

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

JOSÉ GABRIEL SANTOS FIDELIS

SUSTENTAÇÃO POR POTÊNCIA: UMA NOVA PERSPECTIVA PARA A MOBILIDADE
URBANA

GOIÂNIA
2025

JOSÉ GABRIEL SANTOS FIDELIS

SUSTENTAÇÃO POR POTÊNCIA: UMA NOVA PERSPECTIVA PARA A MOBILIDADE
URBANA

Artigo apresentado à Pontifícia Universidade Católica de
Goiás como exigência parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Orientador: Prof. Andréluiz da Silva Fernandes

GOIÂNIA
2025

JOSÉ GABRIEL SANTOS FIDELIS

SUSTENTAÇÃO POR POTÊNCIA: UMA NOVA PERSPECTIVA PARA A MOBILIDADE
URBANA

GOIÂNIA-GO, 13/06/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Andréluiz da Silva Fernandes _____	CAER/PUC-GO _____
Assinatura	Nota
M. Sc. Salmen Chaquip Bukzem _____	CAER/PUC-GO _____
Assinatura	Nota
Esp. William de Carvalho Xavier _____	CAER/PUC-GO _____
Assinatura	Nota

SUSTENTAÇÃO POR POTÊNCIA: UMA NOVA PERSPECTIVA PARA A MOBILIDADE URBANA

José Gabriel Santos Fidelis¹
Andréluiz da Silva Fernandes²

RESUMO

Este estudo avaliou o estado da arte referente ao desenvolvimento da tecnologia das aeronaves de sustentação por potência, assim como a sua relação com a Mobilidade Aérea Urbana (UAM). Por meio do referencial teórico foi mostrado uma breve história da aviação e o histórico de desenvolvimento dos VTOLs (aeronaves que decolam e pousam verticalmente), assim como foram apresentados os conceitos necessários para o entendimento da totalidade da pesquisa e o cenário da aviação civil brasileira e do táxi aéreo no Brasil. Em seguida, apresenta-se os resultados, os quais: explicam como funciona o voo dessas aeronaves; exemplificam os modelos que estão em processo de certificação; expõem os desafios e os impactos positivos potenciais decorrentes do uso das aeronaves de sustentação por potência. Diante disso, conclui-se que há esforços significativos sendo feitos por todas as esferas (industrial, governamental e societal) para que a tecnologia dos VTOLs seja inserida no contexto urbano da maneira eficiente e segura, o que viabilizará o transporte de pessoas e cargas rapidamente entre pontos diferentes das cidades e atenderá emergências em lugares de difícil, assim trazendo benefícios para a sociedade, para a aviação civil, para o mercado aéreo e para o desenvolvimento da infraestrutura urbana.

Palavras-Chave: VTOL (Vertical Take-Off and Landing); UAM (Mobilidade Aérea Urbana); AAM (Mobilidade Aérea Avançada); Sustentação por Potência; ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil; FAA (Federal Aviation Administration); V-22; Vertiporto; Certificação.

¹Graduando em Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás. E-mail: josegabrielstf@hotmail.com.

²Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Advogado e Professor da Escola Politécnica e de Artes no curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

POWERED-LIFT: A NEW PERSPECTIVE FOR URBAN AIR MOBILITY

ABSTRACT

This study evaluated the state of the art regarding the development of powered-lift aircraft technology, as well as its relationship with Urban Air Mobility (UAM). Through a theoretical framework, a brief history of aviation and the development timeline of VTOLs (vertical takeoff and landing aircraft) were presented, along with the necessary concepts for a comprehensive understanding of the research and the current state of Brazilian civil aviation and air taxi services in Brazil. Subsequently, the results are presented, which: explain how these aircraft operate; provide examples of models undergoing certification; and outline the challenges and potential positive impacts resulting from the use of powered-lift aircraft. Based on this, it is concluded that significant efforts are being made by all sectors (industrial, governmental, and societal) to integrate VTOL technology into the urban context in an efficient and safe manner. This will enable the rapid transportation of people and cargo between different points in cities, as well as emergency response in hard-to-reach areas, thereby bringing benefits to society, civil aviation, the air transport market, and urban infrastructure development.

Keywords: VTOL (Vertical Take-Off and Landing); UAM (Urban Air Mobility); AAM (Advanced Air Mobility); Powered-lift; ANAC (Brazilian Civil Aviation National Agency), FAA (Federal Aviation Administration); V-22; Vertiport; Certification.

1. INTRODUÇÃO

A aviação civil é parte fundamental para o desenvolvimento de um Estado, ela permite o deslocamento interno e externo de pessoas e mercadorias, viabilizando as mais diversas trocas possíveis, seja ela profissional, pessoal ou cultural. Nenhum modal de transporte consegue atingir o grau de agilidade, eficiência e segurança que o modal aéreo possui.

Mesmo apresentando as vantagens mencionadas acima, a aviação civil ainda é muito cara e restrita em relação às áreas de atuação. Os maiores aeroportos estão localizados em campos cada vez mais distantes das cidades, o que inviabiliza a utilização do modal aéreo para o uso interno de empresas e pessoas dentro daquele ambiente urbano.

À medida que os grandes centros urbanos vão crescendo, tanto na construção quanto na densidade de pessoas, a movimentação interna de veículos se torna cada vez mais congestionada e lenta. Desse modo, as modernas cidades anseiam por novas soluções que possam agilizar a movimentação de pessoas e cargas para diferentes partes da cidade com rapidez.

Sob essa ótica, a pesquisa pretende responder à questão: como o desenvolvimento das aeronaves de sustentação por potência influenciará a Mobilidade Aérea Urbana no Brasil e quais benefícios trará para as cidades grandes?

Apresenta-se como justificativa da pesquisa analisar como as aeronaves de sustentação por potência poderiam trazer boas perspectivas para esse cenário urbano congestionado. Tais aeronaves podem ser usadas como um táxi aéreo rápido entre pontos distantes de uma mesma cidade, podem ser usadas como forma de entrega de bens e medicamentos de forma remota, assim como podem ser usadas para transportar enfermos rapidamente entre hospitais etc. Os possíveis usos acima mencionados trariam benefícios para o comércio, para o mercado aéreo e para o desenvolvimento da infraestrutura urbana.

O objetivo geral do estudo é avaliar a possibilidade da implementação de aeronaves de sustentação por potência no transporte de pessoas e de carga no ambiente das cidades grandes. Amparado nesse aspecto geral, a pesquisa também pretende:

- Demonstrar a trajetória histórica do desenvolvimento das aeronaves de sustentação por potência;
- Explicar como funciona o voo desse tipo de aeronave;
- Identificar o processo de certificação de tipo dessas aeronaves;

- Apresentar aviões VTOL (vertical take off and landing) que já estão em uso na atualidade;
- Reconhecer os projetos que estão em processo de certificação;
- Descrever os desafios para a implementação da mobilidade aérea avançada no Brasil;
- Analisar os possíveis impactos positivos da implementação da sustentação por potência no ambiente urbano.

Desse modo, é razoável levantar a hipótese que a certificação das aeronaves de sustentação por potência possibilitará o desenvolvimento das cidades ao estimular a construção de vertiportos e possibilitar um movimento mais rápido e eficiente de pessoas e carga na área urbana.

