



ITA

Meta 2

Etapa 8

SigmaCity



Produto II

Fevereiro 2026

Diretrizes normativas para a harmonização das operações de UAM com os requisitos legais estabelecidos nos níveis federal, estadual e municipal.



## Histórico de versões:

<i>Versão</i>	<i>Data</i>	<i>Responsável</i>	<i>Descrição da Alteração</i>
1.0	18 fev. 2026	Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres	Versão inicial do produto II
2.0	15 abr. 2026	Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres	Versão submetida ao DECEA







**Coordenação Geral**

Prof. Dr. Cláudio Jorge Pinto Alves  
claudioj@ita.br

**Gerente da Etapa**

Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres  
guterres@ita.br





**Equipe ITA**

Prof. Dr. Flávio Mendes Neto

Prof. Dr. Daniel Alberto Pamplona

Msc. Marcelo Saraiva Peres

Gabriel Luiz Goulart Rufino Vieira

Rodrigo Mollo Furlan







## Produto 2

Meta 2 | Etapa 8: SIGMA city

Diretrizes normativas para a harmonização das operações de UAM com os requisitos legais estabelecidos nos níveis federal, estadual e municipal





## Sumário Executivo

O presente Produto faz parte da relação de entregas da Etapa 8 da Meta 2 - do Termo de Execução Descentralizada (TED) n. 1525720240005-003882/2024, firmado entre a Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC), cujo número de Processo é 50020.008564/2024-14. Tal TED foi decorrente de estruturação entre a SAC e o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), com foco em “*Estudos para Aviação de Hoje e do Amanhã*”. O ITA respondeu à demanda da SAC e o TED citado foi estruturado em 02 (duas) Metas com 16 (dezesesseis) Etapas. O citado TED foi firmado no dia 20/12/2024.





## Conteúdo

<b>Lista de Siglas</b>	<b>8</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>15</b>
1.1 Como Ler Este Documento . . . . .	15
1.1.1 Caráter Metodológico e Não-Determinístico . . . . .	15
1.1.2 Estrutura Metodológica em Oito Capítulos . . . . .	16
1.1.3 Processo Iterativo e Participativo . . . . .	18
1.2 Para Quem Este Documento se Destina . . . . .	18
1.2.1 Gestores Públicos Municipais . . . . .	19
1.2.2 Órgãos Federais de Regulação . . . . .	19
1.2.3 Setor Privado e Operadores . . . . .	20
1.2.4 Leitura Sequencial vs. Leitura Seletiva . . . . .	20
1.3 Estrutura Lógica da Harmonização . . . . .	22
1.3.1 Esfera Federal: A Segurança Operacional como Invariável . . . . .	22
1.3.2 Esfera Municipal: O Interesse Local e a Função Social . . . . .	23
1.4 Critérios de Seleção da Base Documental . . . . .	24
1.4.1 Documentos Internacionais: ConOps . . . . .	25
<b>2 Metodologia</b>	<b>28</b>
2.1 Framework PESTEL como Referencial Analítico . . . . .	29
2.1.1 As Seis Dimensões e Sua Interdependência . . . . .	29





2.2	Fase 1 — Seleção e Organização Temática . . . . .	30
2.2.1	Fluxo de Seleção Temática . . . . .	31
2.2.2	Temas Estruturantes Identificados . . . . .	32
2.3	Fase 2 — Análise Bibliométrica da Literatura Científica . . . . .	34
2.3.1	Coleta de Dados . . . . .	34
2.3.2	Score de Relevância Temática . . . . .	34
2.3.3	Método InOrdinatio . . . . .	35
2.3.4	Integração das Duas Abordagens . . . . .	36
2.3.5	Resultados da Análise . . . . .	37
2.3.6	Limitações e Mitigações . . . . .	38
2.4	Fase 3 — Extração de Questões e Diretrizes Assistida por LLM . . . . .	38
2.4.1	Arquitetura do Processo de Extração . . . . .	39
2.4.2	Mecanismos de Controle de Qualidade . . . . .	40
2.4.3	Estrutura dos Prompts Utilizados . . . . .	40
2.4.4	Considerações sobre o Uso de LLMs . . . . .	41
2.5	Síntese do Processo Metodológico . . . . .	42
<b>3</b>	<b>Temas e Diretrizes para UAM</b>	<b>43</b>
3.1	Governança . . . . .	43
3.1.1	Problemática . . . . .	43
3.1.2	Diretrizes . . . . .	46
3.2	Infraestrutura . . . . .	53
3.2.1	Problemática . . . . .	54
3.2.2	Diretrizes . . . . .	56





3.3	Infraestrutura Energética . . . . .	64
3.3.1	Problemática . . . . .	64
3.3.2	Diretrizes . . . . .	66
3.4	Integração Urbano-Social . . . . .	74
3.4.1	Problemática . . . . .	74
3.4.2	Diretrizes . . . . .	77
3.5	Meio Ambiente . . . . .	84
3.5.1	Problemática . . . . .	84
3.5.2	Diretrizes . . . . .	87
3.6	Ruído . . . . .	93
3.6.1	Problemática . . . . .	94
3.6.2	Diretrizes . . . . .	96
3.7	Tecnologias de Suporte . . . . .	104
3.7.1	Problemática . . . . .	104
3.7.2	Diretrizes . . . . .	107
3.8	Uso de Solo . . . . .	115
3.8.1	Problemática . . . . .	115
3.8.2	Diretrizes . . . . .	118
3.9	Viabilidade Econômica . . . . .	126
3.9.1	Problemática . . . . .	127
3.9.2	Diretrizes . . . . .	129
<b>4</b>	<b>Matriz de Diretrizes para Implementação de UAM</b>	<b>137</b>
4.1	Governança e Regulação Urbana . . . . .	138





4.2	Infraestrutura Física . . . . .	140
4.3	Infraestrutura Energética . . . . .	142
4.4	Integração Urbano-Social . . . . .	144
4.5	Meio Ambiente e Sustentabilidade . . . . .	145
4.6	Ruído Aeronáutico . . . . .	147
4.7	Tecnologias de Suporte . . . . .	148
4.8	Uso do Solo . . . . .	150
4.9	Viabilidade Econômica . . . . .	152
<b>5</b>	<b>Painel PESTEL</b>	<b>154</b>
5.1	Metodologia de Extração e Codificação . . . . .	154
5.2	Inventário Quantitativo do Corpus Documental . . . . .	154
5.3	Identificação de Lacunas Específicas . . . . .	155
<b>6</b>	<b>Ações Recomendadas à Secretaria de Aviação Civil para a Implementação da Mobilidade Aérea Urbana</b>	<b>162</b>
6.1	Atualização e Harmonização do Marco Regulatório Nacional . . . . .	162
6.2	Articulação Federativa e Capacitação Municipal . . . . .	163
6.3	Gestão Acústica e Aceitação Social . . . . .	165
6.4	Planejamento Territorial e Uso do Solo . . . . .	166
6.5	Infraestrutura Energética e Sustentabilidade da Rede Elétrica . . . . .	167
6.6	Infraestrutura Física: Vertiportos, Vertistops e Rotas . . . . .	168
6.7	Governança Institucional e Protagonismo do Poder Público . . . . .	169
6.8	Sustentabilidade Ambiental e Gestão de Riscos Ecológicos . . . . .	171
6.9	Avanço Tecnológico: Comunicação, Navegação e Vigilância . . . . .	172





6.10 Viabilidade Econômica e Democratização do Acesso . . . . .	172
6.11 Síntese: Agenda Estratégica para a SAC . . . . .	173
<b>7 Ações Recomendadas aos Municípios para a Implementação da Mobilidade Aérea Urbana</b>	<b>175</b>
7.1 Adaptação Normativa Local: Zoneamento, Plano Diretor e Código de Obras . . . . .	176
7.2 Planejamento Territorial: Uso do Solo e Localização de Vertiportos . .	178
7.3 Gestão Acústica Local e Aceitação Comunitária . . . . .	179
7.4 Mobilidade Urbana e Integração Intermodal . . . . .	180
7.5 Infraestrutura Energética Local e Segurança de Baterias . . . . .	181
7.6 Infraestrutura Física: Licenciamento Construtivo e Padrões de Segurança	182
7.7 Governança Local e Participação Social . . . . .	184
7.8 Sustentabilidade Ambiental e Licenciamento Integrado . . . . .	185
7.9 Viabilidade Econômica Local e Captura de Mais-Valia Urbana . . . . .	186
7.10 Síntese: Agenda Municipal para a UAM . . . . .	187
<b>8 Considerações Finais</b>	<b>189</b>
8.1 Lacuna Crítica: Fator Econômico . . . . .	189
8.2 Lacuna Normativo-Científica . . . . .	190
8.3 Gap Tecnológico . . . . .	191
8.4 Equilíbrio Positivo Social . . . . .	192
8.5 Convergência Ambiental . . . . .	193
8.6 Síntese e Implicações para o Gestor Municipal . . . . .	194
<b>APÊNDICE A – Prompt para Definição de Temas</b>	<b>207</b>





<b>APÊNDICE B – Prompt para Extração de Problemáticas</b>	<b>208</b>
<b>APÊNDICE C – Prompt para Consolidação de Problemáticas</b>	<b>210</b>
<b>APÊNDICE D – Prompt para Extração de Diretrizes</b>	<b>212</b>
<b>APÊNDICE E – Prompt para Consolidação de Diretrizes</b>	<b>213</b>





## Lista de Siglas

**5G** Comunicações Móveis de 5ª Geração

**6G** Comunicações Móveis de 6ª Geração

**AAM** Mobilidade Aérea Avançada

**ANAC** Agência Nacional de Aviação Civil

**ANATEL** Agência Nacional de Telecomunicações

**ANEEL** Agência Nacional de Energia Elétrica

**ATM** Sistema de Gerenciamento de Tráfego Aéreo

**BESS** Battery Energy Storage System

**BNDES** Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

**BRT** *Bus Rapid Transit*

**CBA** Código Brasileiro de Aeronáutica

**CGRA** Comissão de Gerenciamento de Ruído Aeronáutico

**CNS** Comunicações, Navegação e Vigilância

**CONAMA** Conselho Nacional do Meio Ambiente

**ConOps** Conceito de Operações

**DECEA** Departamento de Controle do Espaço Aéreo

**EASA** Agência Europeia de Segurança Aérea

**EIA** Estudo de Impacto Ambiental

**EIA/RIMA** Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental

**EIV** Estudo de Impacto de Vizinhança

**eVTOL** Aeronave elétrica de decolagem e pouso verticais





**FAA** Administração Federal de Aviação dos EUA

**FATO** Área de Aproximação Final e Decolagem

**GNSS** Navegação por satélite

**GUAM** Guia de Mobilidade Urbana Aérea

**ICA** Instrução de Comando da Aeronáutica

**IS 161** Instrução Suplementar 161

**ITA** Instituto Tecnológico de Aeronáutica

**LLM** Modelo de Linguagem de Grande Porte

**MaaS** *Mobility as a Service*

**MME** *Ministério de Minas e Energia*

**MOU** Memorial de entendimento

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

**OLS** Superfícies Limitadoras de Obstáculos

**PBN** Navegação Baseada em Performance

**PBZR** Plano Básico de Zoneamento de Ruído

**PDUI** Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado

**PDUI-RMSP** Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana de São Paulo

**PEDUI** Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado

**PESTEL** Político, Econômico, Social, Tecnológico, Ambiental e Legal

**PEZR** Plano Específico de Zoneamento de Ruído

**PlanMob** Plano Municipal de Mobilidade Urbana Aérea

**PLEM-H** Plano de Emergência de Heliponto

**PPP** Parceria Público-Privada

**PSU** Provedor de Serviço UAM





**PZPV** Plano de Zona de Proteção de Vertiporto

**PZR** Plano de Zoneamento de Ruído

**RBAC** Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil

**SAC** Secretaria Nacional de Aviação Civil

**SWIM** *System Wide Information Management*

**TED** Termo de Execução Descentralizada

**TLOF** Área de Toque e Elevação Inicial

**U-space** Sistema de Gerenciamento de Espaço Aéreo Não Tripulado

**UAM** Mobilidade Aérea Urbana

**UTM** Gerenciamento de tráfego aéreo urbano

**V2I** *Vehicle-to-Infrastructure Communication*

**V2V** *Vehicle-to-Vehicle Communication*

**ZPA** Zona de Proteção de Aeródromo





## Lista de Figuras

1.1	Estrutura Metodológica do Relatório . . . . .	16
1.2	Fluxo Metodológico de Harmonização Normativa . . . . .	23
2.1	Integração das Dimensões PESTEL no GUAM . . . . .	31
2.2	Fluxo metodológico e relevância temática identificada no corpus. . . . .	33
2.3	Fluxo de extração de questões e diretrizes assistida por LLM (Fase 3)	39
2.4	Síntese do fluxo metodológico do Guia de Mobilidade Urbana Aérea (GUAM) . . . . .	42
5.1	Matriz — Dimensão Normativa. . . . .	156
5.2	Matriz — Dimensão Científica . . . . .	158
5.3	Matriz — Dimensão Internacional . . . . .	160
6.1	Modelo de articulação federativa para implementação da UAM no Brasil com foco em ambientes experimentais. . . . .	165
6.2	Ecosistema de governança interinstitucional proposto para a UAM e horizontes temporais do Plano Nacional. . . . .	170
6.3	Roteiro estratégico de implementação da UAM no Brasil. . . . .	174
7.1	Modelo de integração intermodal municipal para a UAM. . . . .	181
7.2	Roteiro estratégico municipal de implementação da UAM. . . . .	188





## Lista de Tabelas

1.1	Guia de Leitura por Perfil de Usuário . . . . .	21
2.1	Temas estruturantes e respectivas palavras-chave . . . . .	33
2.3	Comparação entre as abordagens de avaliação bibliométrica . . . . .	36
2.4	Resumo geral da análise InOrdinatio por campo temático (UAM) . . . . .	37
3.1	Documentos Analisados – Governança e Regulação Urbana . . . . .	46
3.2	Matriz de Diretrizes – Governança e Regulação Urbana . . . . .	51
3.3	Documentos Analisados – Infraestrutura . . . . .	57
3.4	Matriz de Diretrizes – Infraestrutura . . . . .	62
3.5	Documentos Analisados – Infraestrutura Energética . . . . .	67
3.6	Matriz de Diretrizes – Infraestrutura Energética . . . . .	72
3.7	Documentos Analisados – Integração Urbano-Social . . . . .	78
3.8	Matriz de Diretrizes – Integração Urbano-Social . . . . .	82
3.9	Documentos Analisados – Meio Ambiente . . . . .	88
3.10	Matriz de Diretrizes – Meio Ambiente . . . . .	92
3.11	Documentos Analisados – Ruído Aeronáutico . . . . .	97
3.12	Matriz de Diretrizes – Ruído Aeronáutico . . . . .	101
3.13	Documentos Analisados – Tecnologias de Suporte . . . . .	107
3.14	Matriz de Diretrizes – Tecnologias de Suporte . . . . .	113
3.15	Documentos Analisados – Uso do Solo . . . . .	119





3.16	Matriz de Diretrizes – Uso do Solo . . . . .	124
3.17	Documentos Analisados – Viabilidade Econômica . . . . .	130
3.18	Matriz de Diretrizes – Viabilidade Econômica . . . . .	134
5.1	Inventário do corpus documental por eixo temático e dimensão de análise. . . . .	155
5.2	Matriz de Aderência por Área Temática sob a Dimensão Normativa . .	157
5.3	Matriz de Aderência por Área Temática sob a Dimensão Científica . . .	159
5.4	Matriz de Aderência por Área Temática sob a Dimensão Internacional	160
6.1	Síntese das nove frentes estratégicas de ação recomendadas à SAC. . .	162
6.3	Ações concretas para gestão acústica e aceitação social da UAM. . . .	166
6.5	Instrumentos urbanísticos recomendados para integração da UAM ao ordenamento territorial. . . . .	167
6.7	Componentes do protocolo nacional de planejamento energético para vertiportos. . . . .	168
6.9	Requisitos essenciais para diretrizes nacionais de vertiportos. . . . .	169
6.11	Ações ambientais prioritárias para a implementação da UAM. . . . .	171
6.13	Requisitos tecnológicos de Comunicação, Navegação e Vigilância para a UAM. . . . .	172
6.15	Mecanismos econômicos recomendados para viabilidade e democratização da UAM. . . . .	173
7.1	Síntese das nove frentes estratégicas de ação recomendadas aos municípios. . . . .	175
7.3	Adaptações normativas locais prioritárias para UAM. . . . .	177
7.5	Instrumentos municipais de planejamento territorial para UAM. . . . .	179
7.7	Ações municipais para gestão acústica e aceitação social da UAM. . .	180





7.9	Ações municipais para infraestrutura energética e segurança de baterias em vertiportos. . . . .	182
7.11	Solução para o conflito entre RBAC federal e Código de Obras municipal.	183
7.13	Instrumentos de governança municipal para a UAM. . . . .	185
7.15	Ações ambientais municipais prioritárias para a implementação da UAM.	186
7.17	Mecanismos econômicos municipais para viabilidade e democratização da UAM. . . . .	187
8.1	Prioridades de ação municipal por fator PESTEL . . . . .	195





## 1 Introdução

Este relatório apresenta o Produto II do projeto SigmaCity, desenvolvido no âmbito da Meta 2 | Etapa 8 do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), com previsão de entrega para março de 2026. O trabalho insere-se no Termo de Execução Descentralizada (TED) n. 1525720240005-003882/2024, firmado entre a SAC e o ITA, com foco em "Estudos para Aviação de Hoje e do Amanhã".

O objetivo central é fornecer subsídios técnicos para a elaboração do **Guia de Suporte aos Gestores**, garantindo que a inserção de eVTOLs (Electric Vertical Take-off and Landing) ocorra em consonância com o desenvolvimento urbano sustentável.

A elaboração destas diretrizes segue a metodologia do *Guia para Elaboração e Revisão de Planos Diretores* (Ministério do Desenvolvimento Regional), adaptando seus instrumentos — como o Zoneamento e o Estudo de Impacto de Vizinhança — para a realidade tridimensional da Mobilidade Aérea Urbana (UAM).

### 1.1 Como Ler Este Documento

Este relatório foi estruturado para ser um instrumento de apoio técnico e metodológico, destinado a subsidiar gestores públicos, planejadores urbanos e demais atores envolvidos na elaboração do Guia de Suporte aos Gestores. A metodologia aqui apresentada adapta os princípios consolidados do planejamento urbano tradicional, conforme o *Guia para Elaboração e Revisão de Planos Diretores* do Ministério do Desenvolvimento Regional, para a realidade da Mobilidade Aérea Urbana.

#### 1.1.1 Caráter Metodológico e Não-Determinístico

Alerta-se que este documento tem caráter metodológico e, portanto, deve ser manuseado, alterado e complementado.

