

# MOBILIDADE AÉREA URBANA

Marcelo Xavier Guterres, Phd





# Sumário

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b><i>Advanced Air Mobility</i></b>           | <b>12</b> |
| 1.1      | Subsistemas da AAM . . . . .                  | 13        |
| 1.2      | Taxonomia dos diversos aspectos AAM . . . . . | 16        |
| 1.3      | Estrutura Regulatória da AAM . . . . .        | 18        |
| 1.4      | Aeronaves do Ecossistema AAM . . . . .        | 21        |
| 1.5      | Atividades Extras . . . . .                   | 24        |
| 1.5.1    | Leituras Complementares . . . . .             | 24        |
| 1.5.2    | Análise Prática . . . . .                     | 24        |
| 1.5.3    | Questionário . . . . .                        | 24        |
| 1.5.4    | Análise Técnica . . . . .                     | 25        |



## Lista de Figuras

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1    | Representação do Tempo Adicional de Deslocamento ( $T_{AD}$ ) . . . . .         | 8  |
| 2    | O helix pteron . . . . .  | 10 |
| 1.1  | Modalidades principais de serviços de transporte aéreo urbano. . . . .          | 14 |
| 1.2  | Taxonomia dos diversos aspectos AAM . . . . .                                   | 17 |
| 1.3  | Classificação das Aeronaves no Ecossistema AAM. . . . .                         | 18 |
| 1.4  | Classificação do Espaço Aéreo na AAM. . . . .                                   | 18 |
| 1.5  | Regras e Certificações Operacionais no AAM. . . . .                             | 19 |
| 1.6  | Categorias de Regulamentação da AAM. . . . .                                    | 20 |
| 1.7  | Pilares estratégicos da AAM. . . . .  | 20 |
| 1.8  | <i>Concept design</i> - NASA Lift+Cruise . . . . .                              | 22 |
| 1.9  | <i>Concept design</i> - NASA Quiet Single Main Rotor (QSMR) . . . . .           | 23 |
| 1.10 | Obras da Linha 6 (Laranja) do metrô da cidade de São Paulo. . . . .             | 26 |
| 1.11 | A pavimentação MP-010, estrada rural em Mariópolis, sudoeste do Paraná. . . . . | 27 |



## Lista de Tabelas

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.1 | Casos de uso e parâmetros técnicos para a Mobilidade Aérea Urbana. . . . | 16 |
| 1.2 | Terminologia de Aeronaves do Ecossistema AAM . . . . .                   | 22 |



# Lista de Siglas

**AAM** *Advanced Air Mobility*

**ATM** *Air Traffic Management*

**CTOL** *Conventional Takeoff and Landing*

**eVTOL** *Electric Vertical Takeoff and Landing*

**FAA** *Federal Aviation Administration*

**NASA** *National Aeronautics and Space Administration*

**RAM** *Mobilidade Aérea Regional- Regional Air Mobility*

**STOL** *Short Takeoff and Landing*

**UAM** *Mobilidade Aérea Urbana - Urban Air Mobility*

**UAS** *Uncrewed Aircraft Systems*

**VTOL** *Vertical Takeoff and Landing*





# Preâmbulo



## A vida moderna e a mobilidade urbana: desafios e impactos

A **vida moderna** impõe às pessoas diversas necessidades, sendo os **deslocamentos uma das mais frequentes**. Seja para o trabalho, lazer ou outros compromissos cotidianos, esses deslocamentos muitas vezes não acontecem de forma eficiente, especialmente nas grandes regiões metropolitanas. Essa ineficiência, porém, não ocorre apenas nessas áreas mais densas, mas também em regiões turísticas ou rurais, onde frequentemente faltam infraestruturas adequadas que garantam uma **mobilidade eficiente**.

As **soluções para melhorar a eficiência dos deslocamentos** geralmente não são simples, principalmente devido à falta de planejamento urbano das cidades que cresceram de forma desordenada, sem planejamento adequado. Esses **fenômenos urbanos** exigem intervenções sofisticadas e caras, que nem sempre resolvem efetivamente os problemas enfrentados pela população.

Um exemplo clássico dessa complexidade são as obras para ampliação ou **construção de novas linhas de metrô**. Esses projetos possuem elevados custos de projeto e execução, com longos períodos para recuperação do investimento. Além disso, essas obras normalmente levam muitos anos para serem concluídas e, durante esse período, provocam problemas adicionais aos deslocamentos cotidianos, pois vias importantes precisam ser interditadas total ou parcialmente. Um exemplo real desta problemática pode ser observado na Figura 1.10 do Anexo, que mostra as obras da Linha 6-Laranja do metrô de São Paulo.

Por outro lado, quando os **investimentos em infraestrutura de transporte** são adequadamente selecionados, os benefícios para a população tornam-se evidentes. Por exemplo, a pavimentação de estradas rurais pode melhorar significativamente o acesso a regiões turísticas, **reduzindo o tempo médio de deslocamento e aumentando o número de visitantes**. Tais melhorias na infraestrutura viária impactam diretamente a economia local, impulsionando o desenvolvimento regional.



Um exemplo real desta realidade pode ser observado na Figura 1.11 do Anexo, que apresenta o caso de uma estrada rural no sudoeste do Paraná.

Além dos casos anteriores, outro **desafio importante relacionado à mobilidade é a insuficiência ou ausência completa de dispositivos de infraestrutura, como: aeroportuária, rodoviária e de terminais marítimos de passageiros**. Essa deficiência limita não apenas a mobilidade cotidiana, mas também restringe o potencial de desenvolvimento turístico e econômico dessas regiões.

Essa situação também gera impactos comportamentais, como aumento nos níveis de estresse e redução na qualidade de vida dos usuários dos sistemas de transporte. Em síntese, **deslocar-se, principalmente nas grandes cidades, permanece uma tarefa complexa e desgastante, demandando soluções inovadoras e integradas para transformar essa realidade**.

Por outra perspectiva, é importante considerar os **custos envolvidos nos deslocamentos, sejam eles tangíveis ou intangíveis**. Um dos custos mais evidentes é o tempo médio necessário para se deslocar entre dois pontos, especialmente nas grandes cidades.

Graças à ampla utilização dos sistemas e aplicativos de navegação, estão disponíveis uma abundância de dados sobre os deslocamentos urbanos. Com o **conhecimento adequado em estatística**, analistas conseguem determinar o **tempo ideal**, ou **tempo desimpedido**, de uma viagem, isto é, o tempo necessário para realizar o trajeto sem interferências como engarrafamentos ou outros obstáculos.