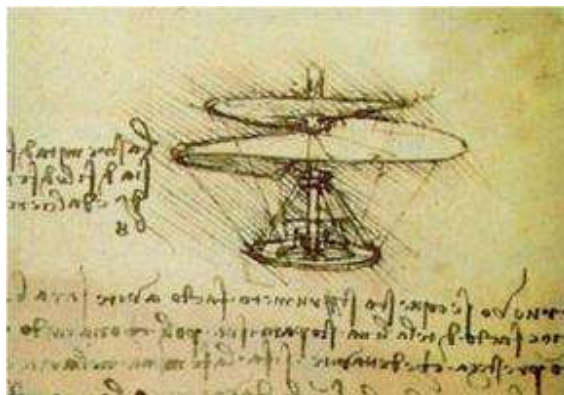
A presente pesquisa possui relevância ao mercado do transporte aéreo e ao desenvolvimento das cidades, pois analisará como esse tipo de aeronave conseguirá juntar o alcance dos aviões, com a operação em lugares de difícil acesso dos helicópteros para possibilitar que novas formas de transporte de pessoas e carga seja possível em centros urbanos densamente populados e construídos.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 BREVE HISTÓRICO DA AVIAÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, os humanos sempre observavam e admiravam os pássaros, encantando-se com a majestosa arte de voar. Um dos primeiros cientistas que tentou propor cientificamente um meio para voar com aeronaves mais pesadas que o ar foi o Leonardo Da Vinci (1452-1519). Da Vinci foi a primeira pessoa a conceber a ideia do helicóptero, uma aeronave capaz de levantar voo vertical a partir do solo. No entanto, somente quatro séculos após isso que o primeiro voo foi realizado, no dia 23 de outubro de 1906 por Alberto Santos Dumont. (NASA, 2013)

Figura 1 – Helicóptero helicoidal concebido por Da Vinci



Fonte: NASA, 2013

Santos Dumont revolucionou a história da aviação ao inventar uma aeronave mais pesada que o ar, a qual voava por meios próprios. Seu voo em torno do campo de Bagatelle, em Paris, foi público e contava com milhares de espectadores. A partir desse momento histórico, o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos aviões se deu de forma acelerada, de tal forma que eles foram utilizados em grande escala durante a 1ª Grande Guerra Mundial. (ALCOFORADO, s.d.)

O desenvolvimento do helicóptero, por sua vez, demorou alguns anos a mais que o do avião. Em 1907, Louis Charles Breguet voa pela primeira vez seu helicóptero, porém a máquina só levantou alguns pés acima do solo. Ademais, Breguet tivera problemas com a estabilidade e controle. Somente nos anos subsequentes que os avanços no desenvolvimento do helicóptero permitiram a sua consolidação. (BO; MIRANDA, 2004).

O helicóptero rapidamente se tornou um veículo essencial para uso civil e militar, pois permitia a operação em praticamente qualquer lugar, devido a sua capacidade de voar a baixas velocidades e baixas altitudes. Todavia, era uma aeronave com limites quanto ao alcance e carga suportada. Diante das limitações apresentadas pelos helicópteros, e as capacidades dos aviões, surgia uma nova ideia: a possibilidade de uma aeronave que juntava a decolagem, pouso e voo pairado do helicóptero com a velocidade, capacidade de carregamento e alcance dos aviões. (NASA, 2013)

2.2 DESENVOLVIMENTO DOS VTOLS

As pesquisas sobre a tecnologia das aeronaves VTOL (aeronaves que pousam e decolam na vertical) começaram nos Estados Unidos, no final da década de 40/ começo da década de 50, com o Programa Converteiplano, que unia esforços da força aérea e exército estadunidense para desenvolver novas tecnologias aéreas. Em 1953 o exército/força aérea norte-americano juntamente com a Bell Helicopter constroem o primeiro modelo do Bell XV-3 (NASA, 1991), uma aeronave experimental que voou até o ano de 1966. Sua intenção era provar a solidez desse novo modal aéreo e promover a geração de dados técnicos que seriam usados para construir modelos futuros melhores e mais avançados. Os primeiros testes de voo pairado foram realizados em 1955.

No entanto, o XV-3 apresentara diversos problemas de estabilidade como: instabilidade lateral no voo pairado com efeito solo e instabilidade longitudinal no voo horizontal em velocidades de mergulho etc.; os quais não conseguiram ser prontamente resolvidos com os métodos empíricos tradicionais de análise, experimentação e tentativa e erro. É importante mencionar que naquela época não havia computadores e programas que podem simular a aerodinâmica e o comportamento das partes do avião. A partir disso, o programa de pesquisa estava ameaçado, os apoiadores do projeto se perguntavam se aquela tecnologia era realmente possível diante do que havia naquele tempo. Uma solução teria que ser encontrada para esses problemas. Um design futuro deve ser capaz de operar em sítios não preparados, com performance e maneabilidade decentes em baixa velocidade (como um helicóptero); performance e estabilidade satisfatória em modo avião. (ARDC, 1959)

Apesar disso, o programa de pesquisas continuou por aqueles da indústria e do governo que ainda acreditavam no conceito e no potencial dessas aeronaves e que estavam dispostos a arriscar seus investimentos. Várias mudanças foram feitas no projeto da aeronave, como por exemplo trocar o rotor de 3 pás para um de 2 pás, além disso, o governo decidiu levar a aeronave para o túnel de vento do Laboratório Aeronáutico Ames do NACA (Comitê Consultivo Nacional de Aeronáutica) estadunidense. Durante esse período de testes mais mudanças foram feitas com vistas à melhora da estabilidade. Em 1959, o XV-3 foi transportado para a Base da Força Aérea Edwards, onde o Major Robert Ferry conduziu testes governamentais da aeronave. O relatório produzido afirma que o *tiltrotor* possuía muitas deficiências na performance e nas qualidades do voo, porém o seu conceito é operacionalmente possível com segurança e complexidade comparáveis a um helicóptero. (NASA, 2013)

Nos anos que se seguiram, muitos estudos foram feitos para aperfeiçoar o rotor e suas pás, visando atingir performance adequada tanto no “modo helicóptero”, quanto no “modo avião”. Dessa forma, na década de 1970 a NASA se junta a Boeing e a Bell para desenvolver uma nova aeronave que consertará os problemas encontrados na versão anterior, um modelo matemático para simulação e um túnel de vento para testes.

A nova aeronave precisaria ser desenvolvida praticamente do zero, incluindo coisas como: motores, transmissão, células de combustível, controles de voo, sistema de ejeção, sistema de monitoramento de dados etc. Para isso inúmeras empresas eram subcontratadas para proporcionar cada parte do projeto. A perseverança das pessoas que continuaram acreditando na pesquisa foi recompensada com melhorias técnicas, novos materiais e novas tecnologias que possibilitaram o desenvolvimento do mais novo projeto, o XV-15. (NASA, 2013)

Em 1972, com auxílios financeiros da NASA e exército estadunidense, a empresa Bell Helicopter Textron (hoje somente Bell) começou o desenvolvimento do XV-15, uma aeronave *tiltrotor* de pesquisa bimotora. Duas versões foram produzidas para demonstrar a operacionalidade do design *tiltrotor* e possíveis aplicações civil e militar.

Antes de seu primeiro voo oficial, o XV-15 foi intensamente testado no túnel de vento e em testes em que a aeronave é elevada, porém mantém-se amarrada a uma estrutura presa ao chão. Em 1977, após numerosos testes de sistema e táxi no solo, a aeronave sai do chão pela primeira vez. Os pilotos performam um voo pairado sobre a pista e aumentam a potência para elevar-se na atmosfera. Logo em seguida, diminuem a potência e voltam novamente ao chão. Diante desse voo, percebeu-se uma maneabilidade satisfatória e esforços estruturais seguros. Em voos subsequentes testou-se a controlabilidade lateral e direcional em um voo pairado sobre um ponto fixo. Após esses momentos, a aeronave foi mandada novamente para mais testes em túneis de vento, que gerariam dados úteis para novas mudanças estruturais para aperfeiçoar o projeto.

Os resultados obtidos a partir dos testes foram bastante importantes, porém a aeronave ainda apresentava múltiplos problemas a serem resolvidos. Todavia, o projeto estava com pouca verba para poder continuar os trabalhos. Felizmente a marinha estadunidense decidiu entrar com recursos e analisar a possibilidade do uso desse tipo de aeronave nas suas bases marítimas, devido ao potencial de pouso e decolagem curto do *tiltrotor*. Os testes continuaram com mudanças incrementais e seguras, até que em 1979 a aeronave fez sua primeira transição de voo vertical para voo horizontal. Em 1981 a aeronave foi mostrada no Show Aéreo de Paris em Le Bourget. Em

1982 fez voos de testes militares, usando manobras para desviar de dispositivos “inimigos”. Inúmeros voos demonstrativos seguiram.