O presente guia não tem a pretensão de esgotar todas as possibilidades de análise ou de impor um modelo único de regulação. Ao contrário, reconhece a diversidade de contextos urbanos brasileiros e propõe um roteiro analítico que aponta:





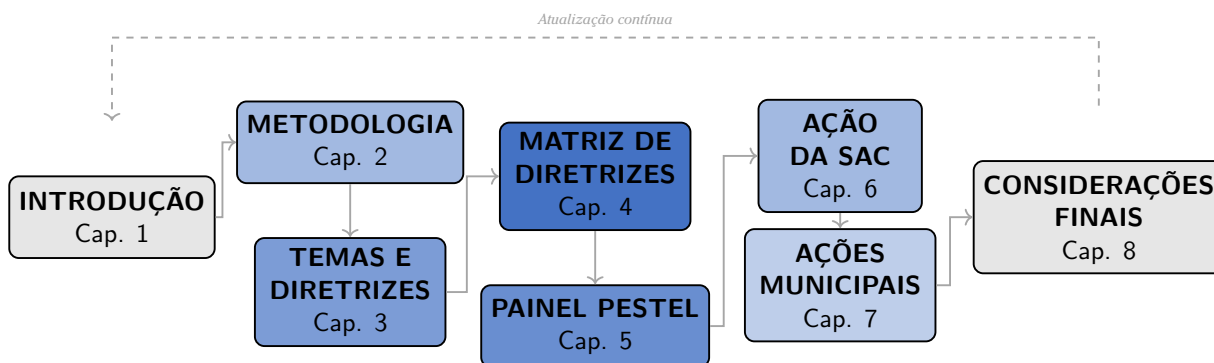
- Quais aspectos técnicos devem ser observados na integração entre regulação aeronáutica federal e planejamento urbano municipal;
- Em quais documentos legais (federais, estaduais ou municipais) esses aspectos se encontram;
- Quais instrumentos urbanísticos o município pode optar por acionar, conforme sua política de desenvolvimento.

É importante lembrar que o pleno desenvolvimento do circuito de uma problemática envolve indicar formas de solucionar ou de encaminhar a questão até a indicação de um instrumento de política urbana, se possível, ou de uma ferramenta complementar.

### 1.1.2 Estrutura Metodológica em Oito Capítulos

O relatório está organizado em uma lógica processual que conduz o leitor desde a contextualização conceitual até a proposição de diretrizes práticas e avaliação mediante a matriz PESTEL. Esta estrutura reflete a adaptação da metodologia do *Guia para Elaboração e Revisão de Planos Diretores* para o contexto aeronáutico:

Figura 1.1: Estrutura Metodológica do Relatório



**Fonte:** Adaptado do Guia para Elaboração e Revisão de Planos Diretores (MDR, 2022). Equipe SIGMAc (2025).

O **Capítulo 1 – Introdução** estabelece o objetivo central do trabalho: fornecer subsídios técnicos para a elaboração do Guia de Suporte aos Gestores. Apresenta a contextualização do tema, a delimitação do escopo, orientações sobre como ler o documento, identificação dos públicos-alvo, e a estrutura lógica de harmonização entre as esferas federal, estadual e municipal.

O **Capítulo 2 – Metodologia** apresenta os procedimentos, fontes de informação e métodos analíticos empregados na elaboração do documento. Estrutura a análise





segundo a matriz PESTEL (Political, Economic, Social, Technological, Environmental, Legal), estabelecendo o marco conceitual necessário para as discussões subsequentes e definindo os termos-chave utilizados em todo o relatório.

O **Capítulo 3 – Temas e Diretrizes para UAM** identifica os desafios, conflitos de competência e lacunas normativas relacionadas à operação de aeronaves de decolagem e pouso vertical em ambientes urbanos. Mapeia as questões que fundamentam a necessidade de diretrizes coordenadas, apresentando os atores envolvidos e estabelecendo as bases conceituais para operação viável de UAM e apresenta o conjunto de proposições normativas e institucionais recomendadas para ordenar a UAM nos âmbitos federal, estadual e municipal. Estrutura-se em torno de nove temas (T1 a T9), cada um abordando um aspecto específico: ruído aeronáutico, integração urbano-social, uso do solo, infraestrutura energética, infraestrutura, governança, meio ambiente, tecnologias de suporte e viabilidade econômica.

O **Capítulo 4 – Matriz de Diretrizes** materializa as recomendações em forma operacional e prática. Consolida a análise em matrizes que distribuem responsabilidades entre diferentes atores (DECEA, ANAC, Estados, Municípios, iniciativa privada, sociedade civil) e identificam os instrumentos urbanísticos e regulatórios aplicáveis a cada tema e competência, facilitando a implementação prática das diretrizes.

O **Capítulo 5 – Painel PESTEL** avalia as diretrizes propostas sob as perspectivas Política, Econômica, Social, Tecnológica, Ambiental e Legal. Identifica sinergias potenciais entre diretrizes, riscos multidimensionais que demandam atenção especial, e necessidades de ajuste nas recomendações segundo diferentes cenários de implementação municipal.

O **Capítulo 6 – Ações Recomendadas à SAC** apresenta a síntese das ações discurridas nos capítulos anteriores, articulada pelo cruzamento das bases normativas nacionais, das evidências científicas e das melhores práticas internacionais compiladas nas matrizes anteriores.

O **Capítulo 7 – Ações Recomendadas aos Municípios** consolida a agenda de implementação no nível local. O capítulo organiza diretrizes para adaptação normativa, planejamento territorial, gestão acústica, integração intermodal, infraestrutura energética e física, governança local, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica municipal.

Por fim, o **Capítulo 8 – Considerações Finais** sintetiza os achados principais, reafirma as diretrizes prioritárias conforme análise PESTEL, e apresenta um conjunto de recomendações imediatas para implementação. Indica lacunas que demandam pes-





quisas futuras e sinaliza a necessidade de atualizações contínuas deste framework diante da emergência tecnológica, regulatória e operacional da Mobilidade Aérea Urbana.

Ao longo da leitura, foram adotados códigos visuais para facilitar a compreensão e destacar informações essenciais, presentes em diferentes tabelas ao longo do texto. Esses destaques seguem a lógica metodológica estabelecida pelo *Guia para Elaboração e Revisão de Planos Diretores*:

- **TABELA DE COR AZUL – Questões Norteadoras aos Legisladores:** Identifica questionamentos que um gestor municipal deve se fazer, e que demandam atenção especial. São dúvidas pertinentes que podem ainda não possuir respostas, ou então que apresentam incompatibilidades, potenciais ou riscos operacionais que devem ser endereçados prioritariamente.
- **TABELA DE COR DOURADO – Descrições Normativas e Científicas:** Apresenta documentos normativos nacionais e boas práticas internacionais, casos de sucesso na integração normativa ou soluções técnicas que se mostraram eficazes em contextos similares. São referências que podem ser adaptadas à realidade local.
- **TABELA DE COR PRETO – Diretrizes e Sugestões:** Enuncia estratégias e pontos de atenção que requerem compreensão aprofundada para o acompanhamento adequado das discussões dos municípios. Essas informações serão consolidadas em uma matriz de diretrizes.

### 1.1.3 Processo Iterativo e Participativo

Assim como preconiza o *Guia para Elaboração e Revisão de Planos Diretores*, este relatório deve ser entendido como parte de um processo iterativo que demanda revisão, atualização e complementação constantes. A natureza emergente da Mobilidade Aérea Urbana, com avanços tecnológicos acelerados, evolução regulatória contínua e novos modelos de negócio em desenvolvimento, requer que as diretrizes aqui propostas sejam periodicamente reavaliadas.

## 1.2 Para Quem Este Documento se Destina

O presente relatório foi concebido para atender diferentes perfis de leitores envolvidos no planejamento e na regulação da Mobilidade Aérea Urbana no Brasil. Cada





público encontrará, ao longo dos capítulos, conteúdos específicos alinhados às suas necessidades e atribuições institucionais.

### 1.2.1 Gestores Públicos Municipais

#### **Secretários de Planejamento Urbano, Desenvolvimento Econômico e Mobilidade:**

Este documento oferece subsídios para a tomada de decisão estratégica sobre a inserção da UAM na política municipal de desenvolvimento urbano. Os capítulos 2 e 3 fornecem o repertório conceitual e metodológico necessário, o capítulo 3 mapeia as problemáticas críticas, enquanto os capítulos 4 e 5 apresentam as diretrizes e o cardápio de instrumentos urbanísticos aplicáveis.

**Equipes Técnicas de Planejamento:** Profissionais responsáveis pela elaboração ou revisão do Plano Diretor Municipal encontrarão no capítulo 4 o conjunto de diretrizes normativas relevantes, bem como orientações sobre como compatibilizar restrições aeronáuticas federais com o zoneamento urbano local. A Matriz de Diretrizes (capítulo 5) explicita responsabilidades, fluxos decisórios e instrumentos aplicáveis a cada competência. O Painel PESTEL (capítulo 6) fornece avaliação multidimensional das implicações das diretrizes propostas.

**Procuradorias Jurídicas Municipais:** Os aspectos de harmonização entre competências federal e municipal são detalhados no capítulo 1 (Estrutura Lógica da Harmonização). O capítulo 3 (Temas e Diretrizes) apresenta as proposições normativas por esfera de competência, e o capítulo 4 (Matriz) oferece suporte para análise de conformidade legal e redação de minutas de instrumentos normativos municipais.

### 1.2.2 Órgãos Federais de Regulação

**Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC):** O relatório evidencia os pontos de interface entre as Zonas de Proteção de Aeródromo (ZPA) e o planejamento municipal (capítulos 3 e 4), subsidiando a compreensão dos impactos territoriais das restrições de segurança operacional. As propostas de harmonização podem informar futuras revisões dos RBACs relacionados a vertiportos, com análise de implicações técnicas no Painel PESTEL (capítulo 5).

**Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA):** As discussões sobre compatibilização entre superfícies limitadoras de obstáculos e gabaritos construtivos municipais (capítulo 4) oferecem insumos para o aprimoramento das diretrizes do SysAGA aplicadas a ambientes urbanos densos. A avaliação tecnológica no Painel





PESTEL (capítulo 5) fornece contexto para implementação.

**SAC:** O documento contribui para a estruturação de políticas nacionais de UAM, apresentando uma metodologia replicável que pode orientar municípios em diferentes contextos urbanos e regionais. A estrutura de oito capítulos (Capítulo 1 a 8) oferece um framework completo, desde a análise metodológica até as recomendações para implementação federal e municipal.

### 1.2.3 *Setor Privado e Operadores*

**Desenvolvedores de Vertiportos:** Os capítulos 3 detalha os requisitos urbanísticos e regulatórios para implantação de infraestrutura UAM. A Matriz de Diretrizes (capítulo 4) especifica instrumentos como Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), procedimentos de licenciamento ambiental e responsabilidades dos desenvolvedores.

**Operadores de eVTOL e Prestadores de Serviço:** As problemáticas e diretrizes sobre zonificação acústica e restrições de uso do solo (capítulos 3) permitem identificar áreas propícias para operação e antever limitações operacionais. A Matriz de Diretrizes (capítulo 4) explicita as responsabilidades dos operadores privados no sistema UAM. O Painel PESTEL (capítulo 5) avalia viabilidade econômica e impactos socioambientais.

**Investidores e Instituições Financeiras:** A análise de harmonização regulatória (capítulos 1, 3 e 4) oferece previsibilidade sobre o marco legal municipal, elemento crítico para avaliação de riscos. O Painel PESTEL (capítulo 5) fornece cenários de análise econômica e ambiental necessários para estruturação de modelos de financiamento para infraestrutura UAM.

### 1.2.4 *Leitura Sequencial vs. Leitura Seletiva*

Embora o documento tenha sido estruturado para ser lido sequencialmente conduzindo o leitor desde os fundamentos conceituais até as propostas aplicadas e sua avaliação multidimensional, reconhece-se que diferentes perfis de usuários possuem demandas específicas e tempo limitado para leitura integral. A Tabela 1.1 sintetiza as recomendações de navegação por perfil de usuário.





Tabela 1.1: Guia de Leitura por Perfil de Usuário

<b>Perfil do Leitor</b>	<b>Capítulos Prioritários</b>	<b>Foco de Interesse</b>
Gestor Municipal	Cap. 1, 3, 4, 5, 7	Contextualização, problemáticas, diretrizes, matriz de implementação, avaliação Político, Econômico, Social, Tecnológico, Ambiental e Legal (PESTEL) e ações municipais
Técnico de Planejamento	Cap. 1, 2, 3, 4	Metodologia completa, problemáticas, diretrizes normativas, matriz operacional
Procuradoria Jurídica	Cap. 1, 4	Harmonização regulatória, diretrizes por competência, responsabilidades dos atores
Órgãos Federais (ANAC/DECEA)	Cap. 1, 3, 4, 5	Estrutura de harmonização, problemáticas operacionais, diretrizes regulatórias setoriais, avaliação PESTEL
SAC	Cap. 1, 3, 5, 6, 7	Coordenação federativa da implementação, priorização de ações estratégicas, articulação interinstitucional e integração entre ações da União e dos municípios
Operadores Privados	Cap. 3, 4, 5, 7	Problemáticas operacionais, diretrizes aplicáveis, matriz de responsabilidades, impactos multidimensionais e requisitos municipais de implantação

**Fonte:** Equipe SIGMAc (2025).

Para leitura sequencial completa: Recomenda-se iniciar pelo capítulo 1 (contextualização e estrutura de harmonização), seguir pelos capítulos 2 e 3 (metodologia, problemáticas e diretrizes), prosseguir pelo capítulo 4 (matriz operacional), avançar para o capítulo 5 (análise PESTEL das diretrizes), continuar com o capítulo 6 (ações recomendadas à SAC), avançar para o capítulo 7 (ações recomendadas aos municípios) e concluir com o capítulo 8 (conclusões e recomendações). Esta abordagem é ideal para quem está iniciando o processo de elaboração do Guia de Suporte aos Gestores, pois garante a compreensão progressiva dos conceitos, da problemática, das soluções propostas e de suas implicações multidimensionais.





Para consulta pontual: Gestores e técnicos com familiaridade prévia no tema podem acessar diretamente os capítulos de seu interesse, utilizando o sumário detalhado e as referências cruzadas entre seções, conforme orientado na Tabela 1.1.

Para aprofundamento técnico: Os anexos consolidam o glossário de termos técnicos, os circuitos metodológicos completos, as matrizes temáticas e as referências bibliográficas, servindo como material de apoio para consultas específicas ao longo de todo o processo de planejamento.

### 1.3 Estrutura Lógica da Harmonização

Para viabilizar a operação de UAM, é necessário superar a visão tradicional de que a regulação aérea e o planejamento urbano correm em paralelo, sem interseção.

Propõe-se, portanto, um **Modelo de Integração Normativa**. Este modelo reconhece que, embora o espaço aéreo seja de domínio federal, o uso do solo sob ele é de competência municipal. A harmonização ocorre na sobreposição desses dois domínios, transformando restrições técnicas em diretrizes urbanísticas.

A metodologia adotada neste relatório baseia-se na identificação de conflitos e na exposição de soluções e lacunas que podem ser exploradas nos documentos legislativos vigentes. A Figura 1.2 ilustra e exemplifica o processo metodológico, adaptando a lógica de processos participativos sugerida pelo *Guia para Elaboração e Revisão de Planos Diretores* (Ministério das Cidades, 2004) para a realidade do setor aeroespacial.

O diagrama da Figura 1.2 sistematiza a complexidade jurisdicional em três níveis de competência, detalhados a seguir:

#### 1.3.1 Esfera Federal: A Segurança Operacional como Invariável

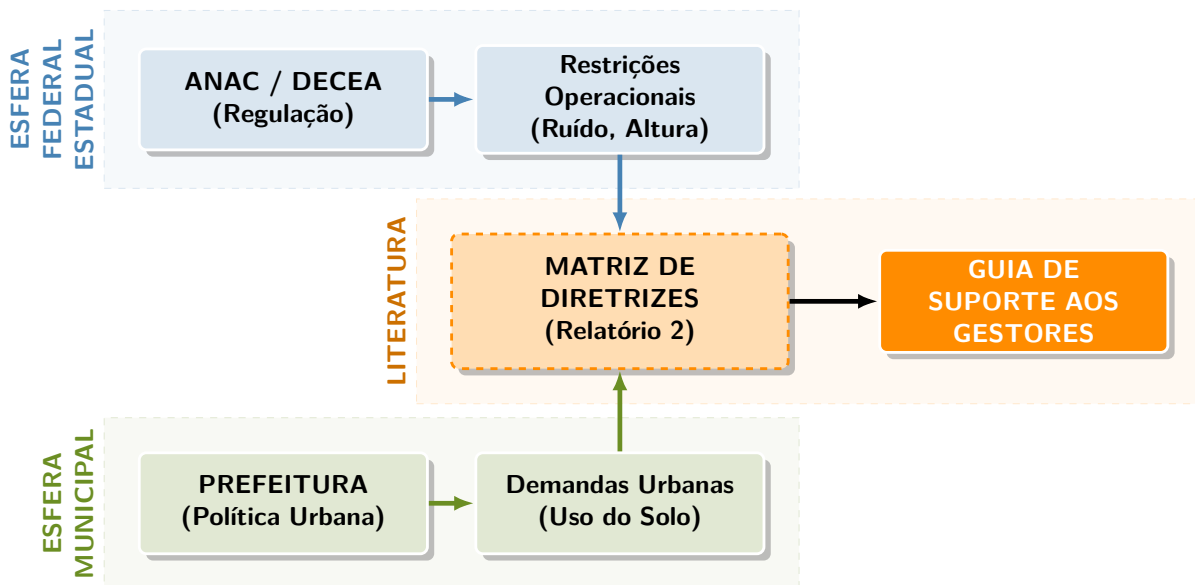
No nível superior (“Espaço Aéreo”), encontram-se as normas emanadas pela ANAC e pelo DECEA. Juridicamente, estas normas possuem caráter de competência privativa da União (Art. 22 da Constituição Federal).

- **Natureza:** Técnica e vinculante. Não são passíveis de flexibilização pelo município.
- **Impacto:** Geram “Serviços Administrativos” sobre a propriedade urbana (ex:





Figura 1.2: Fluxo Metodológico de Harmonização Normativa



Fonte: Equipe SIGMAc (2026).

limites de altura, zonas de ruído aeronáutico).

- **Entrada no Modelo:** Representam os *Hard Constraints* (Restrições Rígidas) do planejamento.

### 1.3.2 Esfera Municipal: O Interesse Local e a Função Social

No nível inferior (“Solo”), reside a competência constitucional do Município para ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade (Art. 182 da Constituição).

- **Natureza:** Política e discricionária. O município decide onde deseja adensamento, preservação ou desenvolvimento econômico.
- **Impacto:** Define o zoneamento, os índices construtivos e as áreas de proteção ambiental.
- **Entrada no Modelo:** Representam os *Soft Constraints* (Restrições Flexíveis) e as Demandas de Mobilidade.

#### 1.3.2.1 Esfera de Convergência: A Matriz de Harmonização

O nível central do diagrama representa a contribuição metodológica desse produto. Ressalta-se que a **Matriz de Harmonização** deve ser compreendida como uma ferra-





menta de *apoio à decisão*, e não como um instrumento determinístico ou de imposição legal.

A função dessa matriz não é ditar o regramento municipal, mas sim fornecer um roteiro analítico que aponta aos gestores públicos quais aspectos técnicos devem ser observados e em quais documentos legais (federais ou locais) eles se encontram. O objetivo é subsidiar a equipe municipal para que ela possa realizar:

1. **Mapeamento de Interseções:** A identificação de quais áreas do zoneamento urbano demandam verificação de gabarito e densidade, cruzando as superfícies limitadoras de obstáculos (norma Federal) com os índices construtivos locais (norma Municipal).
2. **Correlação de Parâmetros Ambientais:** A indicação de quais normas técnicas (como NBRs e RBACs) devem ser consultadas simultaneamente para avaliar se a compatibilidade acústica e ambiental está sendo mantida nas diferentes zonas de uso.
3. **Indicação de Instrumental Urbanístico:** A apresentação de um "cardápio" de instrumentos previstos no Estatuto da Cidade (como o EIV ou a Outorga Onerosa) que o município pode *optar* por acionar para gerir a convivência entre a operação aérea e a vida urbana, conforme sua política de desenvolvimento.