Ainda, os analistas podem medir a eficiência dos deslocamentos urbanos utilizando o indicador **Tempo Adicional de Deslocamento** ( $T_{AD}$ ), definido pela Equação 1:

$$T_{AD} = T_{real} - P_5(T_{trajeto}) \quad (1)$$

Onde:

- $T_{AD}$ : Tempo Adicional de Deslocamento (minutos);
- $T_{real}$ : Tempo efetivamente gasto no trajeto, considerando as condições reais observadas (minutos);
- $P_5(T_{trajeto})$ : Tempo correspondente ao percentil 5% do conjunto histórico dos tempos registrados no mesmo trajeto (minutos).

A Equação 1 permite mensurar, acompanhar e analisar a eficiência das rotas e desloca-

mentos urbanos de forma robusta e realista, oferecendo uma visão clara sobre o impacto dos congestionamentos em comparação às condições ótimas tipicamente encontradas na prática operacional.

A Figura 1 ilustra este conceito, apresentando um exemplo prático em que o  $T_{AD}$  é calculado comparando-se o tempo gasto em condições reais com congestionamento (45 min) ao tempo referente ao percentil 5% dos dados históricos da mesma rota (20 min), resultando em um  $T_{AD}$  de 25 minutos.

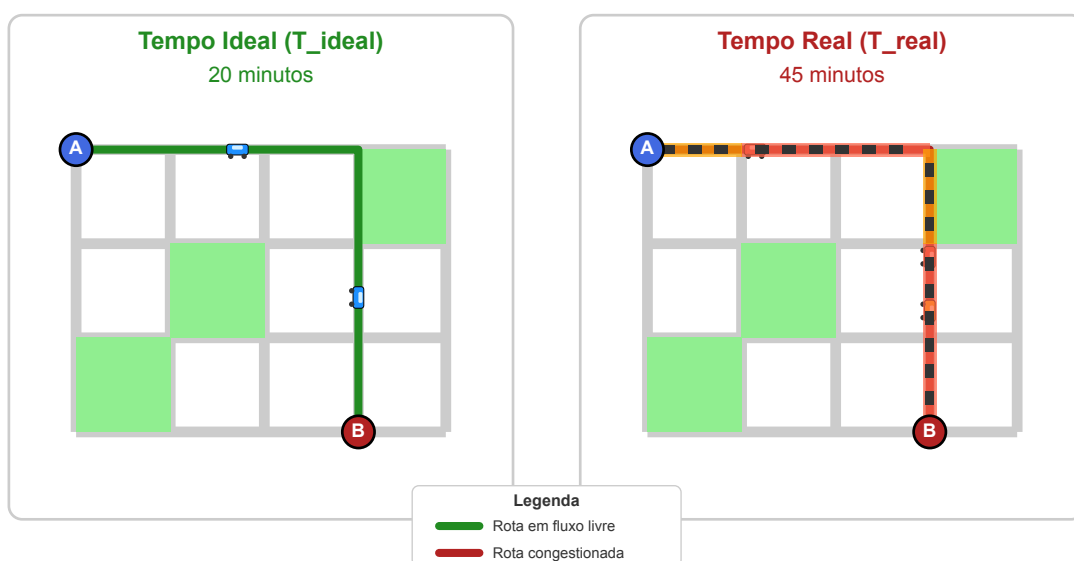


Figura 1: Representação do Tempo Adicional de Deslocamento ( $T_{AD}$ )



Além do relatado, existem **custos intangíveis**, mais difíceis de serem mensurados com precisão, mas não menos importantes, como o **impacto que o tempo perdido em engarrafamentos causa na saúde mental das pessoas**. Não é preciso recorrer a estudos científicos complexos para perceber que longos períodos diários em congestionamentos prejudicam significativamente o bem-estar psicológico, **gerando estresse, ansiedade e até mesmo depressão**.

### Os custos intangíveis da mobilidade urbana

Além do impacto no estado mental, existem outros custos que dificilmente podem ser mensurados com precisão, mas que influenciam fortemente a qualidade de vida nas cidades. Por exemplo, a **perda de tempo não só afeta a saúde mental, mas também limita o tempo disponível para outras atividades importantes, como lazer, convivência familiar e descanso**. Essa perda de qualidade de vida é um fator relevante que muitas vezes é ignorado nas análises de eficiência de transporte.







## A resistência ao uso de transportes públicos

Outra questão que impacta a eficiência da mobilidade urbana é a resistência de muitas pessoas ao uso do transporte público. Mesmo com opções alternativas como ônibus, metrô e trens, muitos ainda preferem utilizar veículos próprios. As razões para isso podem ser diversas: **a percepção negativa dos transportes públicos**, a falta de conforto, a falta de opções de horários, ou até mesmo o desejo de ter controle sobre o próprio deslocamento, o que está ligado a um comportamento de posse — a ideia de que ter um carro ou outro veículo particular é uma forma de **liberdade e autonomia**.



## A perspectiva para os deslocamentos terrestres

Embora existam alternativas de **transporte e avanços tecnológicos** que podem melhorar a mobilidade urbana, parece que a eficiência nos deslocamentos terrestres está longe de ser uma realidade. A falta de integração entre os diferentes modos de transporte e a resistência ao uso de alternativas sustentáveis tornam a solução de longo prazo ainda um desafio. A introdução de soluções inovadoras, como a **Mobilidade Aérea Urbana**, pode ser uma possibilidade para enfrentar esses desafios no futuro.

## O que esperar da Mobilidade Aérea Urbana

A ideia de mobilidade vertical, que envolve decolagens e pousos verticais (VTOL), remonta até a época de **Leonardo da Vinci**. Por volta de 1490, da Vinci já esboçava uma aeronave que utilizava um parafuso aéreo, considerado o precursor dos helicópteros modernos. Ele chamou sua invenção de *helix pteron* (Figura 2), ou asa em espiral. Curiosamente, cerca de 2.500 anos antes, os chineses já haviam utilizado o mesmo princípio do movimento ascendente em um brinquedo semelhante a um pião voador <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>O texto dessa seção foi adaptado a partir de <https://www.porsche-consulting.com/france/fr/publication/future-vertical-mobility>