Era a primeira vez que o governo estadunidense escrevera especificações e patrocinava a introdução de um novo tipo de aeronave no mercado de aviação norte-americano. Os projetos da Bell foram os pioneiros na tecnologia *tiltrotor* e mostraram para o mundo que não só esse tipo de aeronave era possível como também apresentava novas utilidades para a aviação civil e militar. (NASA, 2013)

Após os aprendizados com o XV-3 e o XV-15, o Departamento de Defesa (DoD) dos Estados Unidos se aliou novamente com a empresa Bell Helicopter e a Boeing para produzir uma aeronave mais robusta que seria usada pelo Corpo de Fuzileiros Navais dos Estados Unidos para missões militares. Em 1990 foram produzidos os primeiros protótipos do V-22 Osprey, os quais demonstraram rapidamente a versatilidade dos tiltrotores. (BOLKCOM, 2002)

Mesmo diante do conhecimento adquirido nas décadas anteriores, o V-22 em seus primeiros anos demonstrou instabilidade durante transições de alta e baixa velocidades. Esses desafios levaram a diversas mudanças nos sistemas de controle e no projeto estrutural. Os testes foram gradualmente melhorando ao longo da década de 90, porém, diante de alguns acidentes e colisões fatais (como o ocorrido em 20 de julho de 1992, onde um protótipo do V-22 colidiu na área do rio Potomac, matando 7 fuzileiros navais) muitos começaram a desacreditar da segurança dessa aeronave, o que causou um atraso significativo no seu desenvolvimento. (MARK, 1997)

Apesar disso tudo, o potencial do V-22 era enorme: um veículo aéreo versátil de alta performance que poderia operar nos mais diversos territórios. O governo estadunidense continuaria a investir na concepção dele, dessa vez focado em melhorar sua confiança, particularmente nas transições de voo e melhorando os aspectos de segurança. (GAO, 2009)

Malgrado a concepção caótica, o V-22 eventualmente conseguiu autorização para seu uso operacional. O Corpo de Fuzileiros Naval (Marine Corps) estadunidense começou a usar o avião em combate nos anos 2000, e ele se provou bastante valioso em várias missões, incluindo transporte de tropas, entrega de carga militar, e operações de busca e salvamento. (GERTLER, 2009)

2.3 CONCEITUAÇÃO

A ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), define aeronave como “um dispositivo que é usado ou que se pretenda usar para voar na atmosfera, capaz de transportar pessoas e/ou coisas” (ANAC, 2024)

A partir dessa classificação genérica, pode-se dividi-las em dois grandes grupos, os aeróstatos e os aeródinos. Aeróstatos são aeronaves mais leves que o ar, que navegam na atmosfera a partir do princípio de arquimedes, o qual discorre sobre a força imprimida por um fluido sobre um corpo imerso nele. Esse princípio exprime que a força, chamada de empuxo, é igual ao peso do volume de líquido deslocado pelo corpo. É devido a esse fenômeno que os icebergs conseguem flutuar sobre as águas de um oceano, os barcos conseguem navegar sobre os mares e os balões e dirigíveis podem ascender. (BARBOSA; BREITSCHAFT, 2006)

Por sua vez, os aeródinos são aeronaves mais pesadas que o ar, as quais se deslocam pela atmosfera a partir de uma diferença de pressão na asa. Parte da sustentação se dá pelo diferencial de pressão gerado pelo escoamento de ar no intradorso e extradorso da asa, e outra parte é gerada pelo deslocamento do fluido do ar para baixo, impulsionando o aerofólio para cima. (HOMA, 2013)

Dessa forma, as aeronaves de sustentação por potência são aquelas capazes de “decolar e pousar na vertical e voar com baixa velocidade, e que depende principalmente de dispositivos de sustentação acionados pelo motor ou do empuxo do motor para sua sustentação nesses regimes de voo e de aerofólios não rotativos para sua sustentação em voo horizontal.” (ANAC, 2024). São exemplos dentro dessa modalidade: convertiplanos do tipo *tiltrotor* e *tilt-wing* e girodino.

Os *tiltrotors* – do inglês “*tilt*” (inclinar) - são aeronaves que possuem rotores móveis e inclináveis capazes de gerar sustentação ou tração, dependendo de sua posição. Elas combinam as vantagens de poder pousar e decolar na vertical, assim como um helicóptero, com o impulso para frente, alcance e carga paga de uma aeronave de asa-fixa (avião). Essas aeronaves proverão à indústria aeronáutica flexibilidade, trazendo alta velocidade, maior alcance, possibilidade de operação em pistas curtas ou lugares desprovidos de pista. (NASA, 2013)

No que tange as aeronaves *tilt-wing* – do inglês *tilt* (inclinar) e *wing* (asa) - elas são muito semelhantes às aquelas mencionadas no parágrafo anterior, são híbridos entre helicópteros e aviões. No entanto, as aeronaves *tilt-wing* rotacionam a asa inteira, não somente os motores. Para o voo de cruzeiro a asa permanece na posição horizontal, enquanto para a decolagem e pouso a asa se inclina para a posição vertical. Ao rotacionar a asa juntamente com o rotor, há uma melhora no fluxo

aerodinâmico que passa pelas superfícies da aeronave, o que ajuda na transição do voo pairado para o voo horizontal. (ÇETINSOY, et al., 2011)

Figura 2 - aeronave do tipo tiltwing



Fonte: Larson, 2020

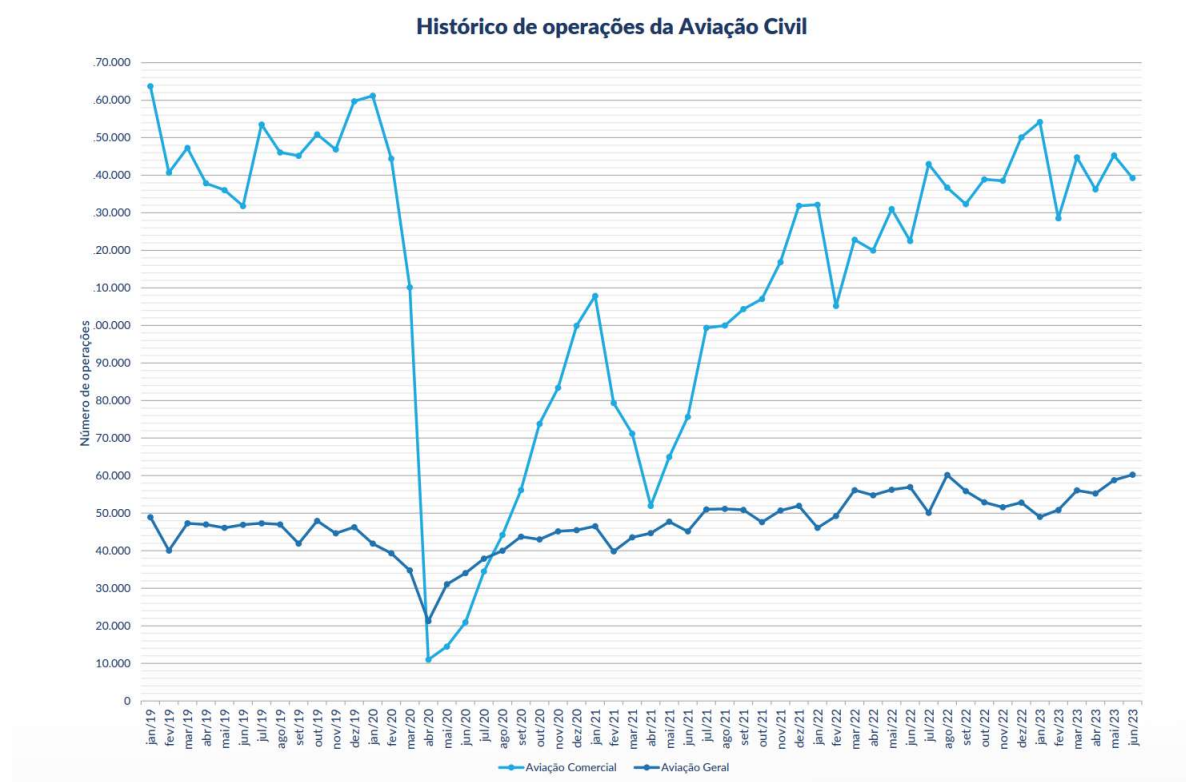
Os girodinós são aeronaves semelhantes aos helicópteros, possuem um rotor principal capaz de gerar sustentação e levantar voo vertical, e motores propulsores para o voo horizontal. Durante o voo para a frente o rotor principal permanece em autorotação, gerando parte da sustentação, o restante é gerado pela asa, como em um avião. (MUCHOWSKI, et al., 2019)

