

Compreensão a respeito dos desafios e prospecções direcionados ao eVTOL: a ascensão do novo horizonte do táxi aéreo

Papathanasiadis Neto, P.G. *

Petros Georgios Papathanasiadis Neto Legal &
Compliance

1. Introdução e contextualização

Would you tell me, please, which way I ought to go from here?"
"That depends a good deal on where you want to get to," said the Cat.
"I don't much care where—" said Alice. "Then it doesn't
matter which way you go," said the Cat.

"Você poderia me dizer, por favor, qual caminho eu devo seguir a partir daqui?"
"Isso depende bastante de onde você quer chegar", disse o Gato.
"Eu não me importo muito com onde." disse Alice.
"Então não importa por qual caminho você siga", disse o Gato.

Esse diálogo, extraído da obra-prima intitulada *"Alice's Adventures in Wonderland"* (As Aventuras de Alice no País das Maravilhas) (Carroll, 1865), representa como a não definição de um “norte” para qualquer assunto pode representar uma situação estática, dificultando o encontro de um referencial seguro para onde se pretende chegar.

Em cenários futurísticos contendo “carros voadores” retratados nos cinemas, como “De Volta para o Futuro – Parte II”, “Blade Runner”, e até o renomado “StarWars” trazem à tona reflexões e comparações com o cenário atual da aviação que será escrito neste capítulo. Por meio de uma observação crítica percebemos que tais veículos retratados não possuem fidelidade factual com uma configuração aerodinâmica que permita, por exemplo, a execução de todas as fases do plano de voo e, conseqüentemente, transmite ao público a falsa percepção sobre a simplicidade de ter um produto como esse no contexto prático do ecossistema do Advanced Air Mobility (AAM) e Urban Air Mobility (UAM) sem a rigidez das normas de trânsito aéreo. Em *"Blade Runner - 2049"*, o policial interpretado pelo ator Ryan Gosling que

dirige seu veículo aéreo transita sobre as cidades sem a preocupação de se reportar a uma torre de controle de tráfego aéreo, sem transmitir sua geolocalização para outras aeronaves próximas, realizando transições de altitude bruscas e repentinas, como se estivesse sozinho no perímetro daquele trajeto. Com todo respeito aos renomados diretores Steven Spielberg e Robert Zemeckis, mas até mesmo o querido veículo DeLorean, do filme De Volta para o Futuro – Parte II (1989), de nada possui de aerodinâmico que permitiria, por exemplo, uma transição do eixo vertical para o horizontal. É simplesmente irreal. E por fim, para sermos justos, numa visão quase que profética, o diretor James Cameron, no clássico Exterminador do Futuro (1984), retrata uma arquitetura, de certa forma, de um carro voador similar do que está sendo apresentado atualmente por diversas empresas.

De acordo com Jiang et al. (2023), a indústria da aviação é um setor dinâmico e em constante evolução. À medida que a tecnologia avança e se torna mais sofisticada, a indústria da aviação deve acompanhar as novas tendências. Na história da aviação, é notória que toda e qualquer premissa seja direcionada à constância lógica, com planejamentos, objetivos claros e bem definidos, sendo estes os fatores propulsores impulsionados principalmente por anseios em experimentar possibilidades e pela disposição de aprimorar. Esse cenário representa uma busca incansável por alcançar eficiência, segurança e novos horizontes nas alturas.

Na seara da aviação, a imperatividade e a padronização na realização de procedimentos e testes, a exploração de conceitos e elaboração de projetos transcende a mera conveniência. Fundamenta-se na constituição de alicerces fundamentais para o progresso desta imponente ciência e indústria. A história da aviação testemunha que, desde suas origens, os pioneiros, como Orville e Wilbur Wright, compreenderam que o caminho para o êxito na engenharia aeroespacial é pavimentado por inúmeras tentativas, erros e ajustes (Page, 2021). A máxima de Orville Wright, que ressoa através das décadas, ecoa o princípio intrínseco à aviação de que a inovação requer perseverança e resiliência, instando os visionários a não desistirem perante os revezes iniciais.

Após 7 (sete) décadas do cenário vivenciado pelos irmãos Wright, Pavel (2022) aponta que os avanços tecnológicos, trazidos no início do século XXI pela revolução na troca de dados, na autonomia computacional, nos sensores, na comunicação sem fio, na internet e na inteligência artificial e de dados, contribuíram para o desenvolvimento de uma nova visão na aviação e é exatamente nesse contexto promissor que insere-se o eVTOL (*Electric Vertical Takeoff and Landing*), o qual foi iniciado em 2016 com apenas meia dúzia de projetos. Segundo a autora, hoje são mais de quatrocentas e cinquenta (450) empresas que estão em processo de

desenvolvimento de protótipos numa competição acirrada entre *start-ups*, renomados fabricantes de aeronaves, como Uber, Boeing, Embraer e Airbus) e *Big Techs*, como Amazon, Apple e Facebook.

