono das aeronaves já estão sendo desenvolvidas, porém, a maior parte delas está focada no aumento de eficiência energética dos motores, como por exemplo o *SAF – Sustainable Aviation Fuel*, os motores propulsados a hidrogênio líquido, etc.

Em contrapartida, poucas foram as soluções encontradas e implantadas diretamente no ATM – Air Traffic Management, uma delas é o *Point Merge System*.

Em levantamentos realizados no Aeroporto Internacional de Dublin, onde o Point Merge foi implementado em 2012, observamos uma redução média de 19% nas emissões de carbono por aproximação (EUROCONTROL, 2021).

Se utilizarmos essa redução de 19% como base para um estudo de caso em São Paulo (GRU), observamos uma redução média de 1% na queima de combustível (em kg) por voo, dessa maneira, considerando um voo entre Natal - NAT e São Paulo - GRU, utilizando uma aeronave *Airbus A320*, teríamos uma redução média de queima de combustível de aproximadamente 101 kg por voo.

Esse número revela-se extremamente positivo na busca por frear o crescimento das emissões de carbono na aviação, que no último levantamento girava em torno de 4,3% ao ano pelos próximos 20 anos (CAN; ICSA, 2020).

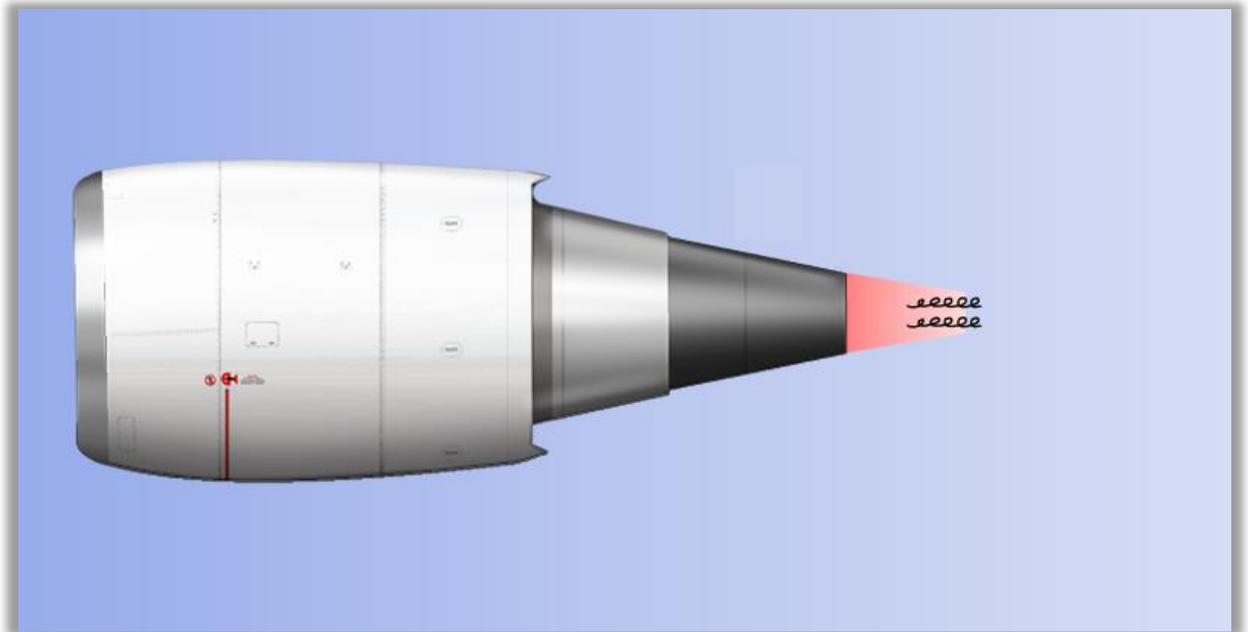
3.2 REDUÇÃO DE RUÍDO

Quando tratamos sobre os perigos à saúde decorrentes da presença de ruído emitido por aeronaves, deve-se conceituar, primeiramente, as causas para determinado problema.

Atualmente as aeronaves mais empregadas para o transporte aéreo regular de passageiros, são aeronaves propulsadas por motores a reação. Este tipo de propulsão possui como particularidade, transformar uma pequena parcela de ar em uma grande massa de ar comprimido, resultando em uma rápida expansão de gases, e conseqüentemente no empuxo.

Isto, portanto, possui como consequência uma grande elevação da temperatura dessa massa de ar, que ao ser lançada contra a atmosfera (calma e fria) gera potentes redemoinhos de ar. Uma das maiores preocupações acerca desses redemoinhos de ar é o alto e agudo ruído que eles provocam nos arredores.

Figura 8. Representação da emissão de ruídos de um motor a reação



Fonte: TDA AERO (Adaptado pelos autores)

Com o avanço das pesquisas científicas focadas na qualidade de vida urbana, fora notado um grande problema que seria um dos fatores ambientais mais contribuintes para a existência de problemas de saúde coletivos no século XXI: A poluição sonora.