2.4 CENÁRIO DA AVIAÇÃO CIVIL BRASILEIRA

O Brasil é um país com características bastante favoráveis ao desenvolvimento da aviação, tais quais: tamanho continental, população enorme e um forte PIB. De acordo com o IBA (Instituto Brasileiro de Aviação) “a aviação não cansa de se renovar ao longo da sua história, seja em conforto, segurança, tecnologia, praticidade e servir de modelo para outros mercados”. No entanto, a pandemia trouxe um impacto muito grande para o setor, de tal modo que 2022 e 2023 foram anos de recuperação. (IBA, 2023)

Os impactos da pandemia foram mais fortes na aviação comercial, que praticamente parou durante o ano de 2020 e 2021. Com a aviação geral, o cenário foi um pouco diferente, menos destruidor. Durante o ano de 2021, esta categoria ganhou espaço nos voos para regiões que a aviação comercial não operava. (IBA, 2023)

Gráfico 1 – Comparação dos impactos da Covid-19 na aviação comercial e geral



Fonte: IBA, 2023

A aviação geral retornou rapidamente a números próximos aos relativos ao período antes da pandemia. Com o retorno das reuniões presenciais, houve um aumento da atividade dos táxis aéreos e a aviação executiva. Com isso, o total anual em 2022 foi 17% superior ao período antes da pandemia. Para 2024, estima-se que as operações continuem crescendo, com fortalecimento da economia do Brasil e da aviação regional. (IBA, 2023)

Numericamente falando, o transporte aéreo em 2023 obteve uma média diária de 2,2 mil decolagens, foram transportados 112,7 milhões de passageiros (+15,4% em relação a 2022) e 1,2 milhão de toneladas de carga. (ANAC, 2023a)

Dessarte, as empresas aéreas brasileiras são essenciais para impulsionar o turismo, o desenvolvimento econômico e social do Brasil. Somente no ano de 2022, a aviação comercial gerou 78 bilhões de reais para o PIB (aproximadamente 0,8% do Produto Interno Bruto brasileiro). De acordo com o panorama 2022 da ABEAR (Associação Brasileira das Empresas Aéreas), o turismo

impulsionado pelo transporte aéreo foi responsável pela geração de 995,1 mil empregos no Brasil. (ABEAR, 2022)

2.5 O TÁXI AÉREO NO BRASIL

Empresa de táxi aéreo diz respeito à uma “empresa que executa modalidade de transporte aéreo público não regular de passageiro ou carga, mediante remuneração convencionada entre o usuário e o transportador, sob a fiscalização da autoridade de aviação civil, e visando a proporcionar atendimento imediato, independente de horário, percurso ou escala” (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2010). Outras modalidades incluídas são: transporte aeromédico, voo panorâmico, lançamento de paraquedistas e transporte a partir e para plataformas on-shore e off-shore. (IBA, 2022)

Esse conceito, ainda que amplamente utilizado pela população não é mais utilizado. A ANAC, por meio do RBAC (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil) 135, intitulado: “Operações de transporte aéreo público com aviões com configuração máxima certificada de assentos para passageiros de até 19 assentos e capacidade máxima de carga paga de até 3.400 kg (7.500 lb), ou helicópteros”, regulamenta sobre o funcionamento desse modal de transporte aéreo no Brasil. (ANAC, 2023b)

As aeronaves da aviação geral representam 70% de toda a frota brasileira, as quais possibilitaram conectar 2947 aeródromos nacionais em 2022. O gráfico abaixo mostra a relação dos tipos de operação da aviação geral (IBA 2022). Durante a pandemia, a aviação executiva experimentou um crescimento significativo em todo o mundo. Inicialmente, mais pessoas optaram por voos privados temendo o contágio. Isso impulsionou a demanda por táxi aéreo e, posteriormente, a compra de aeronaves e cotas compartilhadas. Essa dinâmica movimentou o mercado de aeronaves. A boa notícia é que a aviação executiva está deixando de ser vista como um luxo e passa a ser reconhecida como uma ferramenta de negócios. A viagem de negócios via taxi aéreo permite um ambiente favorável para a troca de ideias e negociações, proporcionando economia de tempo e privacidade para as pessoas. (IBA 2022)

Gráfico 1 – Operação da Aviação Geral por Categoria de Utilização



Fonte: IBA, 2022

2.6 MOBILIDADE URBANA AÉREA (UAM) OU MOBILIDADE AÉREA AVANÇADA (AAM)

Mobilidade Aérea Urbana é uma nova forma de transporte aéreo no qual os passageiros e a carga se locomovem em ambientes densamente populados e construídos, que será possível graças ao desenvolvimento de modernas e tecnológicas aeronaves de decolagem e pouso vertical elétricas e à combustível, que poderão ter um piloto a bordo ou serem remotamente pilotadas.

Em alguns lugares do mundo, parte dessa nova forma de viajar já está sendo implementada, por meio de entregas de compras online ou equipamentos médicos via drones. No entanto, essa realidade ainda é muito limitada, mas tende a crescer exponencialmente nos próximos anos. Espera-se que a Mobilidade Aérea Urbana crie benefícios ambientais assim como vantagens para cidadãos e negócios, com usos comerciais e médicos de emergência. (EASA, s.d.)

Há fatores cruciais que estão impulsionando o desenvolvimento da UAM, tais quais:

- Crescimento da população: espera-se que a população das 1000 maiores cidades globais cresça em mais de meio bilhão até 2050; (OXFORD ECONOMICS, 2025);

- Limites estruturais: a infraestrutura e o espaço urbano não necessariamente acompanham o crescimento populacional. A verticalização das cidades, para abarcar cada vez mais pessoas, aumenta a densidade e o congestionamento nas áreas mais centrais;
- Movimento urbano: à medida que as megacidades crescem, a mobilidade urbana fica cada vez mais restringida e congestionada, potencialmente aumentando a demanda por novos tipos de transporte e levando os consumidores a “buscarem os céus”. (VERTICAL AEROSPACE GROUP, 2025)

A UAM ou AAM será possível devido as aeronaves de sustentação por potência, também chamadas de VTOL (aeronave de decolagem e pouso vertical) ou eVTOL (aeronave elétrica de decolagem e pouso vertical) ou até táxis aéreos. Os eVTOLs propõem a ser mais seguros, mais quietos, mais eficientes e mais versáteis que qualquer avião pequeno ou helicóptero existente. Esses veículos poderão partir de facilidades, portos menores, o que os tornam mais adequados para o ambiente urbano e congestionado. (WISK AERO, 2021a)

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa de natureza básica utilizou-se de um objetivo exploratório e uma abordagem qualitativa alicerçada em procedimentos bibliográficos e documentais para se debruçar com profundidade nos impactos que as aeronaves de sustentação por potência podem trazer para a Mobilidade Aérea nos ambientes urbanos. Para isso foram utilizados artigos e jornais acadêmicos encontrados no Google Scholar, Scientific Electronic Library Online (SciELO), sítios eletrônicos de artigos sobre novidades aeronáuticas e sítios especializados em aviação civil e militar, teses acadêmicas, documentos regulamentares da ANAC e FAA (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION) e sítios oficiais de agências reguladores como a EASA (European Union Aviation Safety Agency) para fundamentar os pontos levantados pelo autor deste trabalho.

Inicialmente, apresenta-se a trama histórica que se desenrolou e culminou nos desenvolvimentos dos primeiros modelos de VTOLS, e como a evolução dessas aeronaves se deu ao longo do século passado.

Em seguida, a pesquisa explica de forma detalhada como se pilota uma aeronave desse tipo, detalhando como funcionam os comandos e as superfícies de voo. Ademais, utiliza imagens para ilustrar as partes que envolvem os sistemas demonstrados.

Posteriormente, o estudo expõe uma série de aeronaves de sustentação por potência que estão em fase de aprimoramento e em processo de certificação, além de elucidar de forma resumida como funciona essa certificação junta às agências reguladoras de um Estado.