## 1.4 Critérios de Seleção da Base Documental

A base normativa utilizada neste produto corresponde aos documentos identificados e analisados no Produto I. Aquele levantamento identificou as regulamentações federais, estaduais e municipais aplicáveis ao planejamento territorial urbano no contexto da Mobilidade Aérea Urbana, incluindo RBACs da ANAC, legislação urbanística municipal, estadual e leis federais.

Cabe destacar que este Produto II não reproduz integralmente todas as normas levantadas no Produto I. A seleção adotada neste relatório prioriza os documentos que apresentam diretrizes, requisitos ou parâmetros com aplicabilidade direta à construção das questões técnicas e das recomendações para gestores públicos. Assim, normas identificadas no levantamento inicial, mas que não explicitam diretrizes operacionais, urbanísticas ou regulatórias aplicáveis ao escopo analítico deste produto, não foram incorporadas à etapa de consolidação metodológica.





### 1.4.1 Documentos Internacionais: ConOps

Durante o processo de levantamento documental sobre mobilidade aérea urbana, foram identificadas publicações técnicas de órgãos reguladores internacionais e nacionais que abordam Concepções Operacionais (ConOps) para sistemas de eVTOL em ambientes urbanos. Diferentemente dos regulamentos já consolidados para aviação comercial tradicional, as ConOps para Mobilidade Aérea Urbana constituem diretrizes conceituais e prospectivas que ainda estão em desenvolvimento, refletindo o caráter emergente do setor. Estas publicações fornecem marcos referenciais técnicos, justificando sua importância como fundamento para planejamento territorial municipal.

- **Concepção Operacional da EASA (*European Union Aviation Safety Agency*):** A EASA desenvolveu publicações descritivas e conceituais sobre operações de Mobilidade Aérea Urbana, incluindo o *Special Condition document e guidance materials* que abordam a integração segura de aeronaves elétricas de decolagem vertical em espaços urbanos. Estes documentos estabelecem princípios operacionais para o gerenciamento de tráfego aéreo de baixa altitude, segregação de rotas, procedimentos de decolagem e pouso em ambientes densamente povoados, e requisitos de performance técnica para aeronaves. As ConOps da EASA, embora ainda em desenvolvimento, fornecem o arcabouço conceitual europeu para compatibilidade entre operações aéreas urbanas e infraestrutura urbana existente.
- **Diretrizes Operacionais da FAA (*Federal Aviation Administration*):** A FAA tem desenvolvido um *framework* conceitual e análises prospectivas sobre operações de eVTOL em áreas metropolitanas. As publicações da agência americana abordam aspectos operacionais como segregação do espaço aéreo de baixa altitude, procedimentos de comunicação em ambiente urbano, integração com sistemas de navegação aérea existentes, e critérios de segurança aplicáveis a operações frequentes e repetitivas. As ConOps da FAA representam a visão norte-americana para permitir operações comerciais seguras de aeronaves de mobilidade aérea urbana, considerando o contexto regulatório e da infraestrutura dos Estados Unidos.
- **Concepção Operacional da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*):** A NASA desenvolveu pesquisas e publicações sobre *Air Traffic Management (ATM)* para operações de baixa altitude urbana. Os ConOps da NASA abordam modelos operacionais para gerenciamento autônomo e automático





de tráfego aéreo em ambientes urbanos densos, segurança operacional, capacidade de transporte, integração com infraestrutura urbana, e estratégias para mitigação de riscos em operações civil-comerciais. Os documentos da NASA servem como referência conceitual para visualização futura de ecossistemas operacionais complexos de mobilidade aérea urbana.

- **Concepção Operacional da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil):** A ANAC iniciou estudos e publicações prospectivas sobre operações de UAM no contexto regulatório brasileiro, abordando a necessidade de desenvolvimento de ConOps específicas para operações de eVTOL em cidades brasileiras. Estes documentos abordam aspectos operacionais como integração com o Sistema de Controle do Espaço Aéreo brasileiro, compatibilidade com operações existentes de helicópteros, segregação de espaço aéreo, procedimentos de segurança adaptados à realidade aeronáutica brasileira, e diretrizes técnicas para certificação de operadores e aeronaves. As ConOps da ANAC, em desenvolvimento, representam a visão regulatória brasileira para adequação de padrões internacionais ao contexto nacional.
- **Concepção Operacional do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo):** O DECEA, como órgão responsável pelo controle do espaço aéreo brasileiro, desenvolveu diretrizes operacionais prospectivas para integração de operações de mobilidade aérea urbana ao Sistema de Controle do Espaço Aéreo. Os ConOps do DECEA abordam aspectos operacionais como estrutura do espaço aéreo de baixa altitude, procedimentos de separação de tráfego em ambiente urbano denso, comunicações aéreas, detecção e evitamento de conflitos, coordenação com operadores civis de helicópteros e aviação comercial, e critérios de segurança operacional. Estes conceitos refletem a necessidade de adequação do espaço aéreo brasileiro para acomodar nova categoria de operações.

### *Caráter Conceitual e Desenvolvimento Regulatório das ConOps para Mobilidade Aérea Urbana*

As Concepções Operacionais descritas acima constituem publicações de caráter conceitual e prospectivo, refletindo o estágio inicial de desenvolvimento regulatório da UAM. Diferentemente de regulamentos consolidados que estabelecem requisitos obrigatórios de longo prazo, as ConOps representam marcos referenciais técnicos que descrevem como futuras operações seriam conduzidas de forma segura, eficiente e integrada ao sistema aéreo existente.

O desenvolvimento destas ConOps por órgãos reguladores internacionais (EASA,





FAA, NASA) e nacionais (ANAC, DECEA) justifica-se pela necessidade de estabelecer fundamentos técnicos sólidos antes da formalização de requisitos regulatórios vinculantes. Estas publicações servem simultaneamente como: (i) marcos referenciais para a indústria de fabricantes e operadores aéreos; (ii) base técnica para futuras normas e regulamentos; (iii) ferramentas de comunicação entre órgãos reguladores e stakeholders do setor; e (iv) elementos orientadores para decisões de planejamento urbano e territorial em nível municipal.

A relevância das ConOps para o planejamento territorial municipal reside em seu potencial de estabelecer restrições operacionais futuras ao espaço aéreo urbano. Ainda que atualmente expressas como conceitos e diretrizes prospectivas, as operações de UAM gerarão restrições ao uso do espaço aéreo, compatibilidades com infraestrutura urbana existente, e necessidades de reserva de espaço para operações futuras. O embasamento documental nas publicações dos órgãos reguladores internacionais e nacionais fornece fundação técnica sólida para que planejadores urbanos municipais considerem, desde hoje, as necessidades espaciais e operacionais de sistemas de mobilidade aérea urbana que se tornarão realidade regulatória na próxima década.

Portanto, a análise das ConOps não constitui aplicação de requisitos regulatórios presentes, mas sim antecipação técnica de restrições e necessidades operacionais que se formalizarão em regulação, justificando sua inclusão como elemento de visão prospectiva no planejamento territorial municipal.





## 2 Metodologia

Este capítulo descreve o processo metodológico adotado para a elaboração do GUAM — produto entregável separado deste relatório técnico, descrito a seguir.

### O que é o GUAM?

O **GUAM** (Guia de Suporte para os gestores em Mobilidade Urbana Aérea) é um documento autônomo, de linguagem acessível e formato visual, produzido como entregável do Projeto SigmaCity. Seu público-alvo são **gestores municipais, estaduais e federais** que precisam regulamentar e planejar a inserção de aeronaves Aeronave elétrica de decolagem e pouso verticais (eVTOLs) em contexto urbano, sem necessariamente possuir formação técnica aeronáutica. O Guia apresenta exclusivamente **questões práticas, diretrizes e instrumentos urbanísticos** organizados por tema — sem expor a metodologia de pesquisa, análises bibliométricas ou detalhamentos normativos que fundamentaram sua construção. Toda essa camada de bastidores é documentada no presente relatório (Produto II) e nos apêndices, garantindo rastreabilidade e reprodutibilidade científica sem sobrecarregar o leitor do Guia.

O processo metodológico que originou o conteúdo do GUAM é estruturado em três fases sequenciais e interdependentes, articuladas pelo *framework* PESTEL como referencial analítico transversal:

1. **Fase 1 — Seleção e Organização Temática:** identificação dos temas prioritários a partir de mineração terminológica do corpus normativo analisado no Produto I do Projeto SigmaCity;
2. **Fase 2 — Análise Bibliométrica da Literatura Científica:** priorização dos artigos científicos mais relevantes e influentes mediante combinação do *Score* de Relevância Temática e do método InOrdinatio;
3. **Fase 3 — Extração de Questões e Diretrizes Assistida por Modelo de Linguagem de Grande Portes (LLMs):** processamento sistemático do corpus documental completo (legislação, artigos e documentos ConOps) com auxílio de modelos de linguagem de grande escala, seguido de validação humana pela equipe do ITA.





O produto final desse encadeamento é o GUAM: guia ilustrado, estruturado em torno de nove temas, destinado a municípios brasileiros que buscam regulamentar e planejar a implementação da Mobilidade Aérea Urbana (UAM) em seu território — sem a carga metodológica aqui documentada.

## 2.1 Framework PESTEL como Referencial Analítico

A organização temática do GUAM segue a estrutura **PESTEL** (Political, Economic, Social, Technological, Environmental, Legal), metodologia amplamente utilizada em análises estratégicas que permite identificar e avaliar os fatores macro-ambientais que impactam o desenvolvimento e a implementação de políticas públicas.

A aplicação do *framework* ao contexto da Mobilidade Aérea Urbana justifica-se pela natureza multidimensional e altamente regulada deste setor, que exige a integração coordenada de aspectos políticos (governança e regulação), econômicos (viabilidade e investimentos), sociais (aceitação pública e equidade), tecnológicos (inovação e infraestrutura), ambientais (sustentabilidade e ruído) e legais (conformidade normativa e harmonização regulatória).

A estrutura foi adaptada da Análise PESTEL desenvolvida no Produto I do Projeto SigmaCity, que realizou o inventário sistemático das legislações com impacto nas operações UAM. Enquanto o Produto I focou na identificação e classificação do arcabouço regulatório existente, o presente capítulo sintetiza os temas prioritários para subsidiar a elaboração de diretrizes municipais.

### 2.1.1 As Seis Dimensões e Sua Interdependência

A análise das seis dimensões evidencia a natureza multifacetada e interdependente dos desafios e oportunidades relacionados à implementação da UAM em contexto urbano:

- A dimensão **Política** constitui a base regulatória do ecossistema. Envolve a atuação de órgãos autônomos como ANAC e DECEA, o uso de *sandboxes* regulatórios, políticas de fomento e incentivos fiscais, a harmonização com normas internacionais (Administração Federal de Aviação dos EUA (FAA)/Agência Europeia de Segurança Aérea (EASA)) e a coordenação entre as esferas federativas.
- A dimensão **Econômica** trata da viabilidade financeira do setor, abrangendo a trajetória de redução dos custos operacionais dos eVTOLs, as fontes de inves-





timento (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), debêntures, Parceria Público-Privadas (PPPs)), o impacto na redução de perdas por congestionamento urbano e o potencial de geração de empregos qualificados.

- A dimensão **Social** representa a “licença social para operar”. Compreende a aceitação pública — tendo o ruído como principal barreira —, a necessidade de garantir equidade para evitar que a UAM se torne um serviço de elite, e a comunicação transparente sobre segurança operacional.
- A dimensão **Tecnológica** constitui o sistema nervoso da operação. Abrange as tecnologias de comunicação, navegação e vigilância (Comunicações, Navegação e Vigilância (CNS)/Sistema de Gerenciamento de Tráfego Aéreo (ATM), Comunicações Móveis de 5ª Geração (5G), Sistema de Gerenciamento de Espaço Aéreo Não Tripulado (U-space)), a infraestrutura física dos vertiportos e seu uso de gêmeos digitais para planejamento tridimensional do espaço aéreo urbano.
- A dimensão **Ambiental** define a sustentabilidade real da UAM. Envolve a pegada de carbono (condicionada à matriz energética), a gestão do ruído via modelagem acústica e planejamento de rotas, os impactos no uso do solo e na biodiversidade, e a conformidade com o licenciamento ambiental brasileiro.
- A dimensão **Legal** é a estrutura jurídica que garante segurança normativa ao ecossistema. Organiza-se em hierarquia piramidal — Leis Ordinárias, Decretos, normas da ANAC/DECEA e documentos de orientação — onde normas de maior hierarquia prevalecem e condicionam todas as demais.

A interdependência entre essas dimensões revela que nenhuma pode ser tratada isoladamente. A Figura 2.1 ilustra esse ecossistema, posicionando o GUAM no centro das seis dimensões.

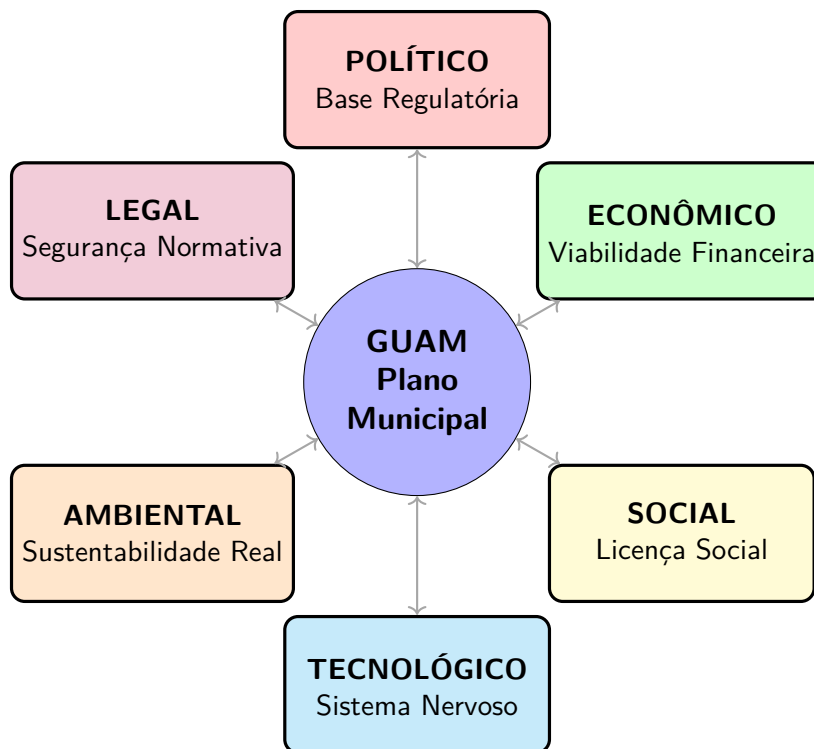
## 2.2 Fase 1 — Seleção e Organização Temática

A definição dos temas estruturantes do GUAM foi fundamentada na análise quantitativa de frequência terminológica desenvolvida no Produto I do Projeto SigmaCity. Aquele documento apresentou um inventário sistemático das legislações federais e regulamentações aeronáuticas com impacto nas operações de UAM, empregando técnicas de mineração textual para identificar os conceitos mais recorrentes no corpus normativo brasileiro.





Figura 2.1: Integração das Dimensões PESTEL no GUAM



Fonte: Adaptado da Análise PESTEL do Produto I. Equipe SIGMAc (2026).

A metodologia original, baseada em (FILHO, 2021), utilizou a geração de nuvens de palavras (*word clouds*) para representar visualmente a frequência de ocorrência dos termos em cada documento analisado. Para a presente etapa, adotou-se uma abordagem derivada e simplificada: em vez da visualização gráfica, procedeu-se à extração direta das tabelas de frequência consolidadas, permitindo a identificação dos termos-chave mais relevantes para o contexto da UAM.

### 2.2.1 Fluxo de Seleção Temática

O processo de seleção temática seguiu um fluxo estruturado em cinco etapas:

1. **Recuperação das tabelas de frequência** geradas no Produto I, que consolidam a contagem de ocorrências de cada termo no conjunto de documentos legislativos e regulatórios analisados;
2. **Identificação dos termos mais recorrentes** no corpus, priorizando aqueles com maior recorrência nos documentos analisados;
3. **Agrupamento semântico** dos termos em categorias temáticas afins, considerando a natureza técnica, jurídica ou operacional de cada conceito;





4. **Validação dos agrupamentos** pela equipe técnica do ITA, assegurando coerência com os objetivos do Guia e com as competências municipais em matéria de planejamento urbano;
5. **Consolidação e nomeação** dos temas de acordo com sua abrangência e aplicabilidade ao contexto das prefeituras.

Após essas cinco etapas, foi executada uma **filtragem normativa assistida por prompt** para separar, entre os documentos regulatórios, apenas aqueles com conteúdo efetivamente útil à construção das diretrizes do GUAM. Conforme o Apêndice 8.6, o critério de inclusão adotado foi a presença de **Diretrizes Ativas** (obrigações, proibições, requisitos mandatórios, recomendações, sugestões/indicações), excluindo-se documentos com mera menção genérica ao tema.

Nessa etapa, o arquivo `temas_UAM.txt` foi utilizado como **referência sintética das definições temáticas**: primeiro, para enquadrar cada norma no tema em análise; segundo, para aplicar o **filtro de exclusividade**, removendo trechos que, embora pertinentes à UAM, se ajustavam melhor a outro tema. Como resultado, o corpus normativo de cada tema foi composto apenas por normas com diretrizes operacionais ou regulatórias diretamente acionáveis.

Assim, a **base normativa do Produto II não corresponde à totalidade** das normas levantadas no Produto I. O Produto I mapeou um universo jurídico mais amplo; já no Produto II foram mantidas somente as normas que **passaram pela filtragem temática** descrita acima (Diretrizes Ativas e filtro de exclusividade por tema). Em termos práticos, as listas de “Base Normativa” das matrizes refletem esse **subconjunto validado**, e não o inventário completo originalmente analisado.

### 2.2.2 *Temas Estruturantes Identificados*

A aplicação dessa abordagem resultou na definição de **nove temas estruturantes**. A distribuição das frequências reflete a ênfase do ordenamento jurídico brasileiro em determinadas dimensões da atividade aeronáutica e urbanística: temas como *Uso do Solo* (T3) e *Infraestrutura de Vertiportos* (T5) apresentam as maiores frequências acumuladas, indicando a centralidade dessas questões no arcabouço normativo vigente, enquanto temas emergentes como *Infraestrutura Energética* (T4) registram frequência relativamente menor, sinalizando lacunas regulatórias a serem endereçadas à medida que a UAM avance no contexto brasileiro.

A Figura 2.2 sintetiza as cinco etapas do fluxo e a presença relativa de cada tema no





corpus normativo.

**FLUXO DAS 5 ETAPAS**

- Etapa 1**  
Recuperação das tabelas de frequência — Produto I
- Etapa 2**  
Identificação dos termos mais recorrentes no corpus
- Etapa 3**  
Agrupamento semântico por categoria
- Etapa 4**  
Validação pela equipe técnica do ITA
- Etapa 5**  
Consolidação e nomeação dos temas

**9 TEMAS — PRESENÇA NO CORPUS**



*Presença relativa no corpus normativo (Produto I)*

Figura 2.2: Fluxo metodológico e relevância temática identificada no corpus.