No entanto, ainda existe uma lacuna crítica a ser preenchida no que diz respeito aos aspectos jurídicos, normativos e de certificações, principalmente quando são considerados temas que permitirão serviços inovadores como táxi aéreo, médicos e *e-commerce* inseridos no contexto do ecossistema do *Advanced Air Mobility* (AAM) e o sub-ecossistema do *Urban Air Mobility* (UAM) com previsão para iniciar sua operação para os anos próximos já no fim dessa década de 20, e quais países estão nessa corrida tecnológica aliada aos componentes regulatórios.

Segundo o *Federal Aviation Administration* o AAM pode ser definido como “*um sistema de transporte que transporta pessoas e propriedades por via aérea entre dois pontos usando aeronaves com tecnologias avançadas, incluindo aeronaves elétricas ou aeronaves elétricas de decolagem e pouso vertical (eVTOL), em espaço aéreo controlado e não controlado.*” Na mesma regra, porém restringiu que, para efeitos do plano de implementação no âmbito do AAM, é limitado àqueles que realizam operações de transporte de passageiros ou de carga com 1 piloto a bordo (FAA, 2023).

1.1 Breve análise a respeito das causas e motivações para o desenvolvimento de eVTOLs

De acordo com Bauranov e Rakas (2021), a ideia da Mobilidade Aérea Urbana (*Urban Air Mobility*), aliada ao desenvolvimento tecnológico em automação e armazenamento de energia elétrica, impulsionou o crescimento da indústria da aviação urbana. O conceito de UAM compreende um conjunto de regras, procedimentos e tecnologias que possibilitam as operações de tráfego aéreo de cargas e passageiros no ambiente urbano. A UAM faz parte da *Advanced Air Mobility* (AAM), uma iniciativa conjunta nos Estados Unidos, do FAA, NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e da indústria para desenvolver um sistema de transporte aéreo que transporta passageiros e carga com novos veículos aéreos elétricos em potenciais áreas pouco atendidas pela aviação tradicional.

O potencial das aeronaves eVTOL para transformar a mobilidade aérea em uma ampla gama de aplicações governamentais (minimização do tráfego convencional e das emissões de carbono, monitoramento militar, ambiental e de fronteiras, resgates, situações médicas) e privadas (logística de entregas, ampliação de novos mercados e táxis aéreos) precisam ser entendidas no contexto das tecnologias específicas a serem encontradas (NASA, 2021). De

acordo com a ANAC há um forte potencial para eVTOLs no mercado de táxi-aéreo urbano – voos de 15 a 50km, sob demanda, entre pontos de pouso disponíveis, para o transporte para aeroportos (*airport shuttle*) – voos de 15 a 50km, agendados, com rotas definidas entre aeroportos e pontos selecionados e para voos entre cidades próximas – de 50 a 250km, agendados, com rotas definidas (ANAC, 2023).

Os esforços para o desenvolvimento de eVTOLs também estão diretamente alinhadas com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7) da ONU, buscando promover a energia acessível e menos poluente (Kasliwal et al., 2019). Ao eletrificar o transporte aéreo, reduzindo as emissões de carbono e tornando o transporte aéreo mais acessível, os eVTOL desempenham um papel importante na construção de um futuro mais sustentável e na consecução das metas da ONU. Eles representam uma solução inovadora que contribui significativamente para a transição global para uma matriz energética mais adequada (Melo et al., 2020).

Portanto, os Veículos Elétricos de Decolagem e Pouso Vertical (eVTOL) têm uma história de desenvolvimento que remonta a várias décadas, com contribuições significativas de diferentes países, como Estados Unidos, China, França e Alemanha. Evidentemente o conceito de decolagem e pouso vertical possui raízes antigas nos helicópteros, e é preciso lembrar que a evolução para a eletrificação e a tecnologia direcionada a fontes alternativas de combustíveis ocorreu mais recentemente, como por exemplo no caso do uso do hidrogênio.