Por fim, são apresentados desafios da implementação eficiente de UAM pelo Brasil, o que envolve a criação de um arcabouço jurídico-normativo para que isso tudo ocorra da maneira mais institucionalmente madura e segura possível. Nessa última parte ressalta-se também os benefícios e impactos positivos que os VTOLs podem trazer para a aviação civil e para o desenvolvimento dos grandes centros urbanos.

No que tange a sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se que sejam realizados estudos para avaliar a viabilidade técnica e financeira da implementação das aeronaves de sustentação por potência por empresas de táxi aéreo no curto e no longo prazo.

4. RESULTADOS

4.1 COMO É O VOO DESSAS AERONAVES

Utilizando o V-22 como exemplo, o qual incorpora os controles de voo tanto de asa rotativa quanto de asa fixa em seu sistema *fly-by-wire*. O sistema chamado FCS (Flight Control System) permite que o piloto controle o avião durante o voo e possibilita uma transição suave entre os modos helicóptero e avião.

Os controles de voo consistem em:

- Cíclico, localizado em frente aos assentos
- Manete de potência, localizado ao lado esquerdo dos assentos
- Pedais direcionais
- Controle de ângulo da nacele do motor (rodinha no TCL (Thrust Control Lever))

As superfícies primárias de controle consistem em:

- Disco inclinado nas asas
- Flaperons nas asas
- Profundor na cauda
- Leme de direção na cauda

Comando lateral no cíclico para esquerda: a aeronave usará uma sustentação maior no rotor direito e inclinará os discos para a esquerda, conjuntamente fazendo a aeronave rolar para a esquerda (modo helicóptero). No modo avião, o flaperon direito desce enquanto o flaperon esquerdo sobe, resultando na rolagem para a esquerda.

Comando longitudinal para a frente: os discos se inclinarão para a frente, a aeronave coloca o nariz para baixo e a velocidade aumenta (modo helicóptero). No modo avião, o profundor se desloca para baixo, a aeronave coloca o nariz para baixo e a velocidade aumenta.

Comando direcional para a esquerda: o disco do rotor direito se inclina para frente e o disco do rotor esquerdo se inclina para trás, gerando uma guinada para a esquerda (modo helicóptero). No modo avião, os lemes se defletem para a esquerda, ocasionando uma guinada para a esquerda.

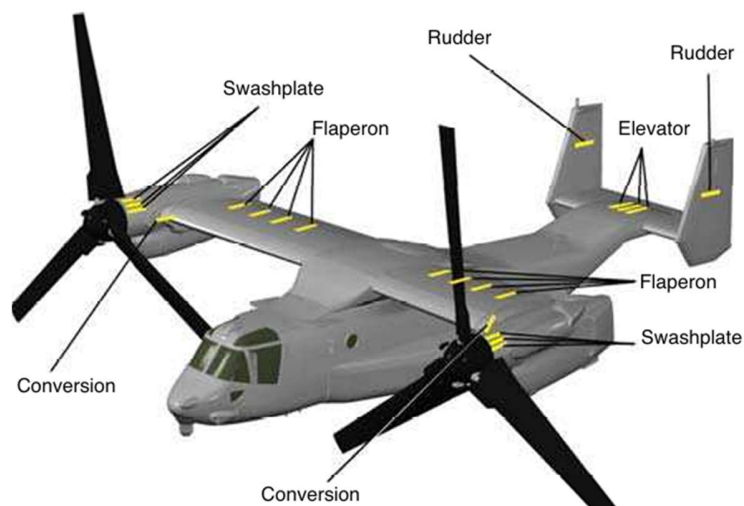
Aumento da manete de potência: a manete funciona como um coletivo, fazendo a aeronave subir (modo helicóptero). No modo avião, a manete também controla o ângulo das pás e a mistura.

Comando no controle de ângulo da nacele: os dois proprotos (*propeller* (propulsor) + rotor) rotacionam para frente e a aeronave acelera (modo helicóptero). No modo avião, os proprotos rotacionam para cima e aeronave desacelera.

Comando de flapes: Em ambos os modos os flaperons se defletem para baixo.

O V-22 consegue performar uma transição completa para o modo avião em um tempo médio de 16 segundos. Durante a decolagem, os comandos convencionais de helicóptero são utilizados. À medida que a aeronave ganha velocidade, a asa começa a gerar sustentação e os ailerons, profundores e lemes começam a ganhar efetividade. Os comandos de asa rotativa vão gradualmente se enfraquecendo pelo sistema de controle de voo, enquanto os comandos de asa fixa começam a fortalecer. (BELL BOEING, s.d.)

Figura 3 – Sistema de controle de voo do V-22
Flight Control System Block Diagram



Fonte: Bell Boeing, s.d.

Figura 4 – Cockpit do V-22



Fonte: SpinningWing, s.d.

4.2 APLICABILIDADE

Atualmente a única aeronave de sustentação por potência que está sendo usada, com fins militares, é o V-22 Osprey e seus variantes, utilizados pelas forças armadas estadunidenses e o

Ministério da Defesa japonês (MOD, 2021). O corpo de fuzileiros navais utiliza o MV-22B, a força aérea utiliza o CV-22B e a marinha utiliza o CMV-22B Osprey. Este é uma variante do MV-22B e substitui o C-2A Greyhound em missões a partir de plataformas porta-aviões marítimas da marinha norte americana. As operações do CMV-22B podem ser baseadas em terra, mar ou serem expedicionárias. Comparado com o MV-22B, usado pelo corpo de fuzileiros navais estadunidenses, a versão da marinha tem um alcance operacional estendido, um rádio HF além da linha de vista, capacidade de alijar combustível melhorada, um sistema de anúncio para os passageiros, e um sistema de luzes para carregamento de carga mais robusto. Além disso ele é capaz de carregar 6000 libras de carga/pessoal a até 1150 milhas náuticas de distância. Sua função primordial é transportar pessoal, correio e carga de prioridade de bases avançadas até bases marítimas. (NAVAIR, 2023)

4.3 PROJETOS PRÓXIMOS DA CERTIFICAÇÃO

Apesar de no presente existir somente um tipo de aeronave de sustentação por potência que está sendo utilizada (V-22 Osprey) e somente para fins militares, diversos outros modelos de aviões estão em processo de certificação e em breve estarão no mercado preenchendo lacunas existentes. Esses projetos pretendem trazer usos civis para esse tipo de aeronave também, como transporte comercial e transporte aeromédico.

São exemplos de aeronaves em certificação: o Leonardo AW609, o Bell V-280 Valor, o Airbus Racer, Joby S4, Vertical VX4, Archer Midnight, Wisk Generation 6 e o Eve-100.

4.4 COMO FUNCIONA O PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO DE TIPO

Primeiramente é preciso entender, em suma, como funciona o processo de certificação desse tipo de aeronave. As autoridades aeronáuticas de cada Estado devem avaliar e aprovar o projeto de uma aeronave para garantir que ela cumprirá os requisitos de segurança aplicáveis. Essa certificação é chamada de Certificado de Tipo. Obtê-lo quer dizer que a aeronave pode ser produzida em série, vendida e operada comercialmente. As aeronaves do tipo *powered-lift* (sustentação por potência) representam uma categoria nova, que reúne atributos de aviões e

helicópteros. Portanto as autoridades aeronáuticas tiveram que desenvolver novos critérios para esse novo tipo de aeronave.