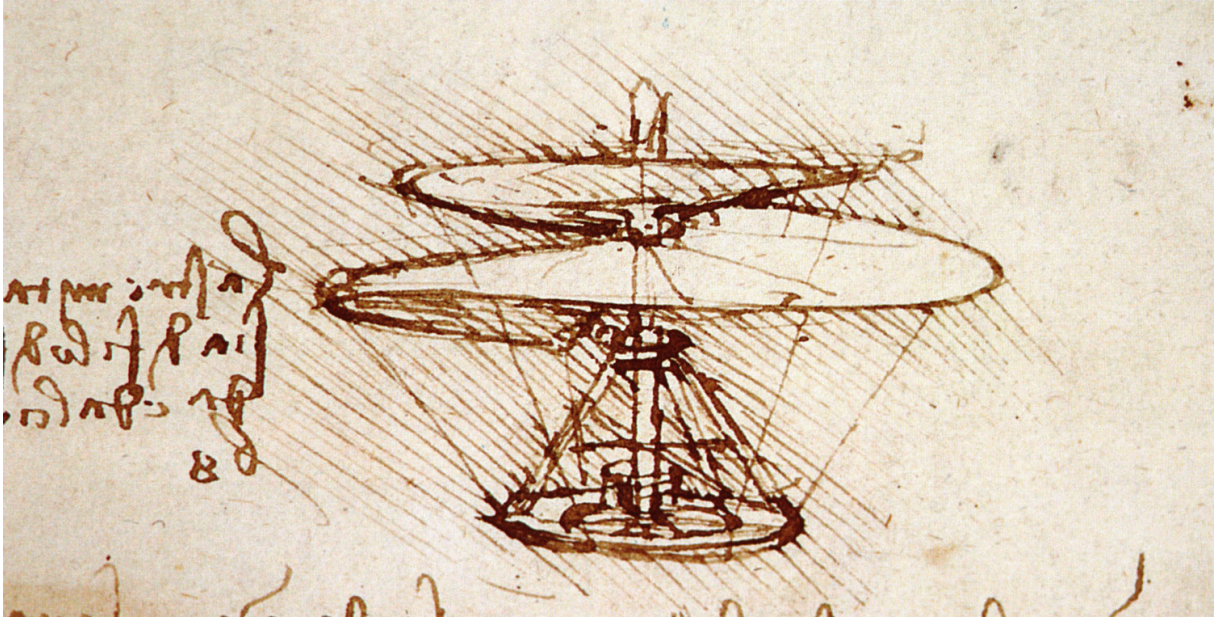


Figura 2: O helix pteron



No entanto, apenas recentemente as **tecnologias modernas** permitiram utilizar o **espaço aéreo**, especialmente nas grandes cidades, para conexões urbanas de curta distância. **Sistemas de propulsão elétrica ecologicamente corretos, baterias de alto desempenho com carregamento rápido, requisitos mínimos de espaço para pousos e decolagens, além da capacidade avançada de processamento computacional e uso intensivo de big data,** criaram as condições necessárias para aplicações revolucionárias. **Estamos diante do início de uma era em que qualquer pessoa poderá operar uma aeronave.**

Claro, todas as grandes inovações enfrentam inicialmente **resistência e desconfiança**, reações humanas naturais frente a mudanças significativas. Cientes disso, os autores do estudo *O Futuro da Mobilidade Vertical*<sup>2</sup> consideraram essas preocupações em suas análises. Contudo, estão convencidos de que as **tecnologias avançadas incluirão os recursos necessários de segurança e proteção, eliminando dúvidas e temores de forma clara e convincente.**

## O que esperar do Livro

Este livro oferece aos entusiastas do transporte aéreo, incluindo profissionais da indústria, acadêmicos e agentes do governo, um **manual prático que permite compreender, planejar e implementar de maneira abrangente esse novo modal de transporte, auxiliando na tomada de decisões estratégicas para sua integração aos sistemas existentes.**

<sup>2</sup>UBER Uber Technologies Inc. 2016. Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation. <https://www.uber.com/elevate.pdf>.



Inicialmente será apresentado o **ecossistema emergente da Mobilidade Aérea Urbana (UAM)**, esclarecendo seus principais componentes, as tecnologias de aeronaves eVTOL (*electric Vertical Take-Off and Landing*) e os diversos agentes envolvidos nesta transformação do transporte urbano. Em seguida, avançaremos para o **planejamento do lado terra**, com destaque para modelos de previsão de demanda e a adaptação de métodos consolidados de planejamento urbano, regional e de transportes, agora ampliados pela inclusão dos **vertiportos como novos polos geradores de tráfego** e elementos transformadores do espaço urbano.

Exploraremos também critérios essenciais para a **seleção de sítios vertiportuários**, abordando aspectos que vão desde restrições aeronáuticas e marcos regulatórios até acessibilidade e impacto urbano. Em paralelo, serão discutidos elementos centrais do design de vertiportos, abrangendo **projetos básicos relacionados à engenharia civil, elétrica, sistemas de apoio operacional e soluções sustentáveis** para minimizar o impacto ambiental destas novas infraestruturas.

Estabelecidas as bases do planejamento do lado terra, o livro avança para o **planejamento do lado ar**, abordando aspectos fundamentais relacionados à organização e operação das áreas de movimentação de aeronaves. Serão apresentadas considerações específicas sobre operações aéreas em vertiportos, destacando questões técnicas e procedimentos operacionais para garantir eficiência e segurança.

Por fim, cada capítulo contará com exemplos práticos, estudos de caso relevantes e métodos claramente demonstrados, permitindo ao leitor assimilar conceitos de maneira prática e intuitiva. **O objetivo é proporcionar um material robusto e acessível, que facilite o planejamento integrado deste novo modal de transporte em todas as suas dimensões**, com aplicabilidade em diferentes contextos urbanos e regionais. Adicionalmente, o livro oferece reflexões sobre tendências futuras e próximos desenvolvimentos no setor, preparando os leitores para acompanhar a evolução contínua desta tecnologia disruptiva.





# 1 *Advanced Air Mobility*

A **Advanced Air Mobility (AAM)** é uma **proposta inovadora para revolucionar o transporte aéreo**. Para tanto, utilizará **aeronaves elétricas, autônomas e menos ruidosas**. Esse novo conceito está sendo desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, *Federal Aviation Administration (FAA)*, *European Union Aviation Safety Agency (EASA)* e Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), em parceria com a academia e o mercado. Seu **objetivo é viabilizar transporte ágil e eficiente**. Atender áreas tradicionalmente negligenciadas pela **aviação convencional**, tanto **urbanas** quanto **rurais** [8].

Uma **aplicação prática, por exemplo, será a entrega rápida de medicamentos em regiões remotas**. Outra possibilidade será o **transporte de passageiros entre aeroportos e centros urbanos**. Estas aplicações facilitarão conexões e ampliarão o alcance do **transporte aéreo convencional** [8].