A Tabela 2.1 detalha os nove temas, indicando as palavras-chave associadas a cada eixo de investigação.

Tabela 2.1: Temas estruturantes e respectivas palavras-chave

Código	Tema	Palavras-chave
T1	Ruído	Ruído, acústico, som, poluição sonora, impacto sonoro, psicoacústica
T2	Integração Urbano-Social	Aceitação social, percepção pública, confiança, acessibilidade, multimodal, intermodal, integração de transporte
T3	Uso do Solo	Vertiporto, zoneamento, planejamento urbano, desenvolvimento urbano, plano diretor, regulamentações de construção, zona de proteção
T4	Infraestrutura Energética	Recarga rápida, armazenamento de energia, demanda elétrica, gestão de energia, demanda de pico, integração à rede
T5	Infraestrutura de Vertiportos	Vertistop, FATO, TLOF, design de vertiporto, lado terra, planejamento de rotas, procedimento de aproximação
T6	Governança	Certificação, marco regulatório, EASA, FAA, ANAC, <i>sandbox</i> regulatório, política pública, parceria público-privada, código de obras
T7	Meio Ambiente	Impacto ambiental, sustentabilidade, pegada de carbono, emissões, fauna, biodiversidade, clima, meteorológico, licenciamento ambiental
T8	Tecnologia de Suporte	5G, 6G, comunicação, GNSS, ADS-B, UTM, U-space, CNS, vigilância, navegação, telecomunicações
T9	Viabilidade Econômica	Modelagem de demanda, modelo de negócios, análise econômica, disposição a pagar, incentivo fiscal, análise de investimento





## 2.3 Fase 2 — Análise Bibliométrica da Literatura Científica

Diante do crescente volume de publicações em UAM, fez-se necessário o desenvolvimento de um método estruturado capaz de identificar e priorizar os trabalhos mais relevantes e influentes. Para tanto, foram implementados dois métodos complementares de avaliação: o *Score* de Relevância Temática, que mede o grau de alinhamento entre o conteúdo do artigo e os temas de interesse, e o método InOrdinatio, que prioriza artigos com base em seu impacto acadêmico.

### 2.3.1 Coleta de Dados

Os artigos foram obtidos a partir da base *Web of Science*, uma das principais plataformas de indexação de publicações científicas. Os registros exportados contêm informações como título, autores, revista, ano de publicação, resumo, palavras-chave e número de citações — matéria-prima para as etapas subsequentes de análise.

### 2.3.2 Score de Relevância Temática

A análise de relevância temática tem por objetivo quantificar o grau de alinhamento entre o conteúdo de cada artigo e os temas de interesse. O método fundamenta-se na busca de termos específicos em três campos do artigo: título, resumo e palavras-chave.

Para cada tema, foi definido um conjunto de termos de busca composto por expressões obrigatórias, que identificam o domínio geral da UAM (como “Urban Air Mobility”, “eVTOL” e “Advanced Air Mobility”), e termos temáticos específicos. Por exemplo, para o tema de infraestrutura de vertiportos, os termos específicos incluem “vertiport”, “FATO”, “TLOF” e “air corridor”.

O *score* de relevância de cada artigo é calculado pela seguinte formulação:

$$S = (T \cdot w_t) + (R \cdot w_r) + (P \cdot w_p) \quad (2.1)$$

Onde os componentes da Equação 2.1 são:

- *S*: Score final de relevância do artigo;
- *T*: Frequência de termos encontrados no **Título**;





- $w_t$ : Peso do título (fixado em **3**);
- $R$ : Frequência de termos encontrados no **Resumo**;
- $w_r$ : Peso do resumo (fixado em **2**);
- $P$ : Frequência de termos encontrados nas **Palavras-Chave**;
- $w_p$ : Peso das palavras-chave (fixado em **1**).

*Nota: A atribuição de pesos decrescentes ( $w_t > w_r > w_p$ ) reflete a premissa de que a ocorrência de descritores no título confere probabilidade estatisticamente superior de aderência ao escopo da pesquisa em comparação aos demais campos.*

### 2.3.3 Método InOrdinatio

O método InOrdinatio (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015) é um índice de priorização de artigos científicos que integra três dimensões fundamentais:

1. **Impacto da revista:** medido pelo Fator de Impacto do periódico (*Journal Impact Factor* — JIF);
2. **Recência:** avalia a atualidade do artigo, favorecendo publicações mais recentes;
3. **Influência:** mensurada pelo número de citações recebidas.

O índice é calculado pela seguinte expressão:

$$I_O = \frac{I_F}{1000} + \alpha \cdot [10 - (A_c - A_p)] + \sum C \quad (2.2)$$

Onde os componentes da Equação 2.2 são:

- $I_O$ : Índice *InOrdinatio* final;
- $I_F$ : Fator de Impacto da revista;
- $\alpha$ : Coeficiente de ponderação (adotou-se  $\alpha = 10$ , valor limite, conforme recomendação metodológica);





- $A_c$ : Ano de coleta;
- $A_p$ : Ano de publicação do artigo;
- $\sum C$ : Número total de citações recebidas (Web of Science).

*Nota: O termo  $[10 - (A_c - A_p)]$  representa o fator de recência, penalizando artigos mais antigos ou valorizando produções recentes dentro de um horizonte de 10 anos.*

**Comportamento dos componentes.** O fator de impacto  $I_F/1000$  normaliza a contribuição do periódico em relação aos demais componentes. O fator de recência atribui pontuação decrescente conforme a idade do artigo: considerando análise realizada em 2024, um artigo do mesmo ano recebe 100 pontos ( $10 \times [10 - 0]$ ), enquanto um artigo de 2015 recebe apenas 10 pontos ( $10 \times [10 - 9]$ ). O número de citações é incorporado diretamente, sem transformação, favorecendo artigos amplamente reconhecidos pela comunidade científica.

### 2.3.4 Integração das Duas Abordagens

Os dois métodos são complementares e atendem a propósitos distintos, conforme sintetizado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Comparação entre as abordagens de avaliação bibliométrica

Aspecto	Score de Relevância	InOrdinatio
Foco	Alinhamento temático	Qualidade acadêmica
Pergunta que responde	“Este artigo trata do meu tema?”	“Este artigo é influente?”
Aplicação principal	Filtrar artigos pertinentes	Priorizar a ordem de leitura

A estratégia de uso adotada segue três etapas: (i) utiliza-se o *Score* de Relevância para filtrar os artigos com maior aderência temática; (ii) aplica-se o *InOrdinatio* para ordenar os artigos filtrados por impacto acadêmico; e (iii) o cruzamento das duas métricas permite identificar artigos potencialmente relevantes que passariam despercebidos caso apenas um critério fosse utilizado.





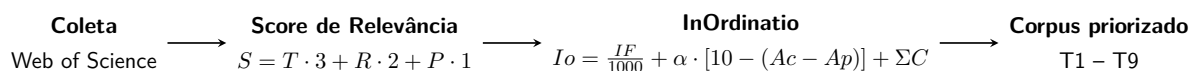
### 2.3.5 Resultados da Análise

A aplicação sistemática da metodologia ao corpus bibliográfico resultou na análise de 4394 artigos distribuídos entre os nove campos temáticos. A Tabela 2.4 detalha os valores numéricos para referência.

Tabela 2.4: Resumo geral da análise InOrdinatio por campo temático (UAM)

Tema	Total Registros	InOrdinatio Médio	Score Médio	JIF Médio
Governança	256	72,7	9,4	1,5
Infraestrutura (Energia)	120	86,9	8,9	1,7
Infraestrutura (Vertiporto)	395	82,5	11,0	1,6
Integração Urbano Social	274	78,1	7,0	1,8
Meio Ambiente	1.000	48,3	5,8	1,5
Ruído	274	78,1	6,5	1,8
Tecnologia de Suporte	738	64,6	7,7	1,7
Uso do Solo	77	76,9	8,3	2,0
Viabilidade Econômica	265	75,1	8,1	1,6
<b>Total</b>	<b>4.394</b>	<b>69,2</b>	<b>8,1</b>	<b>1,7</b>

A sequência lógica abaixo apresenta o fluxo da análise e o resumo consolidado dos resultados.



A análise dos resultados revela padrões distintos entre os campos. O campo *Meio Ambiente* concentra o maior volume de publicações (1000 artigos), seguido por *Tecnologia de Suporte* com 738 registros. Entretanto, observa-se uma relação inversa entre volume de publicações e especificidade temática: campos com maior número de registros tendem a apresentar *scores* de relevância mais baixos.

Em relação ao índice InOrdinatio médio, destaca-se *Infraestrutura Energética* com 86.9 pontos, indicando corpus composto por artigos recentes, citados e publicados em periódicos de impacto. O campo *Infraestrutura de Vertiportos* apresenta o maior *score* de relevância temática (11.0), evidenciando alta concentração de estudos especificamente voltados ao planejamento e projeto de vertiportos.

O campo *Uso do Solo*, com volume reduzido de artigos (77), destaca-se pelo maior JIF médio (2.04), sugerindo que discussões sobre integração espacial e planejamento





territorial da UAM têm atraído atenção de periódicos de prestígio nas áreas de urbanismo.

### 2.3.6 Limitações e Mitigações

São reconhecidas as seguintes limitações inerentes à abordagem adotada:

1. **Base de dados:** A análise foi restrita ao *Web of Science*; publicações indexadas exclusivamente em outras bases (Scopus, Google Scholar) não foram contempladas.
2. **Termos de busca:** Definidos manualmente, são sensíveis a variações linguísticas e à abrangência das expressões escolhidas.
3. **Fator de Impacto:** Disponível apenas para periódicos indexados e com variações significativas entre diferentes áreas do conhecimento.
4. **Viés de recência:** O componente temporal do InOrdinatio tende a penalizar trabalhos clássicos publicados há mais de uma década.

Para atenuar essas limitações: (i) os artigos mais bem classificados em cada tema foram revisados individualmente (**validação manual**); (ii) os termos de busca foram ajustados progressivamente com base nos resultados obtidos em rodadas anteriores (**refinamento iterativo**); e (iii) a análise conjunta do *Score* e do InOrdinatio reduz o risco de exclusão indevida de artigos relevantes (**uso complementar das métricas**).

## 2.4 Fase 3 — Extração de Questões e Diretrizes Assistida por LLM

A concretização do GUAM demandou a análise exaustiva de um volume expressivo de documentos heterogêneos, compreendendo: a legislação federal e regulamentações aeronáuticas inventariadas no Produto I; os artigos científicos selecionados pelo método InOrdinatio; e os documentos de Conceito de Operações (*ConOps*) publicados por autoridades aeronáuticas nacionais e internacionais.

Diante da extensão do corpus documental e da necessidade de extrair informações estruturadas de forma sistemática e replicável, optou-se pelo emprego de LLMs como ferramenta auxiliar no processo de análise textual. A abordagem assistida por inteligência artificial não substituiu a análise crítica da equipe técnica, mas atuou como





mecanismo de triagem e estruturação inicial, cujos resultados foram posteriormente validados e refinados pelos pesquisadores.

### 2.4.1 Arquitetura do Processo de Extração

O processo foi estruturado em duas etapas principais, ilustradas na Figura 2.3.

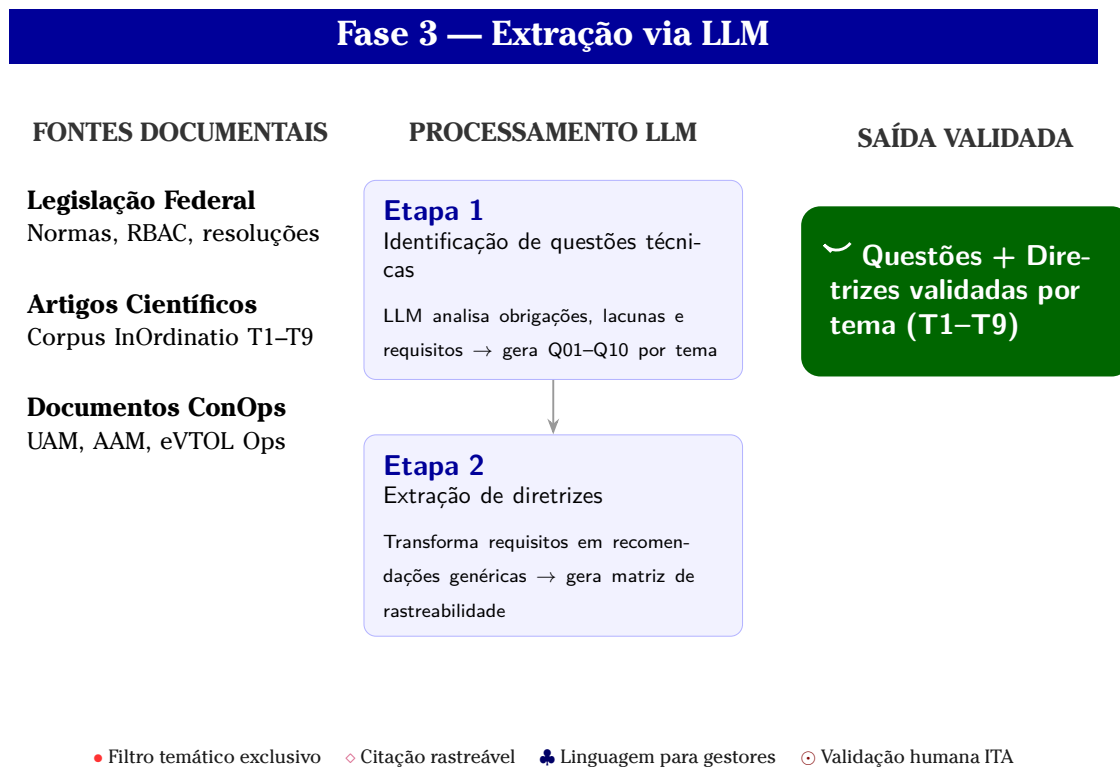


Figura 2.3: Fluxo de extração de questões e diretrizes assistida por LLM (Fase 3)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026). Equipe SIGMAc.

**Etapa 1 — Identificação de Questões Técnicas.** O modelo foi instruído a analisar cada documento em busca de obrigações, proibições, requisitos mandatórios, metodologias de cálculo, lacunas regulatórias e recomendações. A partir desses elementos, questões foram formuladas em linguagem acessível a gestores municipais sem formação aeronáutica, abstraindo valores numéricos específicos para garantir aplicabilidade genérica. Cada categoria de fonte — artigos científicos, legislação e ConOps — foi processada separadamente; os resultados foram posteriormente consolidados para eliminar redundâncias.

**Etapa 2 — Extração de Diretrizes.** O modelo foi orientado a transformar cada requisito normativo em recomendação genérica e acessível, iniciando com verbos





como “Recomenda-se” ou “Deve-se considerar”, e substituindo valores numéricos por expressões como “conforme normas vigentes” ou “de acordo com parâmetros estabelecidos pela autoridade competente”. Cada diretriz foi vinculada, quando aplicável, à questão correspondente, estabelecendo uma **matriz de rastreabilidade** entre problemas identificados e soluções normativas disponíveis.

### 2.4.2 Mecanismos de Controle de Qualidade

Foram implementados mecanismos de controle em múltiplos níveis:

**Filtro de Exclusividade Temática.** Os *prompts* instruíram o modelo a consultar as definições de todos os nove temas (T1 a T9) e utilizar as definições dos demais temas como critérios de exclusão. Esse mecanismo reduziu a sobreposição temática e garantiu que cada diretriz fosse alocada ao tema mais apropriado.

**Exigência de Citação Rastreável.** Toda afirmação extraída deveria ser acompanhada de referência explícita ao documento fonte, utilizando o comando `\cite{}` com o nome padronizado do arquivo. Essa exigência permitiu a verificação posterior de cada extração pela equipe técnica.

**Linguagem Acessível ao Público-Alvo.** Os *prompts* especificaram que o público-alvo do Guia são gestores municipais sem formação aeronáutica. Portanto, jargões técnicos deveriam ser explicados brevemente, mantendo tom técnico, neutro e direto.

**Validação Humana.** Os resultados gerados pelo modelo foram revisados pela equipe técnica do ITA, que verificou a correção das extrações, a pertinência das questões formuladas e a adequação das diretrizes ao contexto municipal. Inconsistências identificadas foram corrigidas manualmente; casos ambíguos foram reanalisados com ajustes nos *prompts*.

### 2.4.3 Estrutura dos Prompts Utilizados

Foram desenvolvidos cinco *prompts* principais, cada qual com função específica no processo de extração:





1. **Prompt de Definição de Temas:** Estabelece o contexto e os parâmetros de análise, instruindo o modelo a consultar as definições temáticas e aplicar o filtro de exclusividade.
2. **Prompt de Problemáticas:** Orienta a extração de questões técnicas a partir de obrigações, proibições, requisitos e lacunas identificados nos documentos. Gera texto dissertativo consolidando as informações e tabela com questões numeradas (Q01–Q10).
3. **Prompt de Consolidação de Problemáticas:** Unifica os resultados obtidos de diferentes categorias de fontes (artigos, legislação, ConOps), eliminando redundâncias e reorganizando o conteúdo em fluxo narrativo coerente.
4. **Prompt de Diretrizes:** Extrai recomendações genéricas a partir dos documentos, vinculando-as às questões previamente identificadas e gerando a matriz de rastreabilidade.
5. **Prompt de Consolidação de Diretrizes:** Integra as diretrizes extraídas de múltiplas fontes, eliminando duplicatas e organizando o conjunto final por tema.

Os textos completos dos *prompts* encontram-se nos Apêndices 8.6 a 8.6, permitindo a replicação do processo.

#### 2.4.4 Considerações sobre o Uso de LLMs

**Vantagens.** A capacidade de processar grandes volumes de texto em tempo reduzido permitiu a análise exaustiva de documentos que, de outra forma, demandariam meses de trabalho manual. A padronização dos *prompts* garantiu consistência na extração, reduzindo a variabilidade inerente à interpretação humana de múltiplos analistas.

**Limitações.** Modelos de linguagem podem apresentar imprecisões na interpretação de textos técnicos especializados, especialmente em contextos normativos onde a literalidade é relevante. A dependência de *prompts* bem formulados exige conhecimento prévio do domínio por parte do pesquisador.

**Mitigação.** As limitações foram mitigadas por meio de: (i) desenvolvimento iterativo dos *prompts*, com ajustes baseados em resultados de rodadas anteriores; (ii) re-





visão integral dos resultados pela equipe técnica; e (iii) triangulação com análises manuais de documentos-chave para verificação de consistência.

A abordagem adotada representa, portanto, um **modelo híbrido de análise documental**, no qual a inteligência artificial atua como ferramenta de apoio à pesquisa, potencializando a capacidade analítica da equipe sem substituir o julgamento crítico e a validação especializada.

## 2.5 Síntese do Processo Metodológico

As três fases descritas ao longo deste capítulo constituem um processo integrado e sequencial, articulado pelo *framework* PESTEL como referencial analítico transversal. A Figura 2.4 sintetiza esse encadeamento, evidenciando a progressão desde a análise macro-ambiental até a produção das diretrizes do GUAM.