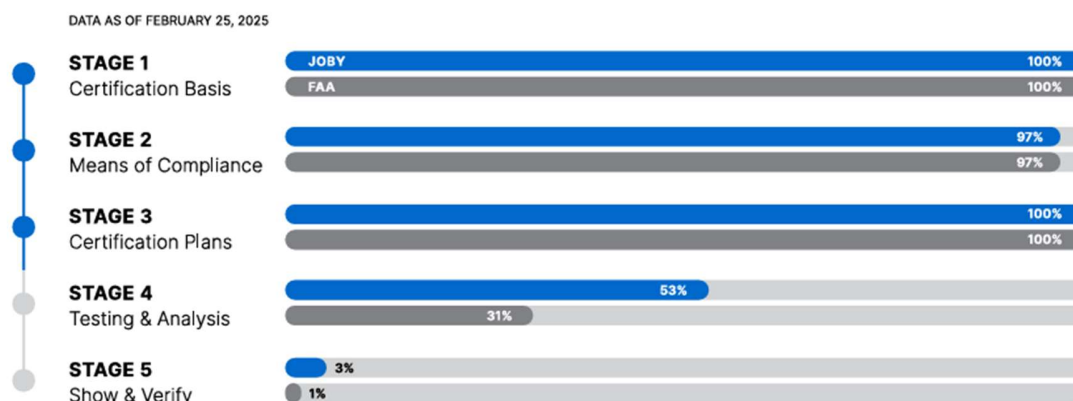
A FAA, por exemplo, ainda não elaborou um documento falando especificamente sobre esse tipo, no entanto as aeronaves de sustentação por potência são certificadas através do Código de Regulamentos Federais (Code of Federal Regulations) Título 14, Capítulo 1, Subcapítulo C parte 21.17(b), o qual diz que aeronaves especiais são certificadas de acordo com as partes 23,25,27 e 29, combinando requisitos de aeronaves de asa fixa e asa rotativa. (OFR, 2024)

O processo de certificação é bastante rigoroso e conta com diversas etapas como: design conceitual, reuniões com a agência reguladora (ANAC, FAA, EASA, CAA (UK Civil Aviation Authority)) para alinhar objetivos, aplicação para certificado de tipo, plano de certificação, planos de conformidade, inspeções e audições de conformidade, testes de engenharia (estruturas, sistemas), testes de voo, envio de relatórios de dados de voo, elaboração de manual de voo da aeronave, certificado de aeronavegabilidade etc. (FAA, 2023)

A empresa Leonardo Helicopters, por exemplo, pretende finalizar todo o processo de certificação da sua aeronave AW609 nesse ano de 2025. Durante a exposição de aeronaves HAI Heli-Expo 2024 Gian Piero Cutillo, diretor-gerente da Leonardo, afirma que o avião entrou no “estágio final” das atividades de teste da certificação em 2023, à medida que a FAA emitiu a base de certificação de tipo nesse ano. Cutillo diz também que os voos de demonstração para os clientes dos Estados Unidos, Japão e Dubai foram “claramente bem-sucedidos”. (JOHNSON, 2024) Além disso, a FAA já emitiu os critérios de aeronavegabilidade para esse tipo especial de aeronave.

Outro exemplo de aeronave que está próxima da certificação é a Joby S4, eVTOL da Joby Aviation, que se encontra na fase final de certificação juntamente a FAA. Os primeiros testes sob a Autorização de Inspeção de Tipo (TIA) com pilotos da FAA foram feitos. Os testes, realizados em simulador, pretendem avaliar os fatores humanos relacionados à segurança de voo. O TIA é a etapa final para o processo de certificação de tipo, no qual os pilotos da agência estadunidense avaliam o desempenho e a segurança da aeronave em conformidade com os planos anteriormente aprovados, o que trilha o caminho para a aeronave começar a realizar operações comerciais de passageiros. “Este marco [...] reflete a maturidade do nosso programa de testes e os rigorosos testes internos que já concluímos”, afirma JoeBen Bevirt, CEO e fundador da Joby Aviation. (CARDOSO, 2024)

Figura 5 – Processo de certificação da Joby S4



Fonte: Joby Aviation (2025)

Adicionalmente, para não se limitar somente a FAA, a aeronave VX4 da empresa Vertical Aerospace também se encontra em processo de certificação, porém junto as agências de aviação do Reino Unido, a CAA e da União Européia, a EASA. (SAMPSON, 2022) O VX4 recebeu o DOA (Design Organisation Approval) da CAA em 2023, documento este que delimita os requisitos e procedimentos para o design, produção e aprovação de partes, materiais, e equipamentos usados na aviação. Além disso, estabelece responsabilidades dos fabricantes, fornecedores, e aplicantes que buscam a aprovação de produção desses produtos anteriormente mencionados, assim como exige que essas empresas demonstrem conformidade com o design aplicável e parâmetros de aeronavegabilidade. (CAA, s.d.) A vertical continua seus testes em voo e seus esforços para alcançar a tão sonhada certificação pelo Reino Unido e União Europeia. (VARLEY, 2025)

4.5 DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA UAM NO BRASIL

Com o rápido desenvolvimento da UAM pelo mundo e com a indústria brasileira produzindo seu primeiro eVTOL nacional, é necessário que o arcabouço jurídico-normativo brasileiro esteja preparado para atender as necessidades desse avanço. Essa nova tecnologia traz consigo modelos de negócios não previstos atualmente na legislação, em marcos legais e regulatórios. A mobilidade urbana apresenta questões inéditas, como àquelas relacionadas a ruídos, meio ambiente, propulsão elétrica, voo remoto, segurança etc. Essas questões suscitam uma discussão política para garantir o desenvolvimento da UAM de maneira institucionalmente madura.

São preocupações advindas da mobilidade urbana a segurança de voo, a necessidade de infraestrutura adequada, o impacto ambiental nos já conturbados centros urbanos, a viabilidade operacional e o impacto no sistema de aviação civil. Portanto, há barreiras técnicas, econômicas, regulamentares e legislativas para a efetiva implementação das aeronaves de sustentação por potência.

O primeiro desafio encontrado nesse sentido é os impactos socioambientais. Essas aeronaves primeiramente terão como nicho no mercado pessoas de renda alta, que poderão arcar com os altos custos da operação. No entanto, com a evolução da mobilidade aérea e da cadeia de produção dessas aeronaves, o catálogo de serviços e o acesso a esse transporte deve se tornar mais abrangente.

Faz-se uma comparação constante entre os VTOLs e os helicópteros, devido a similaridade da operação e de algumas fases do voo. Contudo, pelo menos as versões elétricas (eVTOL) devem se sobressair na mobilidade urbana, já que não emitem gases estufa e pretendem gerar menos ruído do que um helicóptero convencional, além da maior versatilidade e rapidez. Dessarte, estão mais alinhados com prioridades de ordem global.

Outro ponto digno de discussão é o relacionado ao sistema tripulado e ao sistema autônomo, que envolve questões não só trabalhistas, mas também de segurança da aviação civil nacional. Por um lado, as aeronaves autônomas reduzem os custos e permitem mais passageiros sendo transportados, por outro, a certificação e aprovação desses sistemas requer uma atenção e um rigor bem maior. Ademais, a operação autônoma suscita uma análise mais minuciosa quanto à responsabilidade civil, havendo a necessidade de estabelecer limites de responsabilidade entre fabricante, operador e explorador do serviço.

Mais um ponto a se contemplar diz respeito a infraestrutura necessária para viabilizar esse novo modal de transporte aéreo. Os VTOLs operarão a partir de portos e pontos chamados de “vertipontos” e “vertiportos”. Em primeiro momento essas aeronaves poderão utilizar do espaço aéreo destinado a helicópteros, mas eventualmente, com a popularização desse novo meio de transporte, haverá a necessidade da criação de novos corredores e uma nova divisão do espaço aéreo específico para essas aeronaves. Adicionalmente, a proliferação de vertiportos pelas cidades implicará mudanças nos planos diretores das cidades para que sejam implementados de forma orgânica, ou seja, sem prejudicar o bem-estar local e o meio ambiente.