Estima-se que por ano, apenas no continente europeu, cerca de 12.000 pessoas percam suas vidas de maneira precoce por doenças relacionadas a exposição contínua à poluição sonora. Em busca de combater esse problema, estados ao redor do mundo estão estabelecendo regulamentos específicos para o tema, afetando direta e indiretamente a indústria da aviação. (EEA, 2020).

A Organização Mundial da Saúde – OMS revelou através do *Environmental Noise Guidelines* que o nível de ruído contínuo máximo tolerável para a saúde humana não deve ultrapassar a marca de 45 dB durante o dia e 40dB durante o período noturno. (WHO, 2018).

Em contrapartida, estima-se que pessoas que habitam nos arredores de aeroportos movimentados, estejam expostas diariamente a uma considerável quantidade de eventos superiores à 70dB.

Quando se discorre sobre regulamentação de ruídos produzidos por aeronaves no Brasil, todos os principais pontos e tabelas são abordados pelo RBAC 161, que estabelece a criação do CGRA - Comissões de Gerenciamento de Ruído Aeronáutico em aeroportos com fluxo médio anual de aeronaves maior que 7.000.

A CGRA é responsável por reunir todos os órgãos externos envolvidos no gerenciamento do ruído aeronáutico. Sendo assim, a participação do CGNA – Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea, na proposição de novas tecnologias como o PMS e o CDA, capazes de reduzir os níveis de ruído em áreas próximas ao aeroporto, é extremamente importante.

Através da otimização contínua das operações aéreas, o PMS, diante de sua arquitetura tridimensional pré-disposta e a aplicação do conceito de CDA, proporciona as aeronaves em fase de aproximação, a possibilidade de realizarem esse procedimento em uma altitude mais elevada, o que conseqüentemente gera uma redução significativa na emissão de ruídos pelas aeronaves.

Manter uma aeronave o mais alto possível, pelo maior período possível, pode ser mais eficaz em reduzir as emissões de ruídos no solo do que qualquer técnica de aproximação com Potência/Arrasto reduzido. (EUROCONTROL, 2010 ,p.5).

3.3 POINT MERGE COMO FERRAMENTA NA SEGURANÇA DE VOO

Considerando a conceituação do sistema, onde as aeronaves convergem para um mesmo *waypoint* WGS84 pré-determinado no espaço aéreo, há uma redução considerável na carga de trabalho das partes envolvidas, principalmente dos controladores de tráfego aéreo, em vista que as aeronaves que integram ao PMS, já possuem prévio conhecimento do procedimento de aproximação que irão executar, evitando comunicações desnecessárias nas frequências do controle de aproximação.

Adiciona-se também, o fato de que, nessa circunstância, os controladores de tráfego aéreo possuem uma maior liberdade para a supervisão das aeronaves, algo que é reduzido em TMAs que utilizam a vetoração como ferramenta principal de sequenciamento de aeronaves.

Considerando um alto nível de carga de trabalho para um controlador de tráfego aéreo, depara-se com potenciais conseqüências como a diminuição da consciência

situacional, erros de julgamento e episódios de confusão mental. Estes fatores, por consequência, evidenciam uma clara diminuição nos parâmetros de segurança de voo. (SKYBRARY, 2022).

Através de um SGSO – Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional eficaz, é possível identificar os episódios contínuos de alta carga de trabalho como falhas latentes do ATM. Sendo assim, é possível colocar em prática um plano de resposta que busque medidas de mitigação para eventos como esse. Algumas delas são: A criação de regiões de tráfego setorizadas, a criação de equipes de back-up, e a divulgação ostensiva dos SOP – Standard Operational Procedures. (SKYBRARY, 2022).

Analisando os dados divulgados pelo Painel SIPAER, observa-se a ocorrência de 14 incidentes, e 1 incidente grave relacionados ao Gerenciamento de Tráfego Aéreo (ATM), durante o período entre 2012 e 2022. Apesar deste dado não ser alarmante no ponto de vista operacional, o foco na mitigação de incidentes e acidentes relacionados ao ATM deve ser mantida, levando em conta o objetivo principal do Gerenciamento da Segurança Operacional, que é a melhora contínua no nível geral da segurança operacional.

CONCLUSÃO

O objetivo final desta pesquisa foi demonstrar, através de uma detalhada análise dos dados, a importância da implementação de um sistema revolucionário no campo da segurança do espaço aéreo, evidenciando sua capacidade de otimização das operações, de maneira proporcional ao aumento da segurança da atividade aérea em espaços aéreos congestionados.

Com o objetivo de ratificar a importância da otimização das operações aéreas no século XXI, a pesquisa também abordou os aspectos ambientais na adoção de um sistema que insere sistematicamente, técnicas de redução de ruídos, bem como de redução na queima de combustíveis fósseis.