Ademais, a AAM possibilitará **diversos novos tipos operações aéreas**. **Abrangendo desde pequenas entregas locais até rotas regionais entre cidades médias**. Alcançará também conexões entre grandes centros metropolitanos.

Este modelo conectará locais antes inacessíveis ou mal atendidos. Aproveitar-se-á das novas tecnologias para integrar regiões. Em síntese, **dinamizará a mobilidade urbana e rural de forma eficiente**.

**Principais aplicações práticas da AAM incluem:**

- *Entrega rápida de medicamentos em regiões isoladas;*
- *Transporte de passageiros entre centros urbanos e aeroportos;*
- *Conexões regionais facilitadas entre cidades médias;*
- *Apoio em situações de emergência médica e operações de resgate.*

Estas aplicações irão **transformar a qualidade de vida das pessoas**. Permitindo acesso

rápido a recursos essenciais. Oferecerá serviços críticos com maior eficiência. Também **reduzirá tempos de deslocamento e impactos ambientais**.

Para **operar de forma eficiente**, a AAM utilizará infraestruturas existentes e novas, como: **aeroportos, heliportos e vertiportos**. O sistema contará com **novas aeronaves, casos de uso e modelos de negócios**. Atenderá **novas necessidades dos viajantes, consumidores, transportadoras aéreas e proprietários de infraestrutura** [4].

Pelo exposto, infere-se que a AAM apresentará oportunidades significativas para as comunidades. Contudo, o relatório PAS [4] identifica vários desafios. Estes incluem **impactos comunitários, aceitação pública e segurança**. **Somam-se questões de equidade social, uso da terra e integração multimodal**. Todos são fatores fundamentais para planejamento e implementação eficazes.

Para tanto, será **essencial o envolvimento de planejadores e formuladores de políticas**. Este engajamento irá **preparar as comunidades para os impactos do ecossistema emergente**. Isto assegurará uma **transição ordenada e benéfica para todos os envolvidos**.

Enfim, o planejamento adequado aborda **múltiplas questões transversais**. O quais englobam, por exemplo, **mobilidade, uso da terra e proteção ambiental**. Contemplando **financiamento, desenvolvimento econômico e equidade social**. Assim, os planejadores, com suas funções multidisciplinares, estão estrategicamente posicionados. Estes podem e devem auxiliar comunidades a compreender e se preparar. São capazes de orientar o **crescimento da AAM de forma sustentável e inclusiva** [4].

## 1.1 Subsistemas da AAM

A AAM será composta basicamente por três subsistemas. São eles:

**Mobilidade Aérea Urbana - Urban Air Mobility (UAM)**: Transporte aéreo seguro, sustentável, acessível e econômico em áreas metropolitanas, voltado para passageiros, entrega de mercadorias e serviços de emergência. Atua em ambientes urbanos, suburbanos e exurbanos<sup>1</sup>.

**Infraestrutura**: vertiportos, heliportos adaptados, pontos de pouso e decolagem específicos para eVTOLs, áreas dedicadas para drones e espaços adaptados em edifícios existentes.

<sup>1</sup>Ambientes urbanos referem-se a áreas densamente povoadas com edificações contíguas. Ambientes suburbanos são áreas residenciais periféricas com densidade moderada, e exurbanos são áreas próximas ao campo, com baixa densidade populacional, mas ainda sob influência econômica urbana.



**Mobilidade Aérea Rural:** Transporte aéreo para regiões pouco povoadas, abrangendo mobilidade de passageiros, logística e emergências médicas. Interliga comunidades rurais a centros urbanos e inclui serviços específicos, como pulverização agrícola com drones.

**Infraestrutura:** pequenos aeródromos, helipontos, pistas rurais e áreas adaptadas para pousos e decolagens emergenciais.

**Mobilidade Aérea Regional- *Regional Air Mobility (RAM)*:** Transporte aéreo para médias distâncias, entre 50 e 500 milhas (80 a 800 km), conectando regiões intra e inter-regionais<sup>2</sup>.

**Infraestrutura:** aeroportos regionais, pequenos terminais aeroportuários, pistas preparadas para aeronaves de pequeno porte, e instalações adaptadas para operação regional.

Em complemento, H. Pak *et al* [9] apresentam **quatro modalidades principais de serviços de transporte aéreo urbano** na Figura 1.1, cada qual voltada a **necessidades específicas de deslocamento**.



Figura 1.1: Modalidades principais de serviços de transporte aéreo urbano.

### 1. *Sub-Urban-Commuter* (Pendular Suburbano)

Este serviço atenderá principalmente pessoas que se deslocam diariamente dos subúrbios ou áreas residenciais periféricas para o centro da cidade. Funciona como uma **alternativa mais rápida aos transportes terrestres convencionais**, reduzindo significativamente o tempo de deslocamento em áreas congestionadas.

### 2. *Intra-City* (Intracidade)

Também conhecido como **táxi aéreo**, este serviço operará sob demanda entre diferentes

<sup>2</sup>Conexões intra-regionais referem-se a ligações entre localidades numa mesma região geográfica, econômica ou administrativa.

pontos dentro da mesma cidade. Oferece flexibilidade total, permitindo que os passageiros **escolham qualquer local de pouso autorizado na malha urbana**, criando uma rede de transporte ponto a ponto altamente personalizada.

### 3. *Airport-Shuttle* (Transporte Aeroportuário)

Este serviço fornecerá **conexões diretas entre pontos estratégicos da cidade e o aeroporto**, normalmente em horários pré-determinados. Especialistas preveem que esta modalidade será provavelmente a primeira forma de Mobilidade Aérea Urbana a ser implementada em larga escala, inicialmente com foco em passageiros *premium* de companhias aéreas e, gradualmente, expandindo para todos os viajantes.

### 4. *Inter-City* (Intermunicipal)

Este serviço conectará cidades próximas, cobrindo distâncias maiores que os serviços estritamente urbanos. Por operar em trajetos mais longos, pode utilizar tanto **aeronaves eVTOL** quanto **aeronaves de decolagem e pouso curtos (STOL)**. Esta modalidade se aproxima do conceito de **RAM**, embora geralmente empregue aeronaves menores e mais ágeis.

Essas **quatro modalidades representam a base do ecossistema da AAM**, oferecendo alternativas mais rápidas, eficientes e potencialmente mais sustentáveis aos meios de transporte convencionais, sobretudo em áreas metropolitanas com alta densidade populacional e congestionamentos frequentes.