Por fim, a sustentação por potência é uma tecnologia nova, que ainda não possui um histórico operacional que demonstra ao longo de vários anos a sua segurança e rigidez, além do fato de esse novo modal de transporte propor-se a sobrevoar áreas altamente povoadas, o que eleva o risco potencial. Toda regulamentação atual sobre o modo de voo “tradicional” (avião e helicóptero) foi forjada durante um século de evolução, de estudos, da análise de acidentes e incidentes, que culminaram em um nível aceitável de segurança operacional no transporte aéreo. Nesse sentido, a formulação de requisitos técnicos e parâmetros para certificação e aprovação desses VTOLs é um difícil exercício de adaptar regulamentações já existentes com medidas novas para minimizar o risco dessas operações. No entanto, é inevitável que lacunas apareçam à medida que esse novo mercado evolui, as quais devem ser rapidamente identificadas e solucionadas tempestivamente. (BENEDETTI, 2025)

4.6 VERTIPORTOS E VERTIPONTOS

Para a sociedade tirar proveito da AAM, as aeronaves eVTOL precisam de um lugar para decolar e pousar que esteja localizado próximo de onde estão e para onde vão, sem atrapalhar as comunidades locais. Esses locais, chamados de vertiportos farão parte dos hubs integrados onde diferentes tipos de transporte se conectam para criar uma experiência multimodal ininterrupta para os passageiros. Adicionar esses portos, seja em construções já existentes ou em um projeto de estrutura inédita, será necessário para o sucesso a longo prazo dessa nova indústria. Muitas cidades grandes já possuem pequenos aeródromos espalhados ao redor da sua área, bastaria que eles ajustassem as suas infraestruturas para viabilizar o uso pelas aeronaves de sustentação por potência.

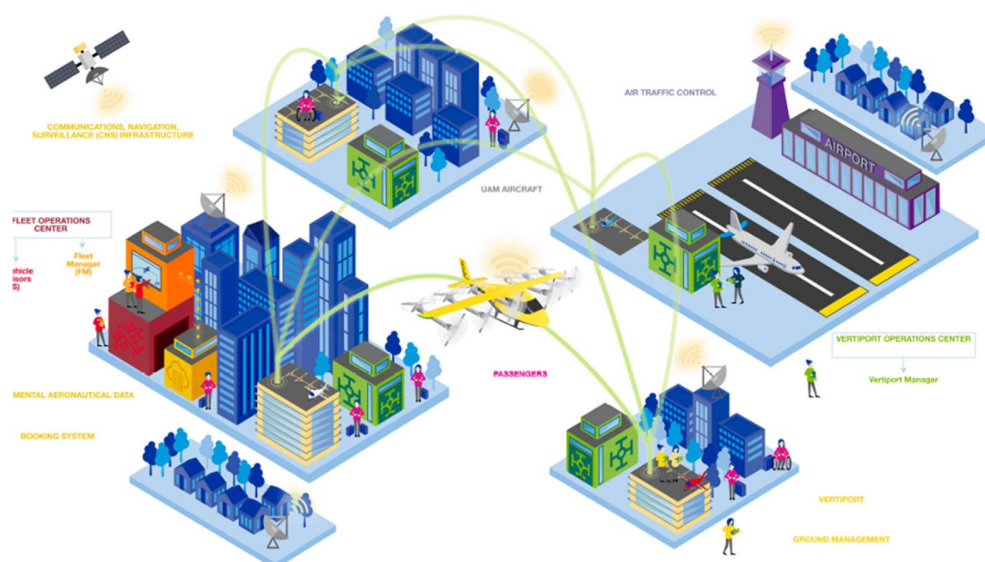
Nos Estados Unidos, por exemplo, há mais de 5000 aeródromos públicos localizados basicamente há 20 minutos de carro de qualquer lugar do país. Enquanto a minoria desses possui uma pista de pouso e decolagem grande o suficiente para uma empresa aérea operar, o resto permanece praticamente não utilizado por viagens comerciais. Ao integrar operações de VTOL nesses aeródromos de pequeno/médio porte, essas estruturas já existentes podem receber um novo uso, trazendo benefícios para a comunidade local. (WISK AERO, 2021b)

No Brasil, a situação é um pouco diferente, já que a quantidade de aeródromos públicos é de 503 (ANAC, 2022). No entanto, a maioria das capitais e as maiores cidades brasileiras costumam ter no mínimo 2 aeródromos públicos que poderiam operar como vertiportos também

para viabilizar esse novo modal. Os passageiros que vão realizar um voo por uma empresa aérea podem usar o serviço do VTOL para se locomover até o aeroporto principal, sem precisar passar vários minutos ou até horas em carros ou ônibus para pegar um voo.

Um estudo da (UBER, 2016) afirma que o desenvolvimento de uma infraestrutura para suportar uma rede VTOL urbana terá provavelmente vantagens de custo em relação a uma estrutura terrestre pesada como rodovias, trilhos, pontes e tuneis. O topo de garagens verticais, helipontos já existentes e até áreas não utilizados entre cruzamentos de autoestradas podem ser usados para se criar uma rede extensiva de vertiportos ou vertipontos.

Figura 6 – Vertipontos e Vertiportos



Fonte: BOEING, s.d.

4.7 IMPACTOS POSITIVOS

A Mobilidade Aérea Avançada tem o intuito de utilizar o espaço aéreo acima de áreas urbanas congestionadas para prover aos negócios, comunidades locais e emergencistas opções melhores de mobilidade. Essa nova indústria, com produtos e serviços novos, não pretende substituir meios de transporte já existentes, mas sim melhorá-los ao aliviar a tensão e diminuir a dependência de meio terrestres. A AAM faz parte de um sistema mais eficiente, multimodal, que economiza seu tempo e é menos nocivo para com o meio ambiente.

Essa nova tecnologia irá conectar pessoas, lugares e mercadorias, irá criar oportunidades de emprego e movimentar a economia local, assim como irá proporcionar um futuro para o transporte com menos emissões. Além do transporte interurbano, a AAM possui a capacidade de ajudar pessoas a atingirem lugares de difícil acesso e em situações que apresentam risco para a vida humana, por exemplo: resgates de emergência e monitoramento de vida selvagem. (WISK AERO, 2021c)

De acordo com o Escritório de Contabilidade do Governo Estadunidense (GAO, 2022), aeronaves pequenas, elétricas e altamente automatizadas, que podem decolar e pousar verticalmente podem transformar o mercado de aviação. Elas têm o potencial de reduzir o congestionamento urbano, encurtar rotas de trabalho, aumentar a velocidade de entregas, e prover transporte médico que salva vidas para áreas remotas, entre outras aplicações. Outrossim, devido a propulsão elétrica e sistemas automatizados, essas aeronaves podem ser mais simples de conceber e construir, mais fáceis de voar, mais quietas e menos caras para operar, se comparadas com aeronaves tradicionais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa acompanhou o processo de desenvolvimento da tecnologia das aeronaves de sustentação por potência ao longo do século passado desde os primeiros projetos, do XV-15 até o XV-22, que é utilizado atualmente pelas forças armadas estadunidenses e japonesas. Com isso, apresenta-se as dificuldades e os desafios que essa nova tecnologia traz consigo. No entanto, o papel fundamental da ciência é justamente esse, estudar profundamente algum assunto e alcançar melhoras graduais e seguras que possibilitam a implementação de um novo conceito de modo que a sociedade como um todo seja beneficiada.

Ainda que a Mobilidade Aérea Urbana e os VTOLs não estejam sendo amplamente usados no mundo como um todo, é indiscutível que a indústria está investindo pesado para que isso se torne realidade o mais rápido possível. Ao longo do estudo são identificados vários projetos de aeronaves desse tipo que estão em desenvolvimento e processo de certificação, as quais viabilizarão a inserção da Mobilidade Aérea Avançada nas cidades grandes. Com projetos que estimam o início de uso comercial nessa década ainda, em 2030 é possível que se encontre VTOLs voando sobre as maiores cidades do ocidente e o oriente.

Há empecilhos para a implementação eficiente dessa nova realidade, como a falta de infraestrutura de vertiportos e vertipontos, porém como o próprio estudo mostra, a estrutura existente de divisão do espaço aéreo, regras e regulamentos, e até mesmo aeródromos públicos podem sim abarcar esse novo modal de transporte, mediante pequenas alterações.

Em conclusão, com o esforço das agências reguladoras para criar o arcabouço jurídico-normativo, com o esforço da indústria para criar uma aeronave eficiente e segura e com o esforço das cidades para portar essa nova realidade, é inevitável que os impactos positivos possam ser percebidos num futuro muito próximo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIR RESEARCH AND DEVELOPMENT COMMAND (ARDC). **Preliminary Report AFFTC Flight Evaluation of the XV-3**. 1959. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA951617.pdf>. Acesso em: 03 abr 2025.

ANAC. **Aeródromos Públicos**. 2022. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/dados-abertos/areas-de-atuacao/aerodromos/lista-de-aerodromos-publicos-v2/painel-de-aerodromos-publicos>. Acesso em: 22 maio 2025.