O uso de eVTOLs no mercado de UAM representa uma tecnologia potencialmente disruptiva que modificaria fundamentalmente a forma como nos deslocamos nas cidades, permitindo que os indivíduos sobrevoem estradas congestionadas e/ou fornecendo ligações mais diretas para pares origem-destino (OD) muito percorridos, tal como *airport-shuttle*. Sendo um novo modo de transporte, há muitas questões sem resposta que os fabricantes de aeronaves, bem como os planejadores urbanos e regionais, procuram responder. Por exemplo: Quais os tipos de municípios/cidades devemos visar para adoção antecipada? A infraestrutura existente de vertiporto apoia o início do serviço de táxi aéreo? Onde estão as possíveis rotas de táxi aéreo de alto volume dentro de uma cidade? A procura potencial de um serviço de táxi aéreo varia entre as cidades e, em caso afirmativo, quais fatores ajudarão a explicar as razões e variáveis?

1.2 Aspectos gerais e técnicos sobre o VTOL e o eVTOL

No âmbito do desenvolvimento de aeronaves VTOL elétricas, merece destaque a existência de 235 conceitos distintos de abordagens de vetorização de empuxo, acompanhados de 47 *rotorcraft* elétricos em diferentes estágios de desenvolvimento. Torna-se igualmente

notável o engajamento de 48 nações nesse setor, liderado pelos Estados Unidos, que abriga 124 empresas atuantes, seguido pelo Reino Unido, com 24, China, com 21, Alemanha, com 19, e Canadá, com 17. Estes países compõem quase 50% do total de projetos de aeronaves VTOL elétricas em andamento, ressaltando a dimensão e o caráter inovador do segmento de aviação neste segmento.

O FAA define a diferença fundamental entre VTOL (*Vertical Takeoff and Landing*) e eVTOL (*Electric Vertical Takeoff and Landing*) estabelecendo que o primeiro se refere a uma categoria de aeronaves que são capazes de decolar e pousar verticalmente, sem a necessidade de uma pista de decolagem ou aterrissagem. Essas aeronaves podem usar vários métodos, como motores a jato, hélices ou rotores para realizar operações de VTOL.

Por outro lado, Cardoso et al. (2022) relatam que o eVTOL (*Electric Vertical Takeoff and Landing*) é uma subcategoria de VTOL que se distingue pelo uso de propulsão elétrica. Os eVTOL são aeronaves elétricas, muitas vezes com motores elétricos alimentados por baterias. A eletrificação é uma abordagem mais apropriada e investigada em diversos setores industriais, contribuindo para a redução das emissões de carbono.

Surge naturalmente um questionamento a respeito da diferença entre o então popularmente denominado “carro voador” (veículo aéreo de transporte urbano) e o helicóptero. Do ponto fundamentado em análises puramente visuais, eles podem ser levemente semelhantes, contudo, as propostas são distintas em termos funcionais, estruturais e operacionais. A principal diferença entre as duas aeronaves é a proposta de motorização elétrica ou híbrida, com uma abordagem estratégica de tecnologia mais moderna, silenciosa, e precisamente relacionada às exigências ambientais. Almeja-se também que o controle do VTOL seja autônomo – dispensando assim um piloto, ao menos dentro do veículo, associado a possíveis custos reduzidos.

Sobre voos sem tripulação à bordo, em resposta ao aumento significativo da utilização de voo não tripulado (sigla em inglês - *Unmanned Aircraft System* (UAS)) no espaço aéreo norte-americano nacional, o FAA e o departamento de transporte dos Estados Unidos emitiram uma ficha informativa para os governos estaduais e locais resumindo os princípios jurídicos bem estabelecidos relativos à autoridade federal para regular a eficiência do espaço aéreo, incluindo a operação ou voo de aeronaves, o que inclui, por uma questão de lei. Ainda, revisa a responsabilidade do âmbito federal de garantir a segurança do voo, bem como a segurança das pessoas e bens em terra em decorrência da operação das aeronaves.

Voltando aos VTOL e eVTOLs, seus protótipos já desenvolvidos demonstram uma otimização de recursos resultando em economias quando comparado ao processo produtivo de um helicóptero. O projeto de redução de custos da cadeia produtiva está ligado à ideia de ampliação e difusão do produto. Para que o carro voador seja uma alternativa viável em países que buscam por soluções de mobilidade urbana, mas apresentam problemas socioeconômicos graves – como é o caso do Brasil – o preço para comercialização precisará estar associado aos benefícios e vantagens estratégicas do eVTOL.