A Tabela 1.1 sintetiza os principais casos de uso, apresentando parâmetros essenciais, como alcance operacional e velocidade. Além disso, inclui a variante **Metroplex**, definida como uma ampliação do conceito *Intra-City* aplicável a regiões metropolitanas de grande extensão territorial, alta densidade populacional e complexidade operacional elevada.

| Caso de Uso  | Alcance        | Velocidade       | Descrição   |
|--|----------------|------------------|---|
| Intra-Cidade<br>( <i>Intra-City</i> )                  | Até 50 km      | Até 100 km/h     | Voos sob demanda dentro das áreas centrais e urbanizadas das cidades. Alta densidade de tráfego e operações de curta distância. Missão de voo com até duas paradas intermediárias sem necessidade de recarga.                   |
| Metrópole Expandida<br>( <i>Metroplex</i> )            | Até 100 km     | Até 150 km/h     | Voos sob demanda em áreas centrais de grandes metrópoles (mega-cidades). Operações em distâncias maiores que no contexto estritamente urbano. Missão de voo com nenhuma ou uma parada intermediária sem necessidade de recarga. |
| Transporte Aeroportuário<br>( <i>Airport Shuttle</i> ) | Até 30 km      | Até 150 km/h     | Voos programados entre aeroportos e locais selecionados ( <i>Central Business District</i> - CBD). Veículos com maior capacidade de carga e espaço para bagagem. Missão entre dois vertiportos com recarga a cada trecho.       |
| Comutação Suburbana<br>( <i>Suburban-Commuter</i> )    | Até 70 km      | Até 150 km/h     | Voos programados entre subúrbios ou cidades satélites e o centro urbano. Demanda concentrada em horários de pico e baixa nos períodos intermediários. Missão entre dois vertiportos com recarga a cada trecho.                  |
| Inter-Cidades<br>( <i>Inter-City</i> )                 | Mais de 100 km | Mais de 100 km/h | Voos programados entre duas ou mais cidades próximas. Veículos para voos de média/longa distância com maior conforto para passageiros. Missão entre dois vertiportos, com recarga após cada voo.                                |

Tabela 1.1: Casos de uso e parâmetros técnicos para a Mobilidade Aérea Urbana.

## 1.2 Taxonomia dos diversos aspectos AAM

A AAM abrange uma ampla gama de tecnologias, configurações de propulsão e aplicações. A Figura 1.2 apresenta uma taxonomia dos principais aspectos desse ecossistema, organizando-os em cinco categorias principais: **modelo de energia**, **modelo de controle**, **configuração de propulsão**, **sistemas inteligentes** e **aplicações** [2].

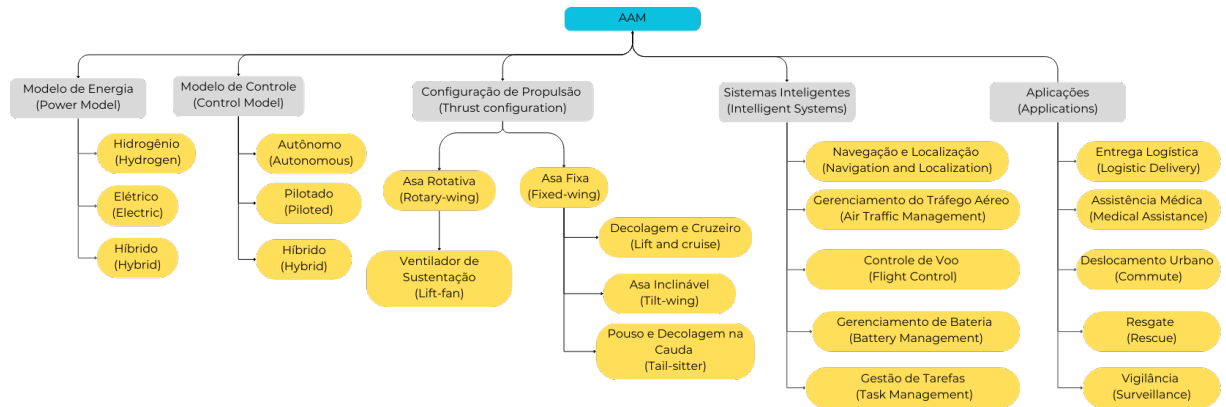


Figura 1.2: Taxonomia dos diversos aspectos AAM

O **modelo de energia** define a fonte de propulsão das aeronaves, podendo ser **hidrogênio, elétrico ou híbrido**, refletindo as tendências da aviação sustentável e a busca por maior eficiência energética. O **modelo de controle** classifica as aeronaves em autônomas, pilotadas ou híbridas, destacando a evolução tecnológica no gerenciamento de voos e na integração de inteligência artificial para controle de aeronaves.

A **configuração de propulsão** diferencia as aeronaves com asas rotativas e asas fixas, **influenciando diretamente sua aerodinâmica e operação**. Entre as aeronaves de asa fixa, há subdivisões como *Lift and Cruise*, que separa os sistemas de decolagem e cruzeiro, *Tilt-wing*, que permite variação na inclinação das asas, e *Tail-sitter*, que possibilita pouso e decolagem na posição vertical.

Os **sistemas inteligentes** englobam tecnologias para a operação segura e eficiente das aeronaves AAM, incluindo **navegação e localização, gestão do tráfego aéreo, controle de voo, gerenciamento de baterias e gestão de tarefas**. Essas inovações garantem a viabilidade das operações autônomas e a **integração com os sistemas de controle aéreo existentes**.

Por fim, as **aplicações da AAM** abrangem diversas áreas, como **entregas logísticas, assistência médica, transporte urbano (commute), resgate e vigilância**. Essas aplicações evidenciam o impacto positivo da AAM na mobilidade urbana e em serviços essenciais, promovendo maior acessibilidade e eficiência no transporte aéreo.

Em resumo, a taxonomia apresentada na Figura 1.2 fornece uma visão sobre os elementos fundamentais da AAM, auxiliando na compreensão dos desafios e oportunidades desse setor emergente.

### 1.3 Estrutura Regulatória da AAM

Até o momento, não há um arcabouço regulatório consolidado para a AAM. No entanto, alguns avanços foram feitos, e os países que começaram a desenvolver políticas para governar esse ecossistema têm concentrado seus esforços em três pilares fundamentais:

- **Aeronaves e requisitos de aeronavegabilidade;**
- **Gerenciamento do espaço aéreo; e**
- **Requisitos operacionais.**

Um ecossistema típico da AAM é ilustrado pelas Figuras 1.3 a 1.5, estruturado a partir de regulamentações já existentes, especialmente aquelas aplicáveis a helicópteros e aeronaves de asa fixa.