ANAC. **Anuário do Transporte Aéreo 2023**. 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/panorama-do-mercado/anuario-transporte-aereo>. Acesso em: 19 abr 2024.

ANAC. **REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL Nº 01 EMENDA Nº 16. Resolução nº 737, de 09.02.2024**. 2024. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-01>. Acesso em: 19 abr 2024.

ANAC. **REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL Nº 135 EMENDA Nº 13. Resolução nº 714, de 26.04.2023**. 2023b. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-135>. Acesso em: 19 abr 2024.

BARBOSA, V. C.; BREITSCHAFT, A. M. S. **Um aparato experimental para o estudo do princípio de Arquimedes**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28, 115-122.

BELL BOEING. **V-22 Osprey Pocket Guide**. s.d. Disponível em: <http://cfile239.uf.daum.net/attach/116AD61B4B149E34374112>. Acesso em: 10 abr 2025.

BENEDETTI, D. **MOBILIDADE AÉREA AVANÇADA: Perspectivas, DESAFIOS e o papel do estado**. 2025. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td339#:~:text=Na%20linha%20do%20que%20se,EVE%2D10%2C%20da%20Eve19>. Acesso em: 22 maio 2025.

BOEING. Concept of Operations for Uncrewed Urban Air Mobility Version 2.0. s.d. Disponível em: <https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/innovation/con-ops/docs/Concept-of-Operations-for-Uncrewed-Urban-Air-Mobility.pdf>. Acesso em: 22 maio 2025.

BOLKCOM, C. **V-22 Osprey Tilt-Rotor Aircraft**. 2002. Disponível em: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metacrs3624/>. Acesso em: 10 abr 2025.

CAA. **Part 21 J – Design Organisation Approval**. s.d. Disponível em: <https://caainternational.com/course/easa-part-21-j-design-organisation-approval/>. Acesso em: 8 maio 2025.

CARDOSO, M. **eVTOL da Joby Aviation avança para fase final de certificação**. 2024. Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/evtol-da-joby-aviation-avanca-para-fase-final-de-certificacao.html#:~:text=A%20Joby%20Aviation%20%20anunciou,dos%20Estados%20Unidos%2C%20a%20FAA>. Acesso em: 1 maio 2025.

ÇETİNSOY, E.; SIRIMOĞLU, E.; ÖNER, K. T.; HANÇER, C.; ÜNEL, M.; AKŞİT, M. F.; KANDEMİR, İ.; GÜLEZ, K. (2011) "*Design and development of a tilt-wing UAV*," *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*: Vol. 19: N° 5, Artigo 4.

EASA. **Urban Air Mobility**. s.d. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/urban-air-mobility-uam>. Acesso em: 8 maio 2025.

FAA. **Order 8110.4C Chg 7**. 2023. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/Order_8110.4C_CHG_7.pdf. Acesso em: 24 abr 2025.

GERTLER, J. **V-22 Osprey Tilt-Rotor Aircraft: Background and Issues for Congress**. 2009. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA512990.pdf>. Acesso em: 10 abr 2025.

HOMA, J. M. **Aerodinâmica e teoria de voo**. 33. Ed. São Paulo: Asa, 2013.

JAPAN MINISTRY OF DEFENSE (MOD). **Osprey Flights Begin**. 2021. Disponível em: <https://www.mod.go.jp/en/jdf/no131/topics.html>. Acesso em: 17 abr 2025.

JOBY AVIATION. **Shareholder letter Q4 2024**. 2025. Disponível em: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_6e9f775c4957d3dec88f34d06beab0f3/jobyaviation/db/1111/9851/file/Joby-Aviation_2024-Q4-Shareholder-Letter.pdf. Acesso em: 01 maio 2025.

JOHNSON, O. **Leonardo targeting ‘early 2025’ for completion of AW609 certification activities**. 2024. Disponível em: <https://verticalmag.com/news/leonardo-targeting-early-2025-for-completion-of-aw609-certification-activities/>. Acesso em: 24 abr 2025.

MARK, H. ***Straight Up into the Blue***. Scientific American, 277, 110-115. Outubro, 1997.

MUCHOWSKI, J.; SZUMSKI, M.; KRZYSIAK, A. ***Aerodynamic concept of the UAV in the gyrodyne configuration***. *Transactions on Aerospace Research*, v. 2018, n° 1, p. 49-66, 2019.

NASA. **Civil Tiltrotor Missions and Applications Phase II: The Commercial Passenger Market**. 1991. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19910016812>. Acesso em: 03 abr 2025.

NASA. ***The History of the XV-15 Tilt Rotor Research Aircraft: From Concept to Flight***. 7 de setembro de 2013. <https://history.nasa.gov/monograph17.pdf>

NAVAL AIR SYSTEMS COMMAND (NAVAIR). **CMV-22B Osprey**. 2023. Disponível em: <https://www.navair.navy.mil/product/CMV-22B-Osprey>. Acesso em: 17 abr 2025.

OFFICE OF THE FEDERAL REGISTER (OFR). **14 CFR Part 21, Subpart B – Type Certificates**. 2024. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-C/part-21/subpart-B>. Acesso em: 24 abr 2025.

OXFORD ECONOMICS. **Global Cities Index 2025**. 2025. Disponível em: <https://www.oxfordeconomics.com/global-cities-index/#:~:text=By%202050%2C%20the%201%2C000%20largest,rise%20in%20productivity%20by%202050>. Acesso em: 15 maio 2025.

SAMPSON, B. **Vertical Aerospace progresses certification of VX4 eVTOL aircraft**. 2022. Disponível em: <https://www.aerospacetestinginternational.com/news/drones-air-taxis/vertical-aerospace-progresses-certification-of-vx4-evtol-aircraft.html>. Acesso em: 1 maio 2025.

SPINNINGWING. **V-22 controls**. s.d. Disponível em: <https://www.spinningwing.com/v22-controls#:~:text=The%20pilot%20presses%20the%20left,pushing%20the%20right%20pedal%20accomplishes>. Acesso em: 17 abr 2025.

UBER. **Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation**. 2016. Disponível em: https://evtol.news/__media/PDFs/UberElevateWhitePaperOct2016.pdf. Acesso em: 22 maio 2025.

UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE (GAO). **Stakeholders Identified Issues to Address for ‘Advanced Air Mobility’**. 2022. Disponível em: <https://www.gao.gov/assets/gao-22-105020.pdf>. Acesso em: 22 maio 2025.

UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE (GAO). **V-22 Osprey Aircraft Assesments Needed to Address Operational and Cost Concerns to Define Future Investments**. 2009. Disponível em: <https://www.gao.gov/assets/gao-09-692t.pdf>. Acesso em: 03 abr 2025.

VARLEY, L. **Vertical Aerospace Begins 2025 With Piloted Thrustborne Flight**. 2025. Disponível em: <https://aviationsourcenews.com/vertical-aerospace-begins-2025-with-piloted-thrustborne-flight/>. Acesso: 8 maio 2025.

VERTICAL AEROSPACE GROUP. **Vertical Aerospace 46th Cowen A&D Conference February 2025**. 2025. Disponível em: https://s203.q4cdn.com/131781877/files/doc_presentations/2025/Feb/12/Cowen-A-D-Conference-1.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.

WISK AERO. **Building Social Acceptance for Advanced Air Mobility Key Learnings and Insights from Years of Local Engagement**. 2021c. Disponível em: https://wisk.aero/wp-content/uploads/2021/08/Wisk_SocialAcceptance_Whitepaper_FINAL.pdf. Acesso em: 22 maio 2025.

WISK AERO. **From Airports to Mobility Hubs: Leveraging existing infrastructure for AAM**. 2021a. Disponível em: https://wisk.aero/wp-content/uploads/2021/09/Wisk_AirportsForAAM_Whitepaper_final.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.

WISK AERO. **From Airports to Mobility Hubs: Leveraging existing infrastructure for AAM.** 2021b. Disponível em: https://wisk.aero/wp-content/uploads/2021/09/Wisk_AirportsForAAM_Whitepaper_final.pdf. Acesso em: 22 maio 2025.