Na contrapartida, a leveza de outros materiais empregados na fabricação da estrutura do VTOL compensa e assume um papel vital para contornar tal limitação. Além disso, outros materiais compostos, tais como aqueles à base de fibra de carbono (Broadbent, 2020), bora destacam-se como alternativas valiosas, proporcionando a resistência aerodinâmica necessária sem adicionar excesso de peso, o que é fundamental para otimizar o desempenho das aeronaves eVTOL, tanto na decolagem e aterrissagem quanto atingir a altura de cruzeiro, promovendo o que é de mais valioso para o passageiro e para esse novo mercado: a sensação real de segurança.

Além disso, os motores elétricos, em virtude de seu tamanho e peso relativamente reduzidos, possibilitam a adoção de sistemas de propulsão distribuída. Essa configuração envolve a utilização de diversos motores elétricos, de pequeno porte, distribuídos harmonicamente de forma estratégica pela estrutura da aeronave (Laarmann et al, 2023). Essa disposição não apenas reduz o ruído emitido, tornando a operação mais silenciosa, mas também confere maior flexibilidade e eficiência durante as fases de voo vertical, como decolagem e pouso (Qu et al., 2023).

1.3 Possíveis bases de certificações do VTOL

Uma vez que os regulamentos existentes ainda são principalmente destinados a aeronaves tradicionais, há inúmeros caminhos a serem estruturados em vários países, abrindo possibilidades e campos de debates (FAA, 2023). O projeto e as capacidades operacionais da aeronave AAM (*Advanced Air Mobility*) podem variar significativamente e incluem novas tecnologias e sistemas (como o uso de energia elétrica e o hidrogênio, conforme exibido anteriormente), exigindo o estabelecimento de novos requisitos de aeronavegabilidade e inspeções adicionais durante a certificação. Além disso, embora os candidatos à certificação inicial tenham um piloto a bordo, o objetivo de muitas empresas é eventualmente operar aeronaves de maneira autônoma.

Para o contexto brasileiro, referente à certificação do “VTOL”, a fundamentação está embasada nos Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil, publicados pela Agência Nacional

de Aviação Civil (ANAC), especificamente o RBAC nº 23, emenda 64 (ANAC, 2019). Como ainda não há uma regulamentação que direcione as certificações ao VTOL, as características inovadoras e inusitadas de projeto e operação demandarão maiores esforços de engenharia do requerente e da Agência, o que impactará o processo de certificação e, conseqüentemente, um período de certificação mais longo do que aquele requerido para a certificação de aeronaves convencionais.

Agustinho e Bento (2022) destacaram a relevância e os impactos dos requisitos operacionais no Brasil e da atual infraestrutura de Gestão de Tráfego Aéreo, bem como as principais limitações operacionais para a operação deste tipo de aeronave. no transporte de passageiros. Os autores afirmam que será preciso avançar e ampliar os esforços neste quesito, enfatizando que há espaços, lacunas e desafios a serem investigados para fortalecer o aumento das operações de eVTOL.

Nota-se, ainda, que em virtude do estágio regulatório vigente para a aplicabilidade do eVTOL, tanto em relação aos requisitos de certificação de projeto quanto de operação e treinamento, será exigido, do requerente e da autoridade aeronáutica, o desenvolvimento de uma maior compreensão dos regulamentos de aeronavegabilidade e proteção ambientais aplicáveis, correlacionadas ao local de voo, o que demandará alinhamentos adicionais na certificação do produto. No que se refere ao ponto de vista de regulação do gerenciamento do tráfego, também não há documentos ratificados. Referente à ocorrências de falhas em equipamento, sistemas, instalações, mediante a classificação grave, catastrófica e a probabilidade da condição de falha deve ser inversamente proporcional às suas conseqüências, a tendência no Brasil é estar em conformidade aos requisitos do FAA.

Em junho de 2023, o Departamento¹ de transporte dos Estados Unidos publicou um interessante relatório de auditoria cujo objetivo era mensurar o progresso do FAA na determinação da base para a certificação das aeronaves para o AAM (o que pode incluir UAM), referente à aspectos como (a) garantia da segurança de novos recursos, (b) requisito para que a classificação da categoria de elevação motorizada (*powered-lift*) seja adicionada ao certificado de piloto comercial atual e o (c) fornecimento de orientação aos requerentes, entre outros itens técnicos e operacionais, incluindo novas formas de tecnologias.