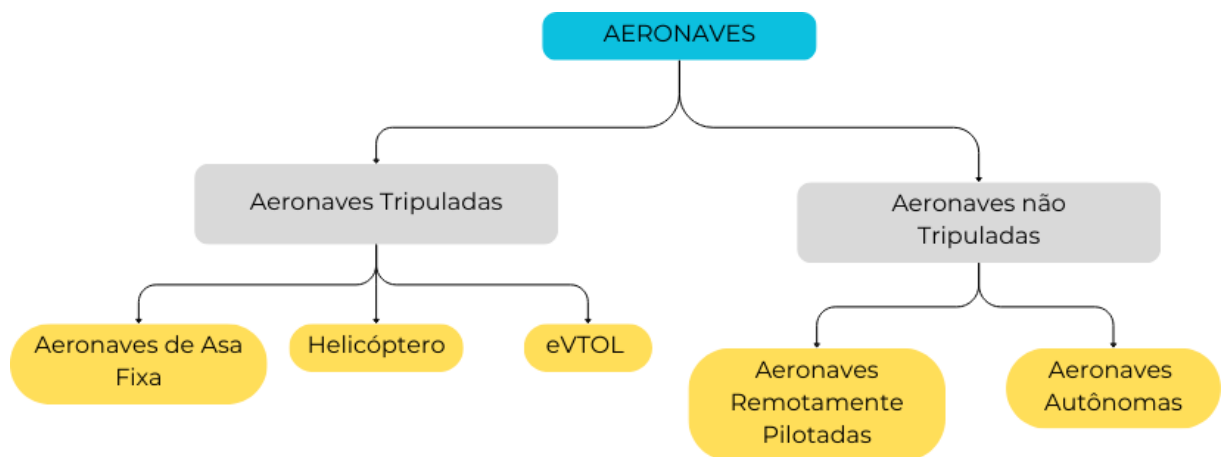


Figura 1.3: Classificação das Aeronaves no Ecossistema AAM.

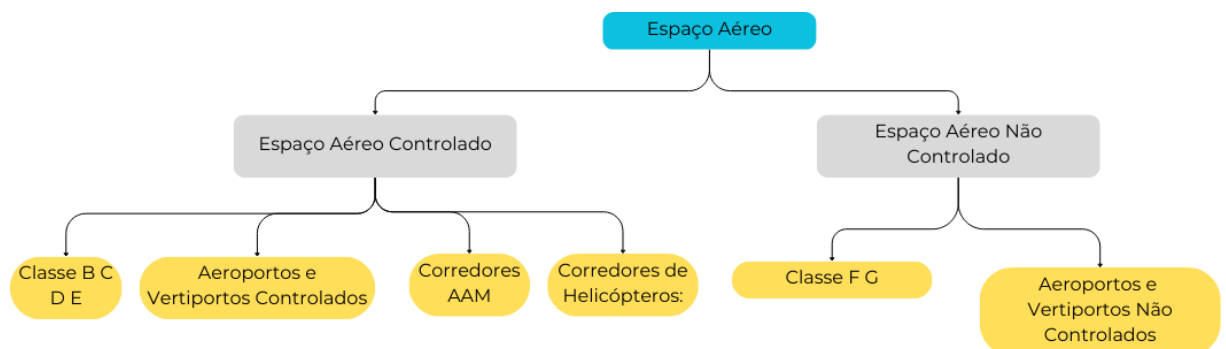


Figura 1.4: Classificação do Espaço Aéreo na AAM.



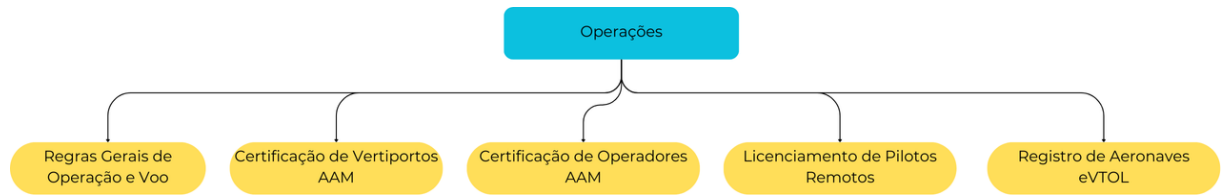


Figura 1.5: Regras e Certificações Operacionais no AAM.

Embora o AAM prometa uma revolução no transporte urbano, trazendo benefícios como **conectividade aprimorada e operações potencialmente mais sustentáveis**, há desafios críticos a serem superados antes que essa tecnologia se torne uma realidade consolidada. Dentre eles, destacam-se:

- **regulamentações técnicas que garantam a segurança operacional;** e
- **gerenciamento do espaço aéreo**, uma vez que os sistemas atuais de *Air Traffic Management* (ATM) não foram projetados para integrar aeronaves operando em altitudes mais baixas, onde os drones e eVTOLs desempenharão um papel central.

Para estabelecer um **arcabouço regulatório**, cobrindo aspectos como **certificação de aeronaves, infraestrutura terrestre e integração ao espaço aéreo**, um estudo de mercado conduzido pela McKinsey [6] destaca cinco categorias (Figura 1.6) fundamentais de regulamentação necessárias para viabilizar serviços como **entregas de última milha, metrô aéreo e táxis aéreos**, vide a <sup>3</sup>

De forma semelhante, a Morgan Stanley Research [7] ressalta que a regulamentação do AAM deve considerar as diferenças entre os diversos tipos de aeronaves e suas implicações para os sistemas de gerenciamento de tráfego e espaço aéreo.

Complementando essa perspectiva, Ravich [10] argumenta que a mobilidade aérea sob demanda exigirá que legisladores abordem desafios adicionais, incluindo **gestão do espaço aéreo, direitos de propriedade, impactos ambientais, privacidade e segurança cibernética**.

<sup>3</sup>Os termos referem-se a diferentes aplicações da AAM: (i) **entregas de última milha** são operações logísticas que utilizam aeronaves não tripuladas para entregar mercadorias do centro de distribuição final ao consumidor; (ii) **metrô aéreo** referem-se a rotas fixas de transporte urbano utilizando eVTOLs em corredores aéreos predeterminados, funcionando como alternativa aos sistemas de transporte público terrestres; e (iii) **táxis aéreos** consistem em serviços sob demanda que transportam passageiros entre locais escolhidos por eles, proporcionando maior flexibilidade de rotas.