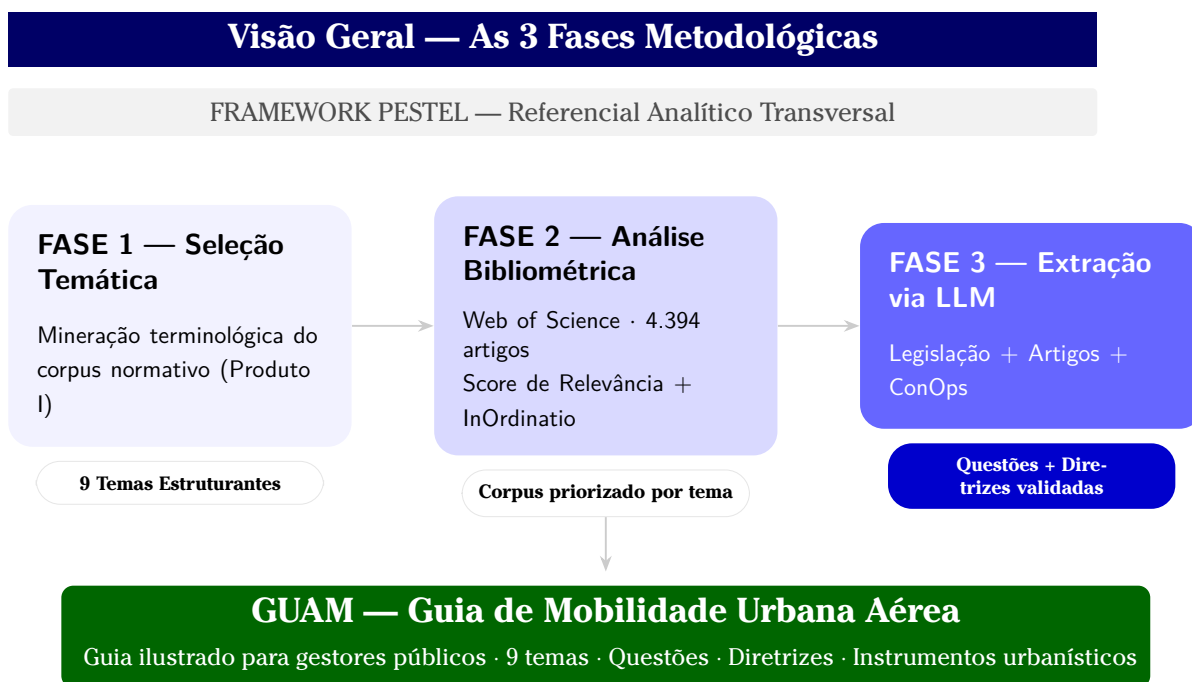


Figura 2.4: Síntese do fluxo metodológico do GUAM

Fonte: Elaborado pelos autores (2026). Equipe SIGMAc.

Cada fase gera um *output* para a etapa seguinte: os nove temas estruturantes consolidados na Fase 1 organizam as buscas bibliométricas da Fase 2, cujo corpus priorizado orienta a extração de questões técnicas e diretrizes na Fase 3. O produto final é o GUAM — guia ilustrado e acessível, entregue separadamente deste relatório, voltado a gestores públicos que precisam regulamentar a UAM em seu município sem a necessidade de percorrer toda a base técnico-científica aqui documentada.





## 3 Temas e Diretrizes para UAM

Este capítulo consolida as problemáticas identificadas e as diretrizes normativas correspondentes para a implementação da Mobilidade Aérea Urbana (UAM). A organização segue ordem alfabética dos temas, onde cada seção apresenta:

1. Descrição do tema e revisão documental
2. Questões técnicas para gestores municipais
3. Diretrizes normativas consolidadas

### 3.1 Governança

#### 3.1.1 *Problemática*

A implementação da UAM requer o desenvolvimento célere de marcos normativos e regulatórios que integrem o desenvolvimento de veículos, o gerenciamento do espaço aéreo e a aceitação da comunidade para assegurar a segurança e a confiança pública (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a). Como a tecnologia avança em ritmo superior ao das políticas públicas, estabelece-se a necessidade de um esforço colaborativo entre autoridades locais, estaduais e agências federais para evitar o chamado "vazio institucional", a ausência de regras claras para o espaço urbano de baixa altitude e a paralisia do serviço por falta de planejamento integral (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; CITYAM Project Team, 2024). No cenário brasileiro, a ANAC e o DECEA atuam como autoridades competentes, requerendo uma atuação conjunta para viabilizar o modal, sendo a ANAC responsável pela regulação da aviação civil e infraestrutura, enquanto o DECEA regula os serviços de navegação e controle do espaço aéreo (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

A governança deste sistema adota uma abordagem adaptativa, na qual a ANAC estabelece ambientes regulatórios experimentais, denominados sandboxes regulatórios, que permitem o teste de soluções inovadoras mediante o afastamento temporário de certas normas e estímulo a investimentos (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC),





2025). A Mobilidade Aérea Avançada (AAM) é reconhecida como um componente da mobilidade urbana, o que exige que as decisões estratégicas municipais e nacionais sejam suportadas por marcos de implementação que definam as funções dos Provedores de Serviço UAM (Provedor de Serviço UAM (PSU)) — entidades responsáveis por gerenciar as intenções de voo e garantir a separação estratégica entre aeronaves (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). Recomenda-se a criação da função de Planejador de Mobilidade Aérea Urbana na administração municipal para coordenar pedidos de operadores e alinhar o serviço às metas de planejamento urbano de longo prazo (CITYAM Project Team, 2024).

No âmbito do planejamento e uso do solo, a integração da atividade aérea exige que os municípios compatibilizem seu ordenamento territorial com os Planos de Zona de Proteção (PZP) e demais restrições aeronáuticas, conhecidas como servidões aeronáuticas (limitações impostas às propriedades vizinhas para garantir a segurança dos voos) (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; DÍAZ-OLARIAGA, 2025). As autoridades locais desempenham papel fundamental na determinação de leis relativas ao zoneamento, privacidade e limites de ruído aceitáveis para a comunidade (Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners, 2020). Para a viabilização de aeródromos e helipontos, o operador deve obter a ciência da administração municipal, formalizada por declaração que ateste o conhecimento sobre as restrições de uso do solo decorrentes da operação (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021). No caso de vertiportos — locais específicos para aeronaves elétricas de decolagem vertical —, pode-se exigir Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) ou Estudo de Impacto Ambiental (EIA) antes de sua inclusão nos planos aeroportuários (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025).

A regulação do mercado e do financiamento estabelece que cidades e regiões formem acordos de cooperação para guiar a operação de instalações críticas (DÍAZ-OLARIAGA, 2025). O financiamento inicial pode provir de investidores privados, mas o gestor público deve considerar modelos sustentáveis, como o uso do espaço aéreo como fonte de receita pública ou a concessão de subvenções para incentivar o desenvolvimento local (DÍAZ-OLARIAGA, 2025). A legislação deve prever isenções para operações de segurança pública e emergências médicas, além de definir claramente a responsabilidade civil associada a operações automatizadas (Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners, 2020). É imperativo que o serviço seja incorporado aos planos mestres de transporte e infraestrutura da cidade, priorizando soluções de baixo impacto ambiental e ruído (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025).





Por fim, o monitoramento contínuo e a fiscalização são requisitos mandatórios para a manutenção da segurança operacional. As autoridades municipais devem estruturar processos internos para identificar e comunicar ao órgão aeronáutico objetos ou atividades que violem as zonas de proteção, sob risco de emissão de autos de embargo para paralisar obras irregulares (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A gestão de riscos deve incluir a cooperação com autoridades ambientais para o manejo de fauna no entorno das áreas de operação (Brasil, 2012). A governança eficaz estabelece a participação cidadã como pilar central, exigindo transparência institucional e o envolvimento da comunidade em todas as etapas de desenvolvimento para garantir a viabilidade social do serviço (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; CITYAM Project Team, 2024).

TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
<b>Governança</b>	<b>Q01</b> – Como o município delimitará as competências com as autoridades federais (ANAC/DECEA) para autorizar e fiscalizar voos e locais de pouso em áreas urbanas?
	<b>Q02</b> – De que forma o Plano Diretor e a legislação de zoneamento serão atualizados para incorporar as restrições das Zonas de Proteção de Aeródromos e novos corredores aéreos?
	<b>Q03</b> – Quais são os critérios e protocolos municipais para a emissão da declaração de ciência e a realização de estudos de impacto de vizinhança para vertiportos?
	<b>Q04</b> – Como a prefeitura pretende estruturar a função do gestor ou planejador responsável por centralizar e coordenar as demandas do ecossistema de mobilidade aérea?
	<b>Q05</b> – Como o município planeja participar de ambientes regulatórios experimentais (sandboxes) para testar e incentivar a inovação no setor de transporte aéreo?
	<b>Q06</b> – Qual a estratégia para utilizar a exploração do espaço aéreo ou parcerias público-privadas como fonte de receita e financiamento para a infraestrutura urbana?
	<b>Q07</b> – Qual a metodologia da fiscalização municipal para identificar obstáculos físicos que desrespeitem as normas aeronáuticas e comunicar infrações ao órgão regional?
	<b>Q08</b> – Como as normas de segurança pública e atendimento a emergências médicas serão integradas às restrições operacionais e de tráfego aéreo ordinárias?
	<b>Q09</b> – Quais mecanismos de transparência e participação social serão adotados para decidir sobre horários, rotas e níveis aceitáveis de ruído nas áreas residenciais?
	<b>Q10</b> – Como será coordenada a cooperação entre prefeitura, autoridades ambientais e operadores para o manejo de risco de fauna no entorno dos locais de operação aérea?





### 3.1.2 Diretrizes

A Governança e Regulação Urbana no contexto da UAM refere-se ao arcabouço institucional e normativo necessário para integrar o modal aéreo ao tecido urbano das cidades. Para gestores municipais, isso significa coordenar as leis locais — como o Plano Diretor, o Código de Obras, as normas de zoneamento e o Estudo de Impacto de Vizinhaça (EIV) — com as exigências técnicas da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), garantindo que a instalação de vertiportos e a definição de rotas de voo ocorram de forma organizada, segura e em harmonia com o desenvolvimento urbano sustentável (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). Este tema é o pilar que harmoniza as competências federais e municipais, englobando desde a atuação de agências reguladoras e a criação de ambientes experimentais (*sandboxes*), até a aplicação de instrumentos municipais de planejamento e participação social (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2025; CITYAM Project Team, 2024).

A metodologia aplicada consistiu em uma revisão sistemática e exaustiva de três categorias de fontes: (i) literatura técnica e científica, orientada pela string de busca “(“Urban Air Mobility” OR “UAM” OR “eVTOL” OR “Advanced Air Mobility” OR “AAM”) AND (“certification” OR “airworthiness” OR “regulatory framework” OR “EASA” OR “FAA” OR “ANAC” OR “regulatory sandbox” OR “aviation policy” OR “public policy” OR “policy framework” OR “public-private partnership” OR “governance” OR “type certification” OR “SC-VTOL” OR “building code” OR “urban impact assessment”)", com foco em diretrizes de políticas públicas e modelos de governança; (ii) legislação federal e normas aeronáuticas brasileiras, orientada pela string “Governança AND Regulação AND Urbana AND Mobilidade Aérea”, com ênfase em responsabilidades administrativas, processos de licenciamento e articulação entre esferas de governo; e (iii) documentos de conceito de operações de autoridades aeronáuticas nacionais e internacionais, orientados pela string “UAM AND governance AND urban planning AND local regulation”.

Tabela 3.1: Documentos Analisados – Governança e Regulação Urbana

Documento	Descrição
(DÍAZ-OLARIAGA, 2025)	Artigo científico que propõe diretrizes e recomendações de políticas públicas para a implementação da mobilidade aérea urbana, focando em governança, regulação e integração cidadina.





Documento	Descrição
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021)	Norma do Comando da Aeronáutica que estabelece os processos para análise de planos diretores aeroportuários, inscrição de aeródromos e objetos projetados no espaço aéreo.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020)	Instrução que dispõe sobre as restrições e proteções para objetos no espaço aéreo que podem afetar a segurança de voo e define competências municipais.
(BRASIL, 2005)	Lei de criação da ANAC, definindo suas competências como agência reguladora da aviação civil no Brasil.
(Brasil, 2012)	Lei que trata do controle da fauna no entorno de aeródromos e as obrigações de entes públicos e privados nesse manejo.
(Congresso Nacional, 2015)	Lei que estabelece normas gerais para a implantação de infraestrutura de telecomunicações e sua integração com o planejamento urbano.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Concepção Operacional do DECEA para a Mobilidade Aérea Urbana no Brasil, detalhando o ecossistema UAM, níveis de maturidade e competências.
(BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025)	Projeto de Lei que propõe alterações em diversas normas para incluir a mobilidade aérea avançada e aeronaves elétricas no sistema de transporte.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2025)	Resolução que define as regras para a criação de Ambientes Regulatórios Experimentais (Sandboxes Regulatórios) no âmbito da aviação civil.
(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a)	Documento estratégico da NASA detalhando barreiras e prioridades de pesquisa para a mobilidade aérea avançada, com foco em integração comunitária.
(Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners, 2020)	Conceito de operações para transporte de passageiros em UAM, identificando papéis de stakeholders e barreiras regulatórias locais.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Panorama brasileiro sobre o setor de Mobilidade Aérea Avançada, detalhando áreas de regulação impactadas e eixos de comunicação com as esferas de governo.





Documento	Descrição
(CITYAM Project Team, 2024)	Relatório europeu focado no desenvolvimento de ferramentas de suporte à decisão para municípios no planejamento de locais de pouso.

Um primeiro eixo estruturante diz respeito à **articulação intergovernamental e coordenação institucional**. A ANAC é a autoridade competente para regular e fiscalizar a infraestrutura aeroportuária e as atividades de aviação civil no Brasil (BRASIL, 2005). A atuação colaborativa entre os órgãos reguladores federais (ANAC e DECEA) e a administração municipal é identificada como condição indispensável para a viabilidade da implementação do ecossistema de mobilidade aérea (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Recomenda-se que o governo municipal estabeleça eixos de comunicação institucionalizada com a ANAC e o DECEA para alinhar políticas e legislações locais às normas federais de aviação civil (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). A literatura científica reforça a necessidade de uma estreita colaboração entre autoridades nacionais, estaduais e locais, além da indústria e da academia, para a criação de políticas sustentáveis, e que as autoridades aeronáuticas e gestores locais trabalhem conjuntamente no design e na padronização de novas ferramentas de gestão do espaço aéreo urbano (DÍAZ-OLARIAGA, 2025). Documentos conceituais internacionais convergem ao recomendar o estabelecimento de parcerias sistêmicas que envolvam a indústria e governos locais para validar casos de negócio e conceitos de operação urbana (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a). A cooperação multidisciplinar entre agências de telecomunicações, ambientais e de transporte é indicada para uma regulação abrangente (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; Brasil, 2012; Congresso Nacional, 2015).

O segundo eixo trata da **adequação dos instrumentos urbanísticos municipais**. Recomenda-se que a prefeitura deve incorporar, no Plano Diretor, as limitações dos planos de zona de proteção aprovados (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021). Também deve emitir declaração formal de ciência sobre os impactos de novas zonas de proteção para aeródromos ou helipontos e compatibilizar o ordenamento territorial com as restrições de proteção ao voo (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020). Recomenda-se a atualização das normas de zoneamento e desenho urbano para incluir os requisitos de construção e operação de infraestruturas de suporte, e que o município adapte sua legislação de zoneamento para acomodar a infraestrutura necessária em harmonia com as normas de segurança (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). As autoridades locais





devem utilizar seus códigos de obras e normas de zoneamento para definir locais compatíveis com a operação de novos portos aéreos urbanos (Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners, 2020). A incorporação do modal aéreo nos planos de infraestrutura e mobilidade de longo prazo da cidade ou região é recomendada, priorizando soluções que contribuam para a redução de impactos socioambientais (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). A exigência de estudos de impacto de vizinhança para vertiportos poderá ser coordenada entre a autoridade aeronáutica e as autoridades locais, e a aprovação de vertiportos em centros urbanos deve ocorrer somente após a demonstração de níveis aceitáveis de ruído e segurança para a comunidade (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A necessidade de clarificar internamente os processos de decisão sobre propriedade e uso da terra, incluindo avaliações de impacto para novos pontos de pouso, é igualmente indicada (CITYAM Project Team, 2024). O licenciamento de infraestruturas de suporte em áreas urbanas deve ser pautado pela integração com as atividades de urbanização e redução de impactos paisagísticos (Congresso Nacional, 2015).

O terceiro eixo trata da **estrutura administrativa e capacidade institucional municipal**. Recomenda-se a criação de uma função ou setor específico na prefeitura para centralizar e coordenar as demandas do ecossistema de mobilidade aérea, estruturado de forma transversal aos departamentos de transporte e planejamento urbano (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; CITYAM Project Team, 2024). Este gestor ou planejador de mobilidade aérea seria responsável por centralizar o recebimento e o processamento de demandas de novos operadores (CITYAM Project Team, 2024). Recomenda-se, ainda, a utilização de interfaces digitais de troca de dados entre os sistemas municipais e o ecossistema UAM para gerenciar restrições de espaço aéreo em tempo real (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O envolvimento ativo das autoridades municipais na definição estratégica de onde e como o serviço deve ser introduzido é indicado para mitigar externalidades negativas (DÍAZ-OLARIAGA, 2025).

O quarto eixo refere-se aos **ambientes regulatórios experimentais e inovação**. A resolução da ANAC define as regras para a criação de Ambientes Regulatórios Experimentais (*sandboxes*), nos quais inovações tecnológicas e novos modelos de negócio podem ser testados em condições controladas (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2025). Recomenda-se que o município coopere com projetos admitidos nesses ambientes, observando que a participação exige o monitoramento constante de riscos e a transparência no tratamento de reclamações dos usuários (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2025). A realização de simulações e testes em ambientes controlados é indicada como etapa fundamental antes da implementação real





de novas regras de tráfego aéreo urbano (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A literatura científica recomenda o estabelecimento de marcos para permitir testes seguros de veículos por meio de ambientes regulatórios experimentais (DÍAZ-OLARIAGA, 2025).

O quinto eixo aborda os **mecanismos de financiamento e parcerias**. Recomenda-se a estruturação de parcerias público-privadas ou concessões para a provisão e operação da infraestrutura terrestre de suporte (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners, 2020). Sugere-se estabelecer critérios de compensação financeira para o município pelo uso de terrenos públicos ou lajes em áreas urbanas para infraestrutura aérea (CITYAM Project Team, 2024). A exploração do uso do espaço aéreo como fonte potencial de receita pública para o financiamento da infraestrutura urbana é indicada como alternativa adicional (DÍAZ-OLARIAGA, 2025).

O sexto eixo consolida recomendações sobre a **fiscalização, segurança e gestão de obstáculos**. A administração municipal deve colaborar ativamente na fiscalização e monitoramento de novos obstáculos físicos em áreas de proteção próximas a locais de operação aérea (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020). A prefeitura deve exigir a decisão final da autoridade aeronáutica antes de aprovar projetos de novos objetos ou edificações em áreas sujeitas a restrições espaciais (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020). Recomenda-se que o município estabeleça canais para receber e apurar denúncias sobre obstáculos que possam contrariar normas aeronáuticas, encaminhando os dados técnicos ao órgão regional competente (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020). A regulação das servidões aeronáuticas (restrições ao uso do solo no entorno de infraestruturas aéreas) é indicada para gerir obstáculos físicos e garantir a operação segura (DÍAZ-OLARIAGA, 2025). A integração das normas de segurança pública e resposta a emergências nos procedimentos operacionais ordinários do sistema aéreo é igualmente recomendada, garantindo que operações de segurança pública, atendimento médico de emergência e missões militares sejam plenamente integradas às regras de tráfego aéreo urbano (DÍAZ-OLARIAGA, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A coordenação entre a prefeitura e autoridades ambientais e aeronáuticas para o manejo do risco de fauna no entorno das operações complementa esse conjunto de responsabilidades (Brasil, 2012).