O respectivo departamento recomendou que, para que a autoridade aeronáutica norteamericana (FAA) aprimore seus esforços regulatórios e sua comunicação em relação ao processo de certificação de aeronaves para o mercado AAM e UAM, é necessário que:

- Acelerar, para aeronaves de descolagem vertical e desenvolver e implementar um plano com marcos para a conclusão da regulamentação, que inclua um processo para atualizar regularmente as partes interessadas sobre esses marcos.
- Acelerar – na medida do possível – o atual projeto de regulamentação (NPRM) que integrará a elevação vertical em certas definições regulamentares, e desenvolver e implementar um plano com marcos para a conclusão da regulamentação, que inclua um processo para atualizar regularmente as partes interessadas sobre esses marcos.
- Identificar as causas das dificuldades de comunicação e tomada de decisão relacionadas à resolução de divergências sobre AAM, e desenvolver e implementar um processo para melhor gerenciar os desafios durante o processo de deliberação para consenso em projetos futuros, bem como um processo de tomada de decisão para quando o consenso não pode ser alcançado.
- Estabelecer e implementar políticas e procedimentos que expliquem as funções e responsabilidades da CECI no processo de certificação.

A Europa também tem se preparado para adotar a Mobilidade Aérea Urbana como um novo sistema de transporte aéreo e a EASA (*European Union Aviation Safety Agency*) recebeu vários pedidos de certificação, com a ambição de permitir a mobilidade aérea urbana ou criar novas soluções para a mobilidade aérea regional.

A Europa claramente caminha para preencher uma lacuna regulatória direcionada aos eVTOLs. Na ausência de especificações de certificação adequadas para a certificação, a EASA desenvolveu antecipadamente (EASA, 2019) um conjunto completo de especificações técnicas sob a forma de uma Condição Especial, denominada como *Special Condition*, para aeronaves VTOL. Esse documento aborda as características únicas desses produtos e prescreve padrões de aeronavegabilidade para a emissão de um certificado que garanta que os VTOLs estejam seguindo os requisitos de segurança necessários. A Condição Especial, publicada em julho de 2019, moldou aspectos importantes para que os fabricantes, previamente, desenvolvessem VTOL inovadores e correspondentes aos requerimentos da EASA.

A Agência está agora em processo de criação de novas regras e de revisão das existentes para abordar novas tecnologias, conceitos operacionais de transporte aéreo, requisitos de tripulação de voo e licenciamento de operador, com o objetivo de ser ágil e de adaptar o quadro regulamentar para estar em conformidade com o Desempenho- Princípios de regulamentação baseada.

Segundo Cardoso et al. (2022) há claramente diferenças de abordagens para designar requisitos aplicáveis que consequentemente podem levar a diferenças no processo de certificação eVTOL entre FAA e EASA, e isso também poderá ocorrer no Brasil, uma vez que os requisitos de aeronavegabilidade podem ser diferentes em cada autoridade. De acordo com os pesquisadores, esta diferença criará um cenário não isonômico, o que não é desejável e facilmente aplicável aos fabricantes e indústrias. Um exemplo reportado pelos autores refere-se ao requisito relacionado à proteção contra colisões com aves. Para a FAA, seria aplicável apenas a proteção do para-brisa e dos tubos *pitot*. No entanto, de acordo com a EASA a proteção deverá ser efetiva no para-brisa, nas estruturas de uma forma geral e no sistema.

Straubinger et al. (2020) ressaltam que no âmbito regulatório europeu, para os requisitos de aeronaves e respectivas classificações (transporte intra e interurbano de passageiros), há possíveis obstáculos e desafios em vertentes diferentes: aeronaves, gestão de tráfego e requisitos de infraestrutura terrestre, enfatizando que métodos de modelagens e simulações são fundamentais para superar esse cenário.

O cumprimento dos regulamentos impostos pelas autoridades da aviação, dos EUA (FAA) e Agência Europeia para a Segurança da Aviação (EASA), será obrigatório para todos os atores deste mercado. Neste sentido, o processo de certificação dos VTOLs será de crucial importância para uma rápida introdução e aplicabilidade da Mobilidade Aérea Urbana, uma vez que a certificação dos novos conceitos de aeronaves tem sido historicamente um processo moroso (Pons-Prats et al., 2022).

Por fim, enfatiza-se que, de acordo com a investigação de Shaheen et al (2020), o papel que autoridades locais exercerão. Juntamente com as autoridades nacionais, as locais servirão como integradores da mobilidade, cujo maior objetivo será integrar o transporte com tecnologias de mobilidade emergentes, incluindo a mobilidade aérea urbana.