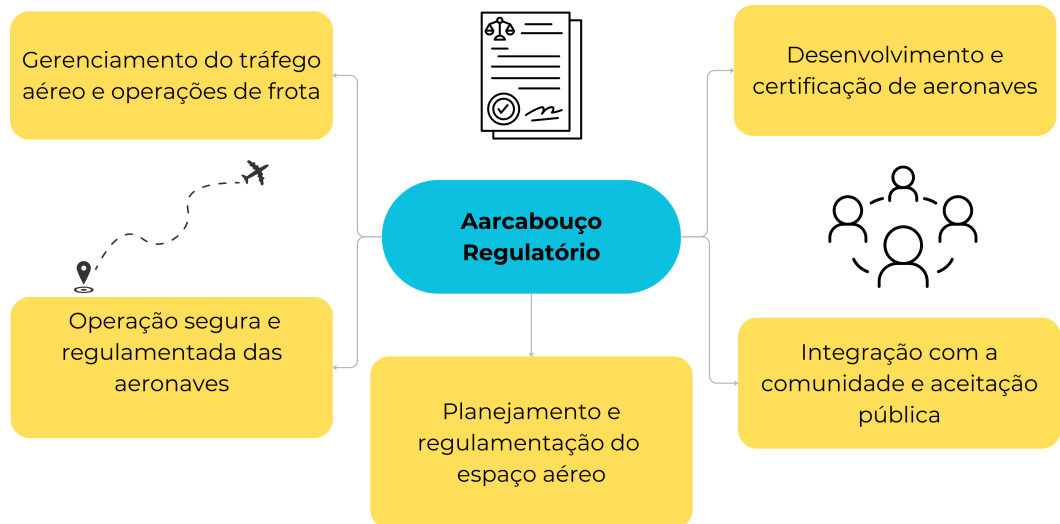


Figura 1.6: Categorias de Regulamentação da AAM.

Em outra perspectiva, a Associação Australiana de Sistemas Não Tripulados (AAUS) [3], em seu relatório de 2021 sobre AAM, identifica seis pilares estratégicos essenciais para a implementação desse novo paradigma destacados na Figura 1.7.



Figura 1.7: Pilares estratégicos da AAM.

Em síntese, a **evolução do ecossistema AAM dependerá, portanto, de uma abordagem regulatória holística e adaptativa, que equilibre inovação tecnológica com segurança operacional**. O amadurecimento deste arcabouço normativo será essencial para viabilizar a plena integração da mobilidade aérea avançada ao panorama urbano existente,

possibilitando não apenas novos modelos de transporte, mas também uma transformação profunda na concepção de mobilidade urbana para as próximas décadas. O papel das agências reguladoras, em colaboração com a indústria e a academia, será determinante para estabelecer um ambiente propício à inovação, sem comprometer a segurança do espaço aéreo e as necessidades das comunidades beneficiadas.

## 1.4 Aeronaves do Ecossistema AAM

Para alcançar os objetivos AAM, **novas aeronaves estão sendo projetadas** especificamente para operar neste contexto diferenciado de espaço aéreo. Tais aeronaves possuem características distintas dos aviões e helicópteros tradicionais, oferecendo soluções adaptadas às operações urbanas e suburbanas.

Uma categoria essencial neste ecossistema são as aeronaves eVTOL (*electric Vertical Take-off and Landing*), ou seja, aeronaves elétricas com capacidade de decolagem e pouso vertical. Estas são projetadas especialmente para **integração em áreas urbanas densamente povoadas, devido ao seu tamanho reduzido, menores níveis de ruído e emissões reduzidas**.

Além disso, destacam-se também os Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas (UAS - *Unmanned Aircraft Systems*). Estes operam de forma autônoma ou com mínima supervisão humana, expandindo significativamente as possibilidades operacionais, como em entregas rápidas, inspeções de infraestrutura e monitoramento aéreo urbano.

Diferentemente das aeronaves tradicionais, as aeronaves da AAM têm **porte reduzido e operam em altitudes mais baixas**, o que torna inviável seu rastreamento ou controle contínuo por tecnologias convencionais, como radar ou satélite. Tal condição demanda a **implementação de novos sistemas de monitoramento e gerenciamento do tráfego aéreo**.

Para uma visão da terminologia, a Tabela 1.2 apresenta a terminologia técnica das principais aeronaves que compõem o ecossistema AAM, fornecendo definições simplificadas que facilitam a compreensão dos conceitos abordados.

| Termo  | Definição   |
|--|---|
| Decolagem e pouso convencionais - <i>Conventional Takeoff and Landing (CTOL)</i> | Aeronave de asa fixa que necessita de pista convencional para decolar e pousar.   |
| Decolagem e pouso curtos - <i>Short Takeoff and Landing (STOL)</i>               | Aeronave que requer pistas curtas para operações de decolagem e pouso.  |
| Decolagem e pouso verticais - <i>Vertical Takeoff and Landing (VTOL)</i>         | Aeronave capaz de decolar, pairar e pousar verticalmente sem a necessidade de pista. Aeronaves VTOL frequentemente usam propulsão elétrica (eVTOL). |
| Aeronave de asa rotativa   | Aeronave que gera sustentação por meio de rotores giratórios, como helicópteros e autogiros.  |
| Sistemas de aeronaves não tripuladas - <i>Uncrewed Aircraft Systems (UAS)</i>    | Aeronave não tripulada e seus componentes relacionados, como sistemas de controle e comunicação, essenciais para sua operação segura e eficiente.   |

Tabela 1.2: Terminologia de Aeronaves do Ecossistema AAM

A configuração aeronáutica mais destacada na atual fase de desenvolvimento da AAM é a denominada **Lift+Cruise**. Um exemplo conceitual é exibido na Figura 1.8.



Figura 1.8: Concept design – NASA Lift+Cruise

Fonte: Adaptado de <https://evtol.news/nasa-lift-cruise>.

A aeronave *Lift+Cruise* opera em dois modos principais distintos:

**Decolagem e pouso verticais:** utiliza as hélices específicas para operações em áreas restritas.

**Voo horizontal em cruzeiro:** onde outras hélices assumem o controle para maior eficiência em voo horizontal.

Essa configuração aproveita a **flexibilidade operacional semelhante ao helicóptero com a eficiência aerodinâmica de aeronaves de asa fixa tradicionais**. Ademais, essas aeronaves podem ser operadas por pilotos humanos ou de forma autônoma, oferecendo versatilidade operacional.