Por fim, o sétimo eixo trata da **participação cidadã e transparência**. Recomenda-se a adoção de mecanismos de participação cidadã, como *workshops* e sessões interativas, para envolver a comunidade em todas as etapas do projeto (DÍAZ-OLARIAGA,





2025). A adoção de ferramentas de suporte à decisão que garantam transparência e permitam a participação de residentes na escolha de locais de operação e rotas é indicada (CITYAM Project Team, 2024). As autoridades locais devem utilizar fóruns de cooperação com líderes comunitários para educar a população e resolver preocupações de segurança pública e legalidade (Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners, 2020). Recomenda-se, ainda, o estabelecimento de marcos para a emissão de permissões operacionais que definam horários e locais de pouso, priorizando o bem-estar dos moradores (DÍAZ-OLARIAGA, 2025).

As diretrizes a seguir consolidam os requisitos e recomendações extraídos de todas as fontes analisadas para orientar a administração pública na estruturação da governança necessária à implementação do transporte aéreo urbano, articulando competências federais e municipais em prol de uma regulação ordenada, transparente e participativa.

Tabela 3.2: Matriz de Diretrizes – Governança e Regulação Urbana

Documento	Diretriz
(BRASIL, 2005; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; DÍAZ-OLARIAGA, 2025; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a)	Recomenda-se a atuação colaborativa e institucionalizada entre os órgãos reguladores federais, a administração municipal, a indústria e a academia, com eixos de comunicação permanentes para alinhar políticas locais às normas federais de aviação civil (Q01).





Documento	Diretriz
<p>(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; DÍAZ-OLARIAGA, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners, 2020; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Congresso Nacional, 2015)</p>	<p>Deve-se incorporar as limitações dos planos de zona de proteção ao Plano Diretor municipal, atualizar as normas de zoneamento para acomodar a infraestrutura de vertiportos e incluir o modal aéreo nos planos de mobilidade de longo prazo, priorizando a redução de impactos socioambientais (Q02).</p>
<p>(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; CITYAM Project Team, 2024)</p>	<p>Recomenda-se que a prefeitura emita declaração formal de ciência sobre os impactos das zonas de proteção, e que a aprovação de vertiportos em centros urbanos ocorra somente após demonstração de níveis aceitáveis de ruído e segurança, podendo a exigência de estudos de impacto de vizinhança ser coordenada entre autoridade aeronáutica e poder local (Q03).</p>
<p>(DÍAZ-OLARIAGA, 2025; CITYAM Project Team, 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)</p>	<p>Recomenda-se a criação de uma função ou setor específico na prefeitura, transversal aos departamentos de transporte e planejamento urbano, para centralizar as demandas do ecossistema de mobilidade aérea e operar interfaces digitais de troca de dados com o sistema UAM (Q04).</p>
<p>(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; DÍAZ-OLARIAGA, 2025)</p>	<p>Sugere-se que o município coopere com projetos admitidos em ambientes regulatórios experimentais para testar inovações tecnológicas e novos modelos de negócio, precedidos de simulações em ambientes controlados e com monitoramento constante de riscos (Q05).</p>





Documento	Diretriz
(DÍAZ-OLARIAGA, 2025; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners, 2020; CITYAM Project Team, 2024)	Recomenda-se a estruturação de parcerias público-privadas ou concessões para a provisão da infraestrutura terrestre, incluindo critérios de compensação financeira pelo uso de terrenos públicos e a exploração do espaço aéreo como fonte de receita pública (Q06).
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; DÍAZ-OLARIAGA, 2025)	Deve-se considerar a fiscalização constante de obstáculos em áreas de proteção, a regulação de servidões aeronáuticas e o estabelecimento de canais municipais para receber denúncias sobre objetos que contrariem normas aeronáuticas, com encaminhamento ao órgão regional competente (Q07).
(DÍAZ-OLARIAGA, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se a integração das normas de segurança pública e resposta a emergências nos procedimentos operacionais ordinários do sistema aéreo, garantindo a plena inclusão de operações de emergência médica e segurança pública nas regras de tráfego aéreo urbano (Q08).
(DÍAZ-OLARIAGA, 2025; CITYAM Project Team, 2024; Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners, 2020)	Recomenda-se a implementação de mecanismos de participação cidadã e ferramentas de suporte à decisão transparentes, com fóruns comunitários para educar a população, e o estabelecimento de marcos para emissão de permissões operacionais que priorizem o bem-estar dos moradores (Q09).
(DÍAZ-OLARIAGA, 2025; Brasil, 2012; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a)	Deve-se considerar a cooperação multidisciplinar entre agências de telecomunicações, ambientais e de transporte, incluindo a coordenação para o manejo do risco de fauna no entorno das operações e o estabelecimento de parcerias sistêmicas para validar conceitos de operação urbana (Q10).

### 3.2 Infraestrutura





### 3.2.1 *Problemática*

A infraestrutura necessária para a implementação da UAM baseia-se em elementos físicos denominados vertiportos, vertipads, vertihubs ou vertistops, que servem como pontos de interface entre o transporte terrestre e o aéreo (BRUNELLI; DITTA; POSTORINO, 2023; YAN; WANG; QU, 2024). Estas instalações são classificadas como aeródromos públicos e devem ser integradas ao sistema de transporte das cidades, podendo ser construídas tanto ao nível do solo quanto em posições elevadas, como o topo de edifícios, aproveitando estruturas modulares pré-fabricadas que facilitam a adaptação a espaços urbanos preexistentes (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; ANAC, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). Enquanto o vertiporto é uma instalação permanente que suporta decolagem, pouso, estacionamento, carregamento de baterias e manutenção (ZHAO; FENG, 2024), os vertistops são pontos mínimos destinados apenas ao embarque e desembarque rápido de passageiros (YAN; WANG; QU, 2024). O planejamento dessas áreas requer conformidade com planos específicos estabelecidos pela autoridade aeronáutica nacional, garantindo que a instalação suporte as características operacionais das novas aeronaves e a integração tridimensional com o ambiente das cidades (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

A configuração básica de um vertiporto requer componentes específicos para garantir a segurança operacional: a Área de Toque e Elevação Inicial (TLOF), que é a superfície reforçada onde ocorre o contato efetivo das rodas ou apoios com o solo; a Área de Aproximação Final e Decolagem (FATO); e a Área de Segurança (AHN; HWANG, 2022; BRUNELLI; DITTA; POSTORINO, 2023; ANAC, 2024). O dimensionamento desses componentes estabelece-se a partir da maior dimensão da aeronave de projeto (Dimensão "D"), valor que considera o diâmetro total do veículo com seus rotores em movimento (AHN; HWANG, 2022; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b). A disposição desses componentes define a topologia do vertiporto, podendo ser linear (para espaços estreitos), satélite (para espaços circulares ou quadrados como telhados) ou tipo pier (que separa áreas de pouso de portões para reduzir congestão) (AHN; HWANG, 2022; BRUNELLI; DITTA; POSTORINO, 2023). Em áreas elevadas, recomenda-se que a superfície do TLOF seja de concreto para evitar incidentes elétricos, devendo possuir grades ou redes de segurança nas bordas para proteção de pessoas e equipamentos (AHN; HWANG, 2022; ANAC, 2024).

A operação segura demanda a instalação de auxílios visuais obrigatórios, como indicadores de direção do vento (birutas) iluminados e sinalização horizontal que identifique o local e a massa máxima suportada (ANAC, 2024). Para viabilizar operações





noturnas ou em baixa visibilidade, é necessária a instalação de sistemas de iluminação de perímetro e luzes de aproximação (ANAC, 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Além disso, a infraestrutura deve prever áreas de Manutenção, Reparo e Revisão (MRO), como hangares, e zonas destinadas ao carregamento de energia ou troca de baterias com afastamentos seguros das zonas de operação (YAN; WANG; QU, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b). A eficiência do terminal é monitorada pela taxa de utilização das áreas de pouso e portões, dependendo diretamente do tempo de permanência da aeronave no solo para recarga e movimentação de passageiros (AHN; HWANG, 2022; RIMJHA; TRANI, 2021).

O gerenciamento do espaço aéreo próximo ao vertiporto é controlado através da Área de Controle Terminal do Vertiporto (VTCA), utilizando metodologias como o BBQA (Balanced Branch Queuing Approach) para otimizar a ordem de pouso e minimizar gargalos (SONG, 2022). As trajetórias de aproximação e partida devem estar permanentemente livres de obstáculos e observar as superfícies imaginárias de proteção que conectam o vertiporto às rotas aéreas urbanas (AHN; HWANG, 2022; YAN; WANG; QU, 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Este planejamento exige a coordenação entre o controle do espaço aéreo e o planejamento urbano municipal para assegurar que novos empreendimentos imobiliários não interfiram nas trajetórias (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Adicionalmente, o planejamento de rede deve prever pontos de pouso alternativos ao longo das rotas para situações de contingência relacionadas à autonomia limitada das baterias (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

Toda infraestrutura operacional requer obrigatoriamente um plano de resposta a emergências para salvamento de vidas e controle de ocorrências, estabelecendo a coordenação com recursos externos como o corpo de bombeiros e hospitais (ANAC, 2024). O sistema deve contar com combate a incêndio apropriado e infraestrutura digital de comunicação robusta (aeronave-solo e solo-solo) para o gerenciamento do fluxo de tráfego e resolução de conflitos em tempo real (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021; YAN; WANG; QU, 2024). O planejamento deve ser modular e escalonável, permitindo a expansão da infraestrutura conforme o crescimento da demanda e a evolução tecnológica dos veículos (JIANG et al., 2025; YAN; WANG; QU, 2024).





TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
<b>Infra</b>	<b>Q01</b> – Como o Plano Diretor municipal deve se adequar aos requisitos de zoneamento para proteger as trajetórias de voo contra novos obstáculos urbanos?
	<b>Q02</b> – Quais são as exigências para que uma estrutura em edificação privada (como telhados) seja registrada como infraestrutura de transporte público?
	<b>Q03</b> – Qual o protocolo de integração entre os serviços de emergência municipais (Bombeiros/SAMU) e o plano de resposta a incidentes do vertiporto?
	<b>Q04</b> – O município compreende os requisitos regulatórios para dimensionamento de áreas de pouso (FATO/TLOF) conforme a maior aeronave prevista, incluindo zonas de segurança adjacentes e separação horizontal mínima para operações independentes?
	<b>Q05</b> – Quais os requisitos técnicos de sinalização, iluminação e auxílios visuais obrigatórios para autorizar o funcionamento da infraestrutura no período noturno?
	<b>Q06</b> – Como será garantida a separação física e a segurança de usuários nas zonas de carregamento de energia e troca de baterias?
	<b>Q07</b> – Como a infraestrutura será integrada fisicamente aos demais modais de transporte terrestre para facilitar o fluxo de passageiros no nível da rua?
	<b>Q08</b> – Quais são os critérios para a definição de áreas de pouso alternativo (contingência) em solo municipal caso ocorram falhas de energia em voo?
	<b>Q09</b> – Existe planejamento para a expansão modular da infraestrutura e dos portões de embarque caso a demanda por voos aumente futuramente?
	<b>Q10</b> – Quais as obrigações do operador do vertiporto quanto à manutenção permanente das superfícies de proteção e monitoramento de obstáculos no entorno?
	<b>Q11</b> – Como a infraestrutura digital de comunicação garantirá a separação segura entre as aeronaves e o gerenciamento de tráfego no solo e no ar?

### 3.2.2 Diretrizes

A infraestrutura para a Mobilidade Aérea Urbana (UAM) compreende o conjunto de instalações físicas e caminhos virtuais necessários para viabilizar o pouso, a decolagem, o processamento de passageiros e o trânsito seguro de aeronaves elétricas de decolagem vertical (eVTOL) em ambiente urbano. Para gestores municipais, isso abrange não apenas a construção de vertiportos (instalações completas com múltiplas posições de pouso, áreas de embarque e serviços de apoio) e vertistops (pontos de parada rápida com estrutura mínima), mas também a definição de rotas aéreas





tridimensionais que devem ser integradas ao espaço urbano sem comprometer a segurança ou a logística terrestre já existente (YAN; WANG; QU, 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). A infraestrutura atua como o nó de conexão entre o modal aéreo e o sistema de transporte da cidade, exigindo planejamento para que esses novos terminais sejam acessíveis e operem de forma harmônica com o Plano Diretor municipal (BRUNELLI; DITTA; POSTORINO, 2023; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021).

A metodologia aplicada consistiu em uma revisão sistemática e exaustiva de três categorias de fontes: (i) literatura técnica e científica, filtrada pela string de busca *“(Urban Air Mobility” OR “UAM” OR “eVTOL” OR “Advanced Air Mobility” OR “AAM”) AND (“vertiport” OR “vertistop” OR “FATO” OR “TLOF” OR “vertiport design” OR “airside” OR “air corridor” OR “flight path” OR “route planning” OR “airspace design” OR “approach procedure” OR “terminal design” OR “landing pad”)*”, com foco em critérios de projeto, capacidade operacional e integração intermodal; (ii) legislação federal e normas aeronáuticas brasileiras, com ênfase em requisitos técnicos para heliportos, dimensionamento de áreas de pouso e marcos legais para a instalação de vertiportos; e (iii) documentos de conceito de operações de autoridades aeronáuticas nacionais e internacionais, orientados pela string *“infraestrutura de vertiportos, projeto de terminais UAM e rotas aéreas urbanas”*.

Tabela 3.3: Documentos Analisados – Infraestrutura

Documento	Descrição
(AHN; HWANG, 2022)	Estudo focado em critérios de design e análise de capacidade de vertiportos, aplicando normas da FAA e EASA para diferentes layouts.
(BRUNELLI; DITTA; POSTORINO, 2023)	Revisão sistemática sobre a localização e capacidade de vertiportos, destacando a relação entre o layout e a eficiência operacional.
(MACIAS et al., 2023)	Modelo integrado para posicionamento de vertiportos e dimensionamento de infraestrutura baseado em teoria de filas.
(JIANG et al., 2025)	Método de planejamento de localização multiestágio para vertiportos considerando demanda multidimensional e acessibilidade.
(RIMJHA; TRANI, 2021)	Análise dos fatores críticos que afetam a capacidade dos vertiportos, incluindo áreas de manobra, estacionamento e processamento de solo.





Documento	Descrição
(SONG, 2022)	Estratégias de controle de aproximação e design de espaço aéreo terminal para otimizar o fluxo de aeronaves no entorno do vertiporto.
(YAN; WANG; QU, 2024)	Pesquisa sobre a integração entre mobilidade aérea urbana e transporte terrestre, detalhando requisitos de infraestrutura física e digital.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b)	Recomendações da ANAC para operadores de aeródromos sobre a infraestrutura necessária para aeronaves eVTOL.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Plano do Comando da Aeronáutica que estabelece a concepção operacional para a mobilidade aérea urbana no Brasil.
(BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025)	Projeto de Lei que propõe alterações em marcos legais para incentivar e regulamentar a infraestrutura de mobilidade aérea.
(ANAC, 2024)	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil que define requisitos técnicos e parâmetros mínimos para o projeto e operação de helipontos.
(Federal Aviation Administration (FAA), 2020a)	Conceito inicial de operações da FAA para mobilidade aérea urbana, focando no ambiente operacional e na integração com o sistema de espaço aéreo nacional.
(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a)	Estratégia de pesquisa da NASA para mobilidade aérea avançada, definindo níveis de maturação e barreiras para implementação de infraestrutura.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Análise técnica da ANAC sobre intervenções regulatórias para a infraestrutura de eVTOL, incluindo geometria de pátios, áreas de segurança e modularidade.

Um primeiro eixo estruturante diz respeito ao **enquadramento legal e à definição tipológica dos vertiportos**. O projeto de lei em tramitação propõe a definição de vertiportos como aeródromos públicos dotados de facilidades para embarque e desembarque integrados à rede de mobilidade urbana, e recomenda que a autoridade aeronáutica estabeleça planos específicos para a instalação dessas estruturas em centros urbanos, simplificando os processos nacionais de aprovação (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). A inclusão das soluções de mobilidade aérea avançada





nos planos municipais de transporte urbano integrado é indicada como requisito para a coordenação sistêmica entre os modais (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). A coordenação entre o gestor da infraestrutura e a administração municipal deve contemplar processos rigorosos de aprovação de novos empreendimentos nas áreas de interesse do vertiporto, e recomenda-se o estabelecimento de uma distância mínima de segurança entre diferentes vertiportos urbanos para evitar conflitos no uso do espaço aéreo local (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; JIANG et al., 2025). Sugere-se, ainda, a adoção de estruturas modulares pré-fabricadas para vertiportos, permitindo a adaptação rápida a espaços preexistentes como terraços de edifícios, estações ferroviárias e estacionamentos (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021).

O segundo eixo abrange o **dimensionamento físico e os requisitos de projeto das áreas de pouso**. A regulação brasileira estabelece que todo local de pouso deve possuir uma área de aproximação final e decolagem (FATO, a zona onde a aeronave realiza a transição entre o voo e o solo) contendo uma área de toque e elevação inicial (TLOF, a superfície preparada para o contato direto da aeronave) (ANAC, 2024). Recomenda-se que as áreas de pouso e decolagem para eVTOL respeitem, inicialmente, as dimensões e auxílios visuais exigidos para helicópteros, utilizando como referência para o dimensionamento o diâmetro do menor círculo que envolva a projeção da aeronave com os rotores girando (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b). Os requisitos de infraestrutura devem ser dimensionados em função da dimensão total da maior aeronave prevista para operar no local (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). O design do vertiporto deve incluir áreas distintas para aproximação final, pouso e decolagem, além de zonas de segurança adjacentes, e deve-se garantir a separação horizontal mínima entre aeronaves para permitir operações independentes em terminais com múltiplas áreas de pouso (AHN; HWANG, 2022; BRUNELLI; DITTA; POSTORINO, 2023). As superfícies de pouso devem ser pavimentadas ou estabilizadas para evitar o deslocamento de detritos pelas rajadas dos rotores, e recomenda-se a instalação de superfícies de concreto em vertiportos elevados para mitigar riscos de descargas elétricas e interferências magnéticas em sistemas eletrônicos (ANAC, 2024; AHN; HWANG, 2022).