1.4 O papel do Estado em sinergia com a iniciativa privada do eVTOL

O Direito opera sob velocidades e dinâmicas bastante distintas das tecnologias disruptivas. Soluções inovadoras surgem e são aptas a resolver uma série de desafios relevantes, no entanto, o quadro regulatório pertinente à atividade precisará passar por debates fundamentados para fornecer as respostas às novas demandas jurídicas.

Na maioria dos casos as tecnologias disruptivas já nasceram e seus primeiros protótipos já são vistas no horizonte e do Direito são exigidas respostas. Este é o caso do VTOL e eVTOL. Nesse sentido, questiona-se: qual será o comportamento institucional das autoridades e órgãos de controle ao regular essa atividade em potencial surgimento hoje e para a próxima década?

Assim, diferentemente do que ocorreu no caso dos patinetes - cuja resposta regulatória foi o recolhimento do (excesso de) patinetes frente as mudanças reais no tráfego de pedestres e de veículos - dado o elevado risco da atividade que ora se discute, é prudente que o poder estatal não atue de maneira similar. Dada a magnitude do desafio, não deve o Estado atuar de forma isolada no propósito de elaborar respostas a estes novos desafios. A atuação em cooperação entre iniciativa privada e setor público, com a aceitação social, é primordial para a prevenção e resolução dos desafios que serão enfrentadas para implementação deste novo meio de transporte. A postura preventiva do Estado e a cooperação da esfera privada sem dúvida permitirão uma sinergia que contribuirá para a construção de um campo jurídico com regulações claras, coerentes e bem definidas para esta nova forma de transporte aéreo.

Outro questionamento que certamente será enfrentado pelos governos com o uso e disseminação de carros voadores em zonas urbanas junto às mais diversas comunidades é a questão dos riscos jurídicos referentes à privacidade e invasão de propriedade privada, por exemplo. Por voarem em baixas altitudes e com a proposta de que os pontos de embarque e desembarque sejam espalhados pelas cidades – e não apenas em helipontos – e sendo mais próximos ao solo), não restam dúvidas de que tal situações ensejarão questionamentos acerca do direito à privacidade, sobretudo por parte de residentes e frequentadores dos edifícios próximos aos pontos de embarque e desembarque.

2. Aprofundamentos direcionados ao suporte regulatório para VTOLs

A Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) desempenha um papel fundamental no estabelecimento de diretrizes e padrões para a certificação de aeronaves, incluindo a crescente categoria de Veículos Elétricos de Decolagem e Pouso Vertical (eVTOL). A ICAO é uma agência especializada das Nações Unidas que tem como objetivo promover a segurança, a eficiência e a regularidade da aviação internacional.

No contexto da aviação eVTOL, a ICAO desempenha um papel importante na definição de padrões de segurança e regulamentos que asseguram que essas aeronaves possam ser operadas de maneira segura e eficiente em escala global. Isso inclui a definição de diretrizes para a certificação de aeronaves eVTOL, garantindo que atendam aos requisitos rigorosos de segurança, desempenho e operação (Dickson, 2023).

A ICAO está também auxiliando na padronização das regulamentações de aviação em nível internacional, facilitando a aceitação e a operação de aeronaves eVTOL em diferentes

países. Isso é essencial para o crescimento da mobilidade aérea urbana e a integração bem-sucedida das aeronaves eVTOL nos sistemas de transporte globais (Melo et al., 2020).

Em suma, a ICAO desempenha um papel crucial no desenvolvimento de regulamentos e diretrizes que promovem a segurança e a interoperabilidade das aeronaves eVTOL em escala internacional, ajudando a moldar o futuro da aviação urbana sustentável.

No quesito da tríade ESG (*Environmental, Social, and Governance* - Sustentabilidade, Social e Governança), as empresas e fabricantes do mercado do UAM/AAM estão declarando publicamente seus respectivos compromissos não só com viabilidade energética do eVTOL, mas da própria cadeia produtiva da manufatura dos eVTOLs.

3. Considerações finais, prospecções e perspectivas no cenário do VTOL

Como percebido nesse capítulo, as mudanças e transformações da indústria da aviação geral com o advento dos VTOLs e eVTOLs trarão significativas mudanças e benefícios para a nova era de mobilidade urbana ou interurbana, regional, além de possibilitar a popularização do uso de transporte aéreo em metrópoles com alta densidade populacional. Tal tendência tem como pressuposto a maior circulação destas aeronaves, trazendo como consequência uma série de desafios, os quais deverão ser enfrentados em uma escala nunca vista.