Por fim, diante do exposto, conclui-se através de uma análise de dados operacionais, que a adoção do *Point Merge System* como ferramenta de sequenciamento de aeronaves em espaços aéreos de alto fluxo, coloca-se como um método de alto potencial no aumento na segurança operacional.

A fim de uma análise local com maior profundidade, seria significativo, em uma pesquisa futura, utilizando-se de dados mais concisos sobre a implementação do *Point Merge System* na TMA-SP NEO, a realização de um levantamento pontual sobre os benefícios proporcionados para este espaço aéreo, ressaltando os dados operacionais que evidenciam uma melhora significativa na segurança operacional e nos aspectos ambientais.

REFERÊNCIAS

- ANAC. RBAC nº 161, de 1 de abril de 2021. **PLANOS DE ZONEAMENTO DE RUÍDO DE AERÓDROMOS – PZR**, 1 abr. 2021. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-161/@@display-file/arquivo_norma/RBAC161EMD01.pdf. Acesso em: 18 out. 2022.
- CAN; ICSA. *Executive Summary. In: Climate action network; International Coalition for Sustainable Aviation. Contribution Of The Global Aviation Sector To Achieving Paris Agreement Climate Objectives.* 2020. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/156_CAN%20ICSA%20Aviation%20TD%20submission.pdf. Acesso em: 20 set. 2022.
- EUROCONTROL. *Report No. 2010-012. Real Time Simulation Dublin TMA2012 Phase 2: Implementation of a Point Merge System in Dublin TMA*, 12 nov. 2010.
- EUROCONTROL. **Stakeholder Forum on Point Merge**. 19 mai. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=R9vvouUCHXU&ab_channel=EUROCONTROL > Acesso em: 25 ago. 2022.
- EUROCONTROL. **Point Merge implementation: A Quick Guide**. [S. l.: s. n.], 2021. 15 p. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/publication/point-merge-implementation>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- GALLAGHER, T. **Noise pollution: How are airports and airlines addressing the issue?** Disponível em: <https://www.euronews.com/next/2021/11/16/noise-pollution-how-are-airports-and-airlines-addressing-the-issue>>. Acesso em: 1 out. 2022.
- GIOVANINI, A. **Datum WGS84: O Que é e Versões?** Disponível em: <https://adenilsongiovanini.com.br/blog/datum-wgs84-o-que-e-parametros-e-versoes/>>. Acesso em: 6 out. 2022.
- ICAO. **Carbon Emissions Calculator**. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 18 set. 2022
- ICAO. **Performance based navigation (PBN)**. Disponível em: <https://www.icao.int/APAC/APAC-RSO/Pages/PBN.aspx>>. Acesso em: 4 out. 2022.
- IVANESCU, D. et al. **Models of air traffic merging techniques: Evaluating performance of point merge**. *9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO)*. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/256497459_Models_of_Air_Traffic_Merging_Techniques_Evaluating_Performance_of_Point_Merge#pf4> Acesso em: 15 ago. 2022
- LEE, D. S. et al. *Aviation and global climate change in the 21st century. Atmospheric environment* (Oxford, Inglaterra: 1994), v. 43, n. 22, p. 3528, 2009.
- MCCANN, Paul. *Point Merge: The Dublin Story*, in *Stakeholder Forum on Point Merge*. 2021. **Anais Eletrônicos** [...]. Disponível em:

<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-05/sf-point-merge-iaa.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

SKYBRARY. **Controller workload**. Disponível em: <<https://www.skybrary.aero/articles/controller-workload>>. Acesso em: 21 oct. 2022.

TIAN, Y. et al. *Study on the optimization method of point merge procedure based on benefit in the terminal area*. **Mathematical problems in engineering**, v. 2020, p. 1–12, 2020. Acesso em: 15 ago. 2022.

UNIÃO EUROPÉIA, *European Environment Agency*. **Number of Europeans exposed to harmful noise pollution expected to increase**. 2020. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/highlights/number-of-europeans-exposed-to>>. Acesso em: 14 out. 2022.

APÊNDICE A – Questionário para a coleta de dados

O presente questionário destina-se à coleta de dados para a elaboração do trabalho de conclusão de curso do curso de Aviação Civil.

1) Considerando a implementação da TMA-SP NEO (2021), você considera que a carga de trabalho de um piloto...

- Aumentou consideravelmente
- Aumentou um pouco
- Permaneceu a mesma
- Diminuiu um pouco
- Diminuiu consideravelmente

2) Em sua opinião, o uso do Point Merge, em comparação com a vetoração é:

- Menos eficaz
- Tão eficaz quanto
- Mais eficaz

3) Na sua concepção, você concorda ou discorda da afirmação a seguir: “A implementação do Point Merge System ofereceu uma melhora significativa na segurança de voo”

- Concordo
- Não concordo

4) Você observou alguma desvantagem na implementação do Point Merge System?

- Sim
- Não