O terceiro eixo trata da **segurança operacional, emergência e proteção**. Recomenda-se a elaboração de um Plano de Emergência de Heliponto (PLEM-H) que detalhe as responsabilidades e os recursos para resposta a acidentes, e a realização de exercícios simulados periódicos para validar a prontidão das equipes de emergência (ANAC, 2024). A instalação de sistemas de combate a incêndio apropriados aos agentes elétricos é requisito para isolar efeitos de eventuais ocorrências em baterias, e a disponibilidade de área segura e protegida para armazenamento,





carregamento ou troca de baterias — mantendo afastamentos das áreas de pouso — complementa as exigências de segurança (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). A instalação de redes ou grades de segurança em infraestruturas elevadas é indicada para proteção contra quedas acidentais em áreas de desnível (ANAC, 2024). Recomenda-se, ainda, o gerenciamento de pontos de pouso alternativos ao longo das rotas urbanas para garantir a segurança em situações de falha de energia ou contingências de autonomia das baterias (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

O quarto eixo refere-se aos **auxílios visuais, iluminação e sinalização**. Recomenda-se a inclusão de auxílios visuais como indicadores de direção de vento (birutas), cones de vento, redes de segurança para locais elevados e iluminação adequada para garantir a operação segura (RIMJHA; TRANI, 2021; ANAC, 2024). A obrigatoriedade de sistemas de iluminação específicos para operações noturnas, incluindo luzes de perímetro e sinalização retrorrefletiva, deve ser considerada na fase de projeto (ANAC, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). Indicadores de vento devem ser instalados em posição visível aos pilotos e livres de interferências de obstáculos próximos (ANAC, 2024).

O quinto eixo aborda a **integração intermodal e o processamento de passageiros**. Recomenda-se priorizar a localização de vertiportos em centros de conexão de transporte existentes, como estações de trem, metrô e aeroportos, para facilitar a integração intermodal (BRUNELLI; DITTA; POSTORINO, 2023). A utilização de edifícios com altura moderada para a instalação de vertiportos em telhados é indicada para facilitar o trânsito de passageiros entre o nível da rua e o terminal (YAN; WANG; QU, 2024). Deve-se prever áreas específicas para o fluxo e processamento de passageiros, como salas de espera integradas ao terminal, e integrar fisicamente os vertiportos a provedores de transporte urbano terrestre, permitindo a conexão direta entre viagens aéreas e modais de rua via aplicativos (RIMJHA; TRANI, 2021; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). Recomenda-se, ainda, a reserva de espaços físicos específicos para atividades de manutenção, reparo e revisão (MRO) de aeronaves dentro ou próxima às instalações dos vertiportos para garantir a prontidão operacional (YAN; WANG; QU, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021).

O sexto eixo consolida recomendações sobre a **capacidade operacional, layouts e implantação faseada**. A adoção de layouts do tipo *pier* ou *satélite* (configurações que maximizam o número de portões de embarque em relação à área de pouso disponível) é recomendada para otimizar a capacidade do terminal (AHN; HWANG, 2022). O uso de modelos de simulação para calibrar o número de posições de estacionamento e carregamento é indicado para evitar congestionamentos no solo (MACIAS et al.,





2023). A definição de algoritmos de reposicionamento de aeronaves vazias contribui para garantir a disponibilidade de veículos nos pontos de partida (RIMJHA; TRANI, 2021). Recomenda-se a implementação de vertiportos em fases, priorizando áreas de alta demanda no curto prazo e permitindo a expansão futura para áreas remotas, e a integração de dados sobre a capacidade de atendimento em janelas temporais para o balanceamento entre demanda e fluxo de tráfego (JIANG et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). As operações de aeródromos UAM devem fornecer informações em tempo real sobre a disponibilidade de recursos, como pátios e horários de pouso, para o planejamento dos voos (Federal Aviation Administration (FAA), 2020a).

Por fim, o sétimo eixo aborda o **espaço aéreo terminal e as rotas urbanas**. Recomenda-se que o design das rotas aéreas urbanas funcione como “estradas virtuais” tridimensionais, minimizando sobrevoos em áreas residenciais sensíveis (YAN; WANG; QU, 2024). Deve-se considerar a criação de volumes de espaço aéreo específicos — como cones de acesso, cilindros de transição e áreas de espera em voo (*holding points*) — onde o conceito de mobilidade urbana será aplicado, em vez de corredores exclusivos permanentes (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; SONG, 2022). A adoção de sistemas de controle de aproximação que permitam a flexibilização da ordem de pouso conforme a necessidade operacional é indicada para a gestão segura do fluxo de chegada (SONG, 2022). A integração de canais de comunicação digitais entre aeronaves e a infraestrutura de terra possibilita o ajuste dinâmico de trajetórias e a separação segura em todas as fases do voo (YAN; WANG; QU, 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O operador deve manter vigilância constante sobre as superfícies de proteção para evitar a intrusão de obstáculos móveis ou fixos no entorno, acompanhando o crescimento urbano e analisando o impacto de novos obstáculos na segurança operacional (RIMJHA; TRANI, 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

As diretrizes a seguir consolidam os requisitos e recomendações extraídos de todas as fontes analisadas para orientar a gestão pública na implementação, licenciamento e operação da infraestrutura aeronáutica urbana de forma segura, eficiente e integrada ao sistema de transporte da cidade.





Tabela 3.4: Matriz de Diretrizes – Infraestrutura

Documento	Diretriz
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; JIANG et al., 2025)	Sugere-se que o gestor da infraestrutura coordene com a administração municipal processos rigorosos de aprovação de novos empreendimentos nas áreas de interesse do vertiporto, estabelecendo distâncias mínimas de segurança entre vertiportos para evitar conflitos no espaço aéreo (Q01).
(BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Deve-se considerar a definição de vertiportos como aeródromos públicos integrados à rede de mobilidade urbana, com planos específicos da autoridade aeronáutica para simplificar a instalação em centros urbanos, incluindo a adoção de estruturas modulares pré-fabricadas (Q02).
(ANAC, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Recomenda-se a elaboração de um Plano de Emergência que detalhe responsabilidades e recursos para resposta a acidentes, incluindo sistemas de combate a incêndio apropriados a agentes elétricos e exercícios simulados periódicos (Q03).
(ANAC, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; AHN; HWANG, 2022; BRUNELLI; DITTA; POSTORINO, 2023; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Recomenda-se que as áreas de pouso possuam uma FATO contendo uma TLOF dimensionada conforme a maior aeronave prevista, com zonas de segurança adjacentes e separação horizontal mínima para operações independentes, respeitando inicialmente as normas aplicáveis a helicópteros (Q04).
(RIMJHA; TRANI, 2021; ANAC, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Recomenda-se a instalação de indicadores de direção de vento, auxílios visuais e sistemas de iluminação específicos para operações noturnas, incluindo luzes de perímetro e sinalização retrorrefletiva (Q05).
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Recomenda-se a disponibilidade de área segura e protegida para armazenamento, carregamento ou troca de baterias, mantendo afastamentos adequados das áreas de pouso e com controles de acesso específicos (Q06).





Documento	Diretriz
(BRUNELLI; DITTA; POSTORINO, 2023; RIMJHA; TRANI, 2021; YAN; WANG; QU, 2024; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Deve-se priorizar a localização de vertiportos em centros de conexão de transporte existentes, prevendo áreas para processamento de passageiros e integrando fisicamente os terminais a provedores de transporte terrestre e aplicativos de mobilidade (Q07).
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; RIMJHA; TRANI, 2021)	Recomenda-se o gerenciamento de pontos de pouso alternativos ao longo das rotas urbanas para garantir a segurança em casos de contingência de autonomia, e a definição de algoritmos de reposicionamento de aeronaves vazias para atender às solicitações de partida (Q08).
(AHN; HWANG, 2022; MACIAS et al., 2023; JI-ANG et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Federal Aviation Administration (FAA), 2020a)	Recomenda-se a implementação de vertiportos em fases, com uso de modelos de simulação para calibrar posições de estacionamento, adotando layouts otimizados e integrando dados de capacidade em janelas temporais para balancear demanda e fluxo de tráfego (Q09).
(RIMJHA; TRANI, 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; ANAC, 2024)	Deve-se considerar que o administrador do vertiporto mantenha vigilância constante sobre as superfícies de proteção, acompanhando o crescimento urbano e mantendo distâncias de segurança em todas as direções de aproximação e saída (Q10).
(SONG, 2022; YAN; WANG; QU, 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se a criação de volumes de espaço aéreo específicos com áreas de transição e pontos de espera em voo, utilizando sistemas de controle de aproximação flexíveis e canais de comunicação digitais entre aeronaves e infraestrutura de terra para o gerenciamento seguro do tráfego (Q11).
(YAN; WANG; QU, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Deve-se considerar a reserva de espaços físicos para atividades de manutenção, reparo e revisão de aeronaves dentro ou próxima aos terminais dos vertiportos.





Documento	Diretriz
(AHN; HWANG, 2022; ANAC, 2024)	Recomenda-se que as superfícies de pouso sejam pavimentadas ou estabilizadas, com uso de concreto em vertiportos elevados para mitigar riscos de descargas elétricas e deslocamento de detritos.
(ANAC, 2024)	Recomenda-se a instalação de redes ou grades de segurança em infraestruturas elevadas para proteção contra quedas acidentais em áreas de desnível.

### 3.3 Infraestrutura Energética

#### 3.3.1 Problemática

A infraestrutura energética para a mobilidade aérea urbana constitui um requisito fundamental para a viabilidade do sistema, exigindo redes de recarga amplamente distribuídas que atendam às necessidades de deslocamento dos usuários (ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016). As aeronaves destinadas a este modal operam predominantemente por propulsão elétrica ou híbrida (combinação de eletricidade e combustão), o que preconiza uma redução significativa na dependência de combustíveis fósseis e do impacto ambiental urbano (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O planejamento desta rede deve ser orientado pela demanda, utilizando dados de padrões de viagem para identificar as zonas com maior concentração de paradas e, conseqüentemente, maior necessidade de fornecimento elétrico de alta potência, frequentemente na escala de megawatts (ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). A alocação de estações de carregamento exige coordenação entre gestores municipais, operadoras de frotas e concessionárias de energia para garantir que a rede de distribuição possua capacidade suficiente sem prejudicar o fornecimento aos demais consumidores da cidade (ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a).

A operação dessas aeronaves estabelece demandas intensas e intermitentes de potência que podem impactar a estabilidade da rede elétrica local, provocando variações de frequência e tensão (oscilações na qualidade da energia) (KIM; KIM, 2016; CHIODO et al., 2019). Estações de carregamento rápido podem exigir centenas de kilowatts para realizar recargas em poucos minutos, o que requer estudos de impacto





para identificar a necessidade de atualizações em transformadores e linhas de distribuição, evitando violações térmicas ou de voltagem (CHIODO et al., 2019; ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). Para mitigar riscos de sobrecarga e aumentar a resiliência do sistema, recomenda-se a integração de sistemas de armazenamento de energia locais, como baterias estacionárias (Battery Energy Storage System (BESS)), que funcionam como amortecedores de carga e suportam os picos de demanda sem sobrecarregar a rede principal (CHIODO et al., 2019; ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023).

A regulação e o planejamento urbano estabelecem facilidades para a expansão desta infraestrutura, como a dispensa de licenciamento ambiental para obras de distribuição de até 138 kV e a isenção de Reserva Legal em áreas destinadas a subestações e linhas de transmissão (BRASIL, 2025; Congresso Nacional, 2022). No nível operacional, as áreas de pouso, como vertiportos e vertistops, devem dispor de espaço físico adequado para manutenção e carregamento seguro, prevendo o gerenciamento de pontos alternativos ao longo das rotas para garantir a segurança em casos de baixa autonomia (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A viabilidade financeira desses empreendimentos pode ser viabilizada por modelos de parceria público-privada (PPP), definindo claramente as responsabilidades pelos custos de conexão e atualização da rede elétrica (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b).

O monitoramento e a gestão de riscos são essenciais, dado que a aceitação de energia pela aeronave varia conforme a temperatura e o estado da bateria, exigindo o acompanhamento da demanda de potência instantânea (ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020; LIU et al., 2021). A segurança operacional requer a implementação de sistemas de combate a incêndio específicos para agentes elétricos e químicos de baterias, além de protocolos de segurança cibernética para proteger as redes de dados e energia (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). O treinamento técnico do pessoal envolvido em rotinas de emergência e o monitoramento constante do estado das barras elétricas principais são obrigatórios para garantir a confiabilidade do sistema (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; ANAC, 2025).

Lacunas e recomendações apontam para a necessidade de modelos de tarifação baseados no horário de uso para incentivar o carregamento fora dos períodos de pico da cidade (KIM; KIM, 2016). Sugere-se o uso de inteligência artificial para prever a





carga necessária com base na demanda de voos e a integração de fontes de energia renováveis diretamente nos pontos de recarga para reduzir a dependência da rede urbana e tornar o modal mais sustentável (MAVRAJ et al., 2022; ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016; CHIODO et al., 2019; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). Adicionalmente, sistemas de recarga ultra-rápida são recomendados para otimizar o fluxo de veículos nos terminais, enquanto as baterias das aeronaves podem, futuramente, atuar como reserva auxiliar para a rede elétrica nacional em momentos críticos (MAVRAJ et al., 2022; ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016).

TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
<b>Energia</b>	<b>Q01</b> – Qual a capacidade excedente da rede elétrica local para suportar carregadores de alta potência sem comprometer o fornecimento residencial e comercial?
	<b>Q02</b> – Existem requisitos mínimos para o uso de sistemas de armazenamento de energia (baterias locais) visando estabilizar a voltagem e evitar picos de demanda?
	<b>Q03</b> – Como o plano diretor municipal incentiva a integração de fontes renováveis (como energia solar) nas estações de recarga para reduzir o impacto ambiental?
	<b>Q04</b> – Quais são os protocolos de segurança e combate a incêndio específicos para as áreas de armazenamento e carregamento de baterias de alta potência?
	<b>Q05</b> – De que forma será feito o monitoramento da demanda em tempo real para evitar que o carregamento das aeronaves cause instabilidade ou apagões na vizinhança?
	<b>Q06</b> – Existem regras ou incentivos tarifários para garantir que o carregamento das frotas ocorra prioritariamente em horários de baixo consumo da cidade?
	<b>Q07</b> – O município possui critérios e procedimentos para aprovação de estações de recarga em áreas urbanas densas e edifícios, considerando licenciamento ambiental, segurança operacional e integração com infraestrutura terrestre?
	<b>Q08</b> – Existe previsão para o uso das baterias das aeronaves como reserva estratégica de energia para a rede municipal em situações de emergência?

### 3.3.2 Diretrizes

A infraestrutura energética para a UAM compreende os sistemas elétricos essenciais para a operação de aeronaves elétricas de pouso e decolagem vertical (eVTOL), com foco em estações de carregamento de alta potência, sistemas de armazenamento local de energia e mecanismos de estabilização de demanda. O dimensionamento correto desta rede é vital para garantir recargas rápidas e segurança operacional sem





comprometer o fornecimento de energia para os demais consumidores locais (ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020; ANAC, 2025; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). Para gestores municipais, o desafio reside em articular parcerias entre concessionárias, operadores aéreos e administrações locais de modo a integrar essa nova e expressiva demanda por eletricidade à rede existente, buscando sempre a compatibilização com fontes de energia limpa e a proteção da continuidade do serviço público (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a).

A metodologia aplicada consistiu em uma revisão sistemática e exaustiva de três categorias de fontes: (i) literatura técnica e científica, filtrada pela string de busca *“(Urban Air Mobility OR UAM OR eVTOL OR Advanced Air Mobility OR AAM OR vertiport) AND (charging infrastructure OR fast charging OR energy storage OR grid impact OR electric demand OR battery swapping OR power conversion OR energy management OR peak demand OR grid integration)”*, com foco em dimensionamento de demanda, gestão de picos e tecnologias de armazenamento; (ii) legislação federal e normas aeronáuticas brasileiras, orientada pela string *“UAM AND (energia OR elétrica OR carregamento OR bateria OR armazenamento)”*; e (iii) documentos de conceito de operações de autoridades aeronáuticas nacionais e internacionais, orientados pela string *“infraestrutura elétrica AND carregamento de eVTOL AND impacto na rede de distribuição AND armazenamento de energia”*.

Tabela 3.5: Documentos Analisados – Infraestrutura Energética

Documento	Descrição
(ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016)	Estudo sobre a implantação otimizada de estações de recarga em áreas metropolitanas baseada na demanda dos usuários.
(ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020)	Análise da demanda de potência instantânea e do impacto de estações de recarga rápida na rede elétrica urbana.
(CHIODO et al., 2019)	Proposta de modelo probabilístico para estimar os requisitos de potência de estações de recarga ultra-rápida em contextos urbanos e extra-urbanos.
(KIM; KIM, 2016)	Avaliação do impacto de diferentes esquemas de tarifação e horários de recarga na demanda total de energia do sistema.





Documento	Descrição
(LIU et al., 2021)	Pesquisa sobre tecnologias de carregamento ultra-rápido e métodos de modulação térmica para preservar a vida útil das baterias.
(ZHAO et al., 2025)	Desenvolvimento de gêmeos digitais para simulação de operações em vertiportos e análise de restrições de infraestrutura e recarga.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b)	Alerta aos Operadores de Aeródromos com recomendações de infraestrutura para pouso e decolagem de aeronaves eVTOL.
(Congresso Nacional, 2022)	Lei do Código Florestal, que estabelece normas sobre a proteção da vegetação e áreas de preservação ligadas a reservatórios energéticos.
(BRASIL, 2025)	Lei Geral do Licenciamento Ambiental, dispondo sobre regras para instalação de infraestruturas de distribuição de energia.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Plano de Concepção Operacional UAM Nacional do DECEA, definindo diretrizes para a integração de aeronaves elétricas no espaço aéreo e gestão de infraestrutura.
(ANAC, 2025)	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil para operações de transporte aéreo em aeronaves de pequeno porte, com requisitos de sistemas elétricos.
(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Guia de gerenciamento técnico da NASA que estabelece a visão e o framework para a implementação da infraestrutura de suporte à UAM.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Nota técnica da ANAC sobre lacunas regulatórias e requisitos para infraestrutura de vertiportos no Brasil.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Panorama da ANAC sobre tecnologias viabilizadoras, casos de uso e desafios de certificação e produção do ecossistema de Mobilidade Aérea Avançada.
(Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023)	Estudo detalhado sobre o impacto da eletrificação de vertiportos na rede de distribuição, com modelagem de carga e soluções de mitigação.





Um primeiro eixo estruturante diz respeito ao **dimensionamento da demanda e à adequação da rede elétrica**. Recomenda-se o dimensionamento da infraestrutura de recarga com base na estimativa de demanda energética diária por subárea urbana, garantindo a cobertura necessária conforme o fluxo de aeronaves (ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016). Análises detalhadas da topologia local e da rede de distribuição elétrica devem preceder a fixação definitiva dos pontos de recarga (ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016). A revisão da configuração e do desempenho da rede elétrica urbana existente é essencial para suportar o impacto de sistemas de carregamento de alta potência, e a avaliação preliminar da demanda de potência agregada — utilizando modelos estatísticos — permite dimensionar corretamente transformadores e conversores (ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020; CHIODO et al., 2019). O regulamento de aviação civil reforça que o dimensionamento da capacidade de geração de energia deve ser baseado em análise criteriosa de cargas elétricas (ANAC, 2025). Documentos conceituais internacionais convergem ao recomendar parcerias entre municípios, operadores e concessionárias para garantir que a capacidade da rede suporte o carregamento de frotas, bem como a realização de estudos de impacto na carga liderados pela concessionária para identificar necessidades de melhorias na infraestrutura elétrica local (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). As concessionárias de eletricidade devem planejar o incremento de redes e geração para suprir o aumento da demanda intermitente do setor aéreo (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Cada posição de estacionamento de aeronaves deve, preferencialmente, ser equipada com infraestrutura de recarga individual para maximizar o fluxo operacional do vertiporto, e a previsão de áreas específicas para estações de propulsão elétrica e carregamento deve constar nos projetos de infraestrutura terrestre (ZHAO et al., 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021).