No entanto, essa transformação não está isenta de desafios. Um dos mais prementes é o desenvolvimento de um marco regulatório robusto que acompanhe o ritmo da tecnologia. A integração segura do ecossistema de Advanced Air Mobility (AAM) e Urban Air Mobility (UAM) no espaço aéreo existente exige uma revisão das normas atuais, como apontado em discussões recentes no Congresso dos EUA e em fóruns internacionais de aviação.

A despeito de as iniciativas de projetos de carros voadores buscarem veículos que sejam substancialmente mais silenciosos que os atuais helicópteros – na medida em que utilizarão sistemas de motores elétricos ou híbridos –, o fato de circularem em menores altitudes e em grande quantidade certamente acarretará novos questionamentos com relação à poluição sonora urbana.

Obviamente tal preocupação será proporcional aos níveis de ruídos efetivamente emitidos por tais veículos, no entanto, é inevitável o debate social em torno do incômodo e perturbações que tais situações irão criar. É possível vislumbrar, desde já, como uma possível consequência a criação de normas que visem, por exemplo, restringir locais, altitudes, horários e talvez até a quantidade de veículos aéreos em circulação.

A aplicabilidade dos eVTOL e VTOL se estende para além do transporte comercial e privado, alcançando iniciativas governamentais significativas. Exemplos incluem o uso de

eVTOLs pelo Departamento de Defesa dos EUA para vigilância de fronteiras e sua potencial aplicação em operações de resgate médico, como investigado em estudos patrocinados pelo Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos EUA. No setor privado, a expansão dos táxis aéreos e serviços de shuttle para aeroportos sugere uma nova era de conveniência e eficiência, uma previsão apoiada por análises de mercado de consultorias como a McKinsey & Company.

Do ponto de vista técnico e geral, os VTOL e eVTOL são feitos da engenharia aeronáutica moderna, com motorização elétrica ou híbrida que não apenas promete reduzir emissões, mas também melhorar a eficiência acústica. Essa tecnologia está preparada para diminuir significativamente o tempo de deslocamento em rotas urbanas e inter-regionais, uma vantagem que a NASA tem validado em seus estudos sobre mobilidade urbana.

Contudo, a certificação de VTOLs representa um obstáculo substancial. A complexidade de garantir a segurança dessas aeronaves em ambientes operacionais diversos é um desafio que a *European Union Aviation Safety Agency* (EASA) tem enfrentado, ao trabalhar em padrões de certificação específicos.

É evidente que o acesso às tecnologias originais aeronáuticas está no cerne desta transformação à medida que a evolução da aviação geral se apoia nas discussões sobre certificação dos eVTOL (Electric Vertical Take-Off and Landing) e VTOL (Vertical Take-Off and Landing). Esses novos meios de transportes aéreos, como destacado em relatórios tanto do FAA quanto da EASA e ANAC, são casos reais e práticos de como a aviação está buscando seu próprio norte para atender às atuais e futuras demandas das próximas décadas do século XXI.

4. Referências

AGUSTINHO, J. R.; BENTO, C. A. DE M. Operational Requirements Analysis for Electric Vertical Takeoff and Landing Vehicle in the Brazilian Regulatory Framework. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 14, 2022.

ANAC. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC nº 23 Emenda nº 64 - Requisitos de aeronavegabilidade: aviões categoria normal**. ANAC- Agência Nacional de Aviação Civil, 57 p., Brasília - DF, 2019.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Advanced Air Mobility – Panorama e perspectivas**. Brasília - DF, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/ptbr/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-arquivos/aam-panorama-2023.pdf>>.

BAURANOV, A.; RAKAS, J. Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 125, p. 1-11, 2021.

BRIDGELALL, R.; ASKARZADEH, T.; TOLLIVER, D. D. Introducing an efficiency index to evaluate eVTOL designs. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 191, p. 122539, jun. 2023.

BROADBENT. Towards a new paradigm: composites in eVTOL. **Vertical**, 2020. Disponível em: < <https://verticalmag.com/features/evtol-composites-new-paradigm/>>.

CARDOSO, S. H. S. B.; OLIVEIRA, M. V. R. DE; GODOY, J. R. S. eVTOL Certification in FAA and EASA Performance-Based Regulation Environments: A Bird Strike Study-Case. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 14, 2022.

DICKSON, N. **Electric Innovations for Sustainable Aviation Second Phase of the ICAO Assistance Project with the EU Funding: “Capacity Building for CO2 Mitigation from International Aviation.** ICAO, p. 1-28, 2023. Disponível em < https://www.icao.int/environmentalprotection/Documents/ICAO_EU_II/Session11/Electric%20Innovations%20for%20Sustainable%20Aviation.pdf>.