A predominância de características semelhantes às aeronaves de asa fixa confere vantagens importantes no **processo de certificação regulatória**. Pois, aeronaves com características já conhecidas e amplamente regulamentadas possuem facilidades adicionais durante o **processo de certificação**.

Outro exemplo de destaque no desenvolvimento da AAM é o **helicóptero elétrico Quiet Single Main Rotor (QSMR)** desenvolvido pela NASA, ilustrado na Figura 1.9. Este **helicóptero eVTOL** está sendo projetado com foco especial na **redução de ruídos**, podendo transportar até seis passageiros e sendo operado de forma pilotada ou autônoma.



Figura 1.9: Concept design - NASA Quiet Single Main Rotor (QSMR)

Fonte: Adaptado de <https://evtol.news/nasa-quiet-main-rotor>.

O QSMR utiliza propulsão elétrica ou híbrida e inclui recursos tecnológicos para minimizar ruídos operacionais. Entre tais recursos destacam-se as **hélices principais com design especial para redução acústica**, semelhantes às conhecidas hélices NASA Blue Edge, reconhecidas por gerar **menos ruído e maior eficiência aerodinâmica**.



# 1.5 Atividades Extras

Os objetivos das atividades extra são aprofundar o entendimento dos leitores sobre diferentes tipos de aeronaves do ecossistema AAM, desenvolver uma análise crítica sobre como diferentes configurações de aeronaves podem impactar as operações de vertiportos e o gerenciamento do espaço aéreo, e avaliar a compreensão dos conceitos por meio de um breve questionário.

## 1.5.1 Leituras Complementares

Realizar as leituras indicadas para ampliar o entendimento sobre a AAM.

### Artigos Científicos

Arafat, Muhammad Yeasir, and Sungbum Pan. *Urban Air Mobility Communications and Networking: Recent Advances, Techniques, and Challenges*. Drones 8.12 (2024): 702.

Pak, Henry, et al. *Can Urban Air Mobility become reality? Opportunities and challenges of UAM as innovative mode of transport and DLR contribution to ongoing research*. CEAS Aeronautical Journal (2024): 1-31.

## 1.5.2 Análise Prática

Análise breve (até 2 páginas) sobre como diferentes configurações de aeronaves (*Lift and Cruise, Tilt-wing, Tail-sitter, etc.*) podem influenciar:

### Análise causal

- O dimensionamento e as operações dos vertiportos;
- O gerenciamento e controle do espaço aéreo em áreas urbanas.

## 1.5.3 Questionário

Responda às seguintes perguntas, de maneira objetiva e manuscrita:

### Redação

1. Cite dois desafios que a implementação da AAM pode enfrentar no contexto urbano.
2. Quais benefícios específicos a AAM pode trazer para comunidades rurais?
3. Explique a diferença entre as operações *Sub-Urban-Commuter* e *Airport-Shuttle*.
4. Quais são os principais fatores que influenciam a aceitação pública da AAM?
5. Cite três infraestruturas necessárias para a implementação eficaz da AAM e explique brevemente cada uma.

### 1.5.4 Análise Técnica

Identifique um exemplo real ou proposto de aeronave para cada uma das seguintes categorias: CTOL, STOL, VTOL, Asa Rotativa e UAS.

### Estudo exploratório

- Liste suas principais características técnicas (alcance, velocidade, capacidade);
- Indique potenciais desafios operacionais e regulatórios para cada tipo de aeronave.



## Anexos

### Obras da Linha 6-Laranja em São Paulo

Durante as obras da Linha 6-Laranja em São Paulo, importantes avenidas foram parcialmente bloqueadas, o que resultou em um **aumento considerável no tempo médio de viagem dos usuários** e intensificou significativamente os congestionamentos locais, conforme ilustrado na Figura 1.10.



Figura 1.10: Obras da Linha 6 (Laranja) do metrô da cidade de São Paulo.

Fonte: [1].



## Estrada rural MP-010

A Figura 1.11, mostra a pavimentação da estrada rural MP-010, em Mariópolis, no sudoeste do Paraná. Esse trecho pavimentado melhorou significativamente o acesso ao chamado *Caminho do Turismo*, **reduzindo o tempo médio de deslocamento** e aumentando o número anual de visitantes à região. Esses fatores beneficiaram diretamente a economia local, impulsionando o desenvolvimento regional.



Figura 1.11: A pavimentação MP-010, estrada rural em Mariópolis, sudoeste do Paraná.

Fonte: [5].



## Referências Bibliográficas

- [1] Obras da linha 6 (laranja) do metrô da cidade de são paulo, 2023.
- [2] Muhammad Yeasir Arafat and Sungbum Pan. Urban air mobility communications and networking: Recent advances, techniques, and challenges. *Drones*, 8(12):702, 2024.
- [3] Australian Association for Unmanned Systems. Aam summit 2021 - report on key findings and next steps. Report, Advanced Air Mobility Summit 2021, 2021.
- [4] Adam Cohen, Susan Shaheen, and Yolanka Wulff. Planning for advanced air mobility - pas 606. PAS Report 606, American Planning Association and Mineta Transportation Institute, Chicago, IL, March 2024.
- [5] Prefeitura de Mariópolis. Pavimentação de estradas rurais. <https://www.cidade.mariopolis.pr.gov.br/acesso>, 2024. Acesso em: 07 mar. 2025.
- [6] Shahab Hasan. Urban air mobility (uam) market study. Technical report, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., 2018. Crown Consulting and McKinsey & Company.
- [7] Morgan Stanley Research. evtol/urban air mobility tam update: A slow take-off, but sky's the limit. Technical report, Morgan Stanley, 2021. Acessado em: 10 de março de 2025.
- [8] NASA. Advanced air mobility: What is aam? student guide. STEM Learning Guide NP-2020-05-2854-HQ, National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC, 2020.
- [9] Henry Pak, Lukas Asmer, Petra Kokus, Bianca I Schuchardt, Albert End, Frank Meller, Karolin Schweiger, Christoph Torens, Carolina Barzantny, Dennis Becker, et al. Can urban air mobility become reality? opportunities and challenges of uam as innovative mode of transport and dlr contribution to ongoing research. *CEAS Aero-*



*nautical Journal*, pages 1–31, 2024.

- [10] Timothy Ravich. On-demand aviation: Governance challenges of urban air mobility (uam). *Penn State Law Review*, 124(3), 2020.