EASA. **SPECIAL CONDITION Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Aircraft.** EASA - European Union Aviation Safety Agency. 2019.

FAA. **Concepts of Operation - Urban Air Mobility.** Washington, DC, p. 1-42, 2023.

FAA (b). **Updated Fact Sheet (2023) on State and Local Regulation of Unmanned Aircraft Systems (UAS).** Washington, DC, 10 p., 2023.

GARROW, L. A.; GERMAN, B. J.; LEONARD, C.E. Urban air mobility: A comprehensive review and comparative analysis with autonomous and electric ground transportation for informing future research. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 132, November, 103377, 2021.

GRANADO, L. *et al.* Machine learning predictions of lithium-ion battery state-of-health for eVTOL applications. **Journal of Power Sources**, v. 548, p. 232051, nov. 2022.

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANISATION. **ICAO Environmental Report . 2016**

IEA. **The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions.** Paris, 287 p. 287, 2021.

JIANG, Y.; TRAN, T. H.; WILLIAMS, L. Machine learning and mixed reality for smart aviation: Applications and challenges. **Journal of Air Transport Management**, v. 111, p. 102437, ago. 2023a.

HAAN, J.; GARROW, L. A.; MARZUOLI, A.; ROY, S.; BIERLAIRE, M. Are commuter air taxis coming to your city? A ranking of 40 cities in the United States. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 132, p. 1-14, 2021.

KASLIWAL, A. *et al.* Role of flying cars in sustainable mobility. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 1555, 9 abr. 2019.

LAARMANN, L. *et al.* Automotive safety approach for future eVTOL vehicles. **CEAS Aeronautical Journal**, v. 14, n. 2, p. 369–379, 5 mar. 2023.

MELO, S. P. *et al.* Life Cycle Engineering of future aircraft systems: the case of eVTOL vehicles. **Procedia CIRP**, v. 90, p. 297–302, 2020.

MITICI, M. *et al.* Prognostics for Lithium-ion batteries for electric Vertical Take-off and Landing aircraft using data-driven machine learning. **Energy and AI**, v. 12, p. 100233, abr. 2023.

NASA. **Electric Vertical Takeoff and Landing (eVTOL) Aircraft Technology for Public Services - A White Paper**. Washington, DC, p. 1-63, 2021.

PAGE, B. R. What Physics Students Can Learn from the Wright Brothers. **The Physics Teacher**, v. 59, n. 5, p. 340–344, 1 maio 2021.

PAVEL, M. D. Understanding the control characteristics of electric vertical take-off and landing (eVTOL) aircraft for urban air mobility. **Aerospace Science and Technology**, v. 125, p. 1+14, 2022.

PONS-PRATS, J.; ŽIVOJINOVIĆ, T.; KULJANIN, J. On the understanding of the current status of urban air mobility development and its future prospects: Commuting in a flying vehicle as a new paradigm. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 166, p. 102868, out. 2022.

QU, S. *et al.* LPV Model-based Adaptive MPC of an eVTOL Aircraft During Tilt Transition Subject to Motor Failure. **International Journal of Control, Automation and Systems**, v. 21, n. 2, p. 339–349, 30 fev. 2023.

RIBEIRO, J. K. *et al.* Repurposing urban air mobility infrastructure for sustainable transportation in metropolitan cities: A case study of vertiports in São Paulo, Brazil. **Sustainable Cities and Society**, v. 98, p. 104797, nov. 2023.

SAIAS, C. A. *et al.* Assessment of hydrogen fuel for rotorcraft applications. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 47, n. 76, p. 32655–32668, set. 2022.

SHAHEEN, S. A. *et al.* **Mobility on Demand Planning and Implementation: Current Practices, Innovations, and Emerging Mobility Futures**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/50553>>.

STRAUBINGER, A. *et al.* An overview of current research and developments in urban air mobility – Setting the scene for UAM introduction. **Journal of Air Transport Management**, v. 87, p. 101852, ago. 2020.

VELAZ-ACERA, N.; ÁLVAREZ-GARCÍA, J.; BORGE-DIEZ, D. Economic and emission reduction benefits of the implementation of eVTOL aircraft with bi-directional flow as storage systems in islands and case study for Canary Islands. **Applied Energy**, v. 331, p. 120409, fev. 2023.

YAN, X. *et al.* Rotor cross-tilt optimization for yaw control improvement of multi-rotor eVTOL aircraft. **Chinese Journal of Aeronautics**, set. 2023.