O segundo eixo abrange o **armazenamento de energia e a integração de fontes renováveis**. Recomenda-se a integração de fontes de energia renováveis — como painéis solares — e o uso de sistemas de armazenamento estacionário (baterias locais) para mitigar picos de demanda, evitar violações de voltagem na rede e reduzir emissões (ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). A implementação de *buffers* de armazenamento de energia local (reservas temporárias de eletricidade) é indicada para suportar operações de recarga ultra-rápida, reduzindo a pressão direta sobre a rede de distribuição (CHIODO et al., 2019). Em áreas com infraestrutura de rede limitada, recomenda-se a implementação de micro-redes de corrente contínua integradas a fontes renováveis para alimentar carregadores de alta potência (CHIODO et al.,





2019). Sugere-se, ainda, a avaliação de modelos de propriedade de terceiros para a instalação e operação de sistemas de microgeração e armazenamento de energia (Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). A possibilidade de utilizar as baterias das próprias aeronaves como capacidade de armazenamento auxiliar para a rede elétrica nacional reforça a integração de tecnologias de conversão de energia renovável (ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016). O uso de tecnologias de propulsão elétrica ou híbrida é recomendado para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e o impacto ambiental urbano (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

O terceiro eixo trata da **gestão inteligente de carga e mitigação de picos**. Sugere-se a utilização de sistemas de carregamento inteligente (*smart charging*) que gerenciem a carga de acordo com os parâmetros da rede de distribuição para evitar instabilidades (ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020). A adoção de esquemas tarifários baseados no horário de uso é recomendada para incentivar o carregamento das frota em períodos de baixa demanda na cidade, e devem ser implementados controles para evitar a formação de novos picos de demanda logo após o encerramento dos horários de pico convencionais (KIM; KIM, 2016; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). O monitoramento constante da demanda de potência — incluindo picos em intervalos curtos de tempo — é essencial para evitar sobrecarga em transformadores e linhas de distribuição e para não exceder as margens de reserva operacional do município (KIM; KIM, 2016; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). A integração de sistemas de monitoramento de demanda em tempo real permite equilibrar a capacidade da rede com a necessidade de recarga das aeronaves, e a automação do controle dos tempos de abastecimento e recarga nos vertiportos otimiza o fluxo operacional e o consumo energético (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O uso de ferramentas de modelagem e simulação para prever o comportamento da rede frente a diferentes cenários de recarga complementa esse conjunto de medidas (Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023). O estabelecimento de contratos de longo prazo com as concessionárias de energia, prevendo níveis acordados de potência média e de pico, é indicado para garantir a viabilidade econômica das operações (ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020).

No que tange à dimensão regulatória, sugere-se que a viabilidade econômica dos vertiportos possa ser potencializada pela migração para o **Ambiente de Contratação Livre (ACL)**. Considera-se que, devido à necessidade de recarga ultra-rápida, a infraestrutura para aeronaves elétricas demande potências na escala de *megawatts*, o que tenderia a enquadrar esses empreendimentos no **Grupo A** (consumidores de





alta tensão). Diferente do Grupo B, voltado a consumos residenciais de baixa escala, o Grupo A se enquadra como conexões robustas à rede de distribuição, permitindo que o operador negocie diretamente com geradores ou comercializadoras.

Nesse sentido, a participação no mercado livre de energia poderia oferecer ao gestor do vertiporto uma maior previsibilidade de custos e a possibilidade de redução de despesas operacionais em comparação ao mercado regulado. Além disso, recomenda-se essa via como um mecanismo para a seleção estratégica da matriz energética; tal modelo facilitaria a aquisição de energia com certificados de origem renovável, o que contribuiria para que a operação de solo do modal UAM atendesse aos requisitos de descarbonização e sustentabilidade ambiental discutidos na literatura técnica.

O quarto eixo refere-se à **segurança operacional, redundância e resposta a emergências**. Deve-se considerar a instalação de fontes independentes e redundantes de energia para assegurar a continuidade de sistemas críticos em caso de falha na rede principal, e os sistemas de distribuição de energia devem ser projetados para isolar falhas de forma a não interromper a operação de outras unidades essenciais à segurança (ANAC, 2025). A implementação de infraestrutura de fornecimento de energia de alta capacidade e ininterrupta é requisito para apoiar as operações de aeródromos (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). Recomenda-se a manutenção de meios acessíveis para a desconexão imediata das fontes de potência elétrica em situações de emergência técnica (ANAC, 2025). A utilização de métodos de gestão térmica durante a recarga ultra-rápida é indicada para minimizar o risco de degradação das baterias e garantir a segurança do processo (LIU et al., 2021). A automação do monitoramento do estado de carga das baterias deve assegurar reservas estratégicas de energia para procedimentos de emergência (LIU et al., 2021). A instalação de sistemas de combate a incêndio apropriados e específicos para áreas de carregamento e armazenamento de baterias é requisito de segurança (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). A implementação de requisitos de resposta a emergências aeronáuticas adequados aos sistemas elétricos e baterias de alta potência instalados nos vertiportos deve ser considerada com ênfase na autonomia energética das frotas (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b). A gestão de pontos de pouso alternativos ao longo das rotas é indicada para garantir a segurança operacional frente às limitações de autonomia das baterias (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

Um aspecto regulatório relevante refere-se ao **enquadramento ambiental e licenciamento**: a Lei Geral do Licenciamento Ambiental prevê a dispensa de licenciamento ambiental para obras de distribuição de energia elétrica em áreas urbanas, o que





pode agilizar a conexão de carregadores de alta potência (BRASIL, 2025). Ao mesmo tempo, deve-se respeitar as faixas de preservação permanente em torno de reservatórios artificiais destinados à geração de energia elétrica (Congresso Nacional, 2022). Recomenda-se, ainda, a utilização de *checklists* de planejamento de infraestrutura elétrica que incluam etapas de conformidade, licenciamento e participação da concessionária (Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023).

As diretrizes a seguir consolidam os requisitos e recomendações extraídos de todas as fontes analisadas para orientar a gestão municipal na implementação da infraestrutura energética necessária ao modal aéreo, garantindo segurança, eficiência e resiliência do sistema elétrico.

Tabela 3.6: Matriz de Diretrizes – Infraestrutura Energética

Documento	Diretriz
(ANDRENACCI; RA-GONA; VALENTI, 2016; ANDRENACCI; RA-GONA; GENOVESE, 2020; CHIODO et al., 2019; ANAC, 2025; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023)	Recomenda-se o dimensionamento da infraestrutura de recarga com base na estimativa de demanda energética por subárea urbana, precedido de análises da topologia e da rede de distribuição local, em parceria com as concessionárias para identificar necessidades de melhorias (Q01).
(ANDRENACCI; RA-GONA; GENOVESE, 2020; CHIODO et al., 2019; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023)	Recomenda-se a adoção de sistemas de armazenamento de energia local para mitigar picos de demanda e evitar violações de voltagem na rede, incluindo micro-redes de corrente contínua em áreas com infraestrutura limitada (Q02).





Documento	Diretriz
(ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020; CHIDO et al., 2019; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023)	Sugere-se a integração de fontes de energia renováveis no local dos vertiportos para complementar a demanda da rede e reduzir emissões (Q03).
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Deve-se considerar a implementação de requisitos de resposta a emergências adequados aos sistemas elétricos e baterias de alta potência, incluindo sistemas de combate a incêndio específicos para áreas de carregamento e armazenamento (Q04).
(ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020; KIM; KIM, 2016; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023)	Recomenda-se a utilização de sistemas de carregamento inteligente com monitoramento de demanda em tempo real e ferramentas de modelagem para prevenir instabilidades na rede e otimizar o fluxo operacional dos vertiportos (Q05).
(KIM; KIM, 2016; ANDRENACCI; RAGONA; GENOVESE, 2020; Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2023)	Sugere-se a adoção de esquemas tarifários baseados no horário de uso e estratégias de gerenciamento de carga para incentivar o carregamento em períodos de baixa demanda, evitando a formação de novos picos (Q06).





Documento	Diretriz
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021; BRASIL, 2025)	Recomenda-se que o município estabeleça critérios e procedimentos para aprovação de estações de recarga em áreas urbanas densas e edifícios, observando as possibilidades de dispensa de licenciamento ambiental para obras de distribuição de energia, e garantindo integração com projetos de infraestrutura terrestre (Q07).
(ANAC, 2025; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; ANDRENACCI; RAGONA; VALENTI, 2016)	Sugere-se considerar a gestão de pontos de pouso alternativos ao longo das rotas para garantir a segurança operacional, bem como a possibilidade de usar as baterias das aeronaves como capacidade de armazenamento auxiliar para a rede elétrica, reforçando a integração com tecnologias de energia renovável (Q08).
(LIU et al., 2021)	Recomenda-se a utilização de métodos de gestão térmica durante a recarga ultra-rápida para minimizar riscos de degradação e assegurar reservas de energia para emergências.
(Congresso Nacional, 2022)	Deve-se respeitar as faixas de preservação permanente em torno de reservatórios artificiais destinados à geração de energia elétrica conforme normas vigentes.

### 3.4 Integração Urbano-Social

#### 3.4.1 Problemática

A integração urbano-social na mobilidade aérea urbana é estabelecida como a "licença social" fundamental para a viabilidade do modal, fundamentando-se na premissa de que a aceitação pública é o principal precursor para a adoção tecnológica em larga escala (BHADURI; CHOUDHURY, 2026; YAO et al., 2024; CITYAM Project Team, 2024). Esta integração requer que o sistema seja percebido não apenas como uma inovação, mas como uma extensão eficiente do ecossistema de transporte existente, observando a função social da propriedade e garantindo que os benefícios da conectividade aérea transcendam nichos de mercado para promover o desenvolvimento econômico sustentável e a melhoria da qualidade de vida (YAN; WANG; QU,





2024; JIN; MA, 2025; BRASIL, 2001; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). A percepção pública é sensível ao contexto e evolui conforme a maturidade do setor, sendo influenciada por fatores éticos e socioeconômicos que determinam o direito a cidades sustentáveis e a integração lógica entre serviços públicos e lazer (BHADURI; CHOUDHURY, 2026; LI; DANG; CHEN, 2025; BRASIL, 2001).

A metodologia para promover essa integração preconiza a implementação de políticas de acessibilidade universal e equidade no planejamento das redes de vertiportos (JIN; MA, 2025). A alocação de infraestrutura deve considerar o impacto distributivo, utilizando modelos de decisão multicritério que equilibrem a cobertura de demanda com a justiça social, evitando a concentração de serviços em áreas de alta renda e garantindo o acesso para grupos vulneráveis, como idosos e pessoas com deficiência (JIN; MA, 2025; SUNITIYOSO et al., 2025). Para tanto, a adoção do desenho universal é mandatória em todas as interfaces do sistema para assegurar a autonomia dos passageiros (BRASIL, 2012; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d, 2024d). A integração física e operacional com hubs de transporte terrestre, como estações de metrô e terminais de ônibus, é essencial para facilitar viagens multimodais porta-a-porta, garantindo que a eficiência do voo não seja dissipada em conexões terrestres ineficientes (SUNITIYOSO et al., 2025; YAN; WANG; QU, 2024; BRASIL, 2012; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a).

A regulação do setor estabelece a construção da confiança pública como um pilar central, onde a transparência funciona como mediador crítico entre a segurança percebida e a intenção de uso (LI; DANG; CHEN, 2025; YAO et al., 2024). O planejamento municipal deve transitar para uma abordagem comunicativa, na qual o gestor atua como autoridade deliberativa e mediadora entre operadores e a comunidade local (CITYAM Project Team, 2024). As normas brasileiras preconizam a gestão democrática por meio de consultas públicas e do engajamento comunitário para alinhar o desenvolvimento da rede com as necessidades locais, garantindo o direito à informação clara sobre itinerários e tarifas (WU; ZHANG, 2021; BHADURI; CHOUDHURY, 2026; BRASIL, 2001; BRASIL, 2012). Além disso, critérios de proteção devem ser adotados para evitar a sobrecarga de infraestrutura em áreas sensíveis, como escolas e hospitais, mitigando impactos socioambientais e preservando o bem-estar coletivo (CITYAM Project Team, 2024; BRASIL, 2012; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025).

A gestão de riscos deve contemplar barreiras sociais específicas, como preocupações com a privacidade, intrusão visual e a segurança contra atos de interferência ilícita (AVSEC) (YOO; CHOE; RIM, 2022; YAN; WANG; QU, 2024; BHADURI; CHOUDHURY, 2026; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). Existe uma lacuna regulatória





na definição de modelos de inspeção de segurança que sejam rigorosos, mas que não comprometam a fluidez e a rapidez esperadas para trajetos urbanos curtos (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). Recomenda-se que as operações iniciais ocorram de forma gradual em áreas de baixo impacto sonoro para permitir a familiarização tecnológica da sociedade (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a).

O monitoramento contínuo da aceitação social e dos níveis de confiança é indicado para adaptar as intervenções políticas ao longo do tempo, utilizando ferramentas digitais para identificar motivadores e detratores da aceitação pública (BHADURI; CHOUDHURY, 2026; LI; DANG; CHEN, 2025). A viabilidade social plena depende também da acessibilidade financeira, requerendo que os gestores avaliem a implementação de obrigações de serviço público, subsídios ou designs tarifários estratégicos que tornem o modal inclusivo (SUNITIYOSO et al., 2025; LI; DANG; CHEN, 2025). A demonstração de benefícios ambientais e a integração de sistemas de troca de informações entre modais reforçam o valor utilitário do sistema, contribuindo para a redução das desigualdades socioespaciais e consolidando a legitimidade do novo modal no tecido urbano (LI; DANG; CHEN, 2025; TUCHEN, 2020; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; BRASIL, 2001).





TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
IUS	<b>Q01</b> – Como o plano de mobilidade urbana assegura que a localização dos vertiportos promova a equidade social e a integração física com os eixos de transporte público coletivo existentes?
	<b>Q02</b> – Quais estratégias de engajamento comunitário e consultas públicas serão adotadas para garantir a gestão democrática e mitigar a oposição local à nova infraestrutura?
	<b>Q03</b> – De que forma o projeto das instalações de vertiportos incorpora o desenho universal para garantir o acesso e a autonomia de idosos e pessoas com deficiência?
	<b>Q04</b> – Quais mecanismos regulatórios serão utilizados para proteger a privacidade dos cidadãos contra a intrusão visual?
	<b>Q05</b> – De que maneira serão estabelecidos os critérios de zoneamento para proteger áreas sensíveis, como escolas e hospitais, do impacto sonoro e operacional das rotas aéreas?
	<b>Q06</b> – Como o município planeja integrar operacionalmente os vertiportos aos sistemas de transporte público existente para garantir uma experiência de viagem fluida, rápida e multimodal?
	<b>Q07</b> – Existe previsão de subsídios ou obrigações de serviço público para assegurar que as tarifas sejam acessíveis a diferentes classes sociais, evitando a segregação do serviço?
	<b>Q08</b> – Quais ferramentas serão utilizadas para o monitoramento contínuo da aceitação pública e para a mediação de conflitos entre operadores e residentes?
	<b>Q09</b> – Como o município pretende incentivar o uso da infraestrutura aérea para serviços de interesse coletivo, como emergências médicas e segurança pública?

### 3.4.2 Diretrizes

A Integração Urbano-Social no contexto da Mobilidade Aérea Urbana (UAM) refere-se à construção da chamada “licença social”, ou seja, a aceitação e a confiança da população para que esse novo meio de transporte opere na cidade. Esse pilar busca garantir que o sistema não seja apenas tecnologicamente viável, mas também justo, acessível a todos os cidadãos — incluindo idosos e pessoas com deficiência — e integrado de forma fluida aos ônibus, metrô e demais modais já existentes, com total transparência sobre a segurança das operações (LI; DANG; CHEN, 2025; SUNITIYOSO et al., 2025; BRASIL, 2012; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O objetivo para o gestor municipal é transformar a tecnologia aeronáutica em uma extensão eficiente e aceita do ecossistema de mobilidade urbana, tratando a UAM não como um serviço isolado, mas como um componente complementar ao sistema de transporte público (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; TUCHEN, 2020; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021).





A metodologia aplicada consistiu em uma revisão sistemática e exaustiva de três categorias de fontes: (i) literatura técnica e científica internacional, filtrada pela string de busca *“(Urban Air Mobility OR UAM OR eVTOL OR Advanced Air Mobility OR AAM) AND (social acceptance OR public perception OR public acceptance OR community attitudes OR trust OR accessibility OR equity OR mobility equity OR social equity OR transport equity OR universal design OR multimodal OR intermodal OR first mile OR last mile OR transit integration OR mobility hub OR MaaS OR social license)”*, priorizando documentos sobre os mecanismos que constroem licença social; (ii) legislação federal e normas aeronáuticas brasileiras, orientada pela string *“integração social OR acessibilidade universal OR aceitação pública OR participação democrática”*; e (iii) documentos de conceito de operações (ConOps) de autoridades aeronáuticas e projetos internacionais, orientada pela string *“INTEGRAÇÃO URBANA E ACEITAÇÃO SOCIAL”*.

Tabela 3.7: Documentos Analisados – Integração Urbano-Social

Documento	Descrição
(BHADURI; CHOUDHURY, 2026)	Estudo sobre a evolução da percepção pública da UAM através de análise de discursos em redes sociais e identificação de motivadores e barreiras sociais.
(JIN; MA, 2025)	Proposição de um framework para seleção de locais para vertiportos integrando transporte terrestre e estratégias de equidade.
(LI; DANG; CHEN, 2025)	Análise estrutural da aceitação pública focada em segurança percebida, confiança, custo e consciência ambiental.
(NETO et al., 2025)	Pesquisa sobre planejamento de trajetórias de pouso em emergências e seus impactos na aceitação social de veículos autônomos.
(SUNITIYOSO et al., 2025)	Investigação sobre fatores que influenciam a adoção da UAM em contextos urbanos densos e a importância da confiança e utilidade percebida.
(TUCHEN, 2020)	Proposta de modelo conceitual de dados para integração da UAM em sistemas de transporte multimodal de ponta a ponta.
(WU; ZHANG, 2021)	Estudo de design de rede integrada e previsão de demanda, focando na escolha do modo de acesso e egresso aos vertiportos.





Documento	Descrição
(YAN; WANG; QU, 2024)	Levantamento sobre a integração da mobilidade aérea com o transporte terrestre e os desafios regulatórios e sociais envolvidos.
(YOO; CHOE; RIM, 2022)	Análise das percepções de risco (segurança e cibernético) como barreiras para o uso de táxis aéreos.
(BRASIL, 2001)	Estatuto da Cidade, que regulamenta diretrizes gerais de política urbana, gestão democrática e funções sociais da propriedade.
(BRASIL, 2012)	Política Nacional de Mobilidade Urbana, com diretrizes sobre integração de transportes e acessibilidade universal.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Portaria do Comando da Aeronáutica que estabelece o conceito operacional nacional para a Mobilidade Aérea Urbana no Brasil.
(BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025)	Projeto de lei que altera legislações vigentes para incentivar a introdução de aeronaves elétricas (eVTOL) na cadeia de mobilidade urbana.
(ANAC, 2025)	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil que estabelece requisitos para operações de transporte aéreo complementar e comercial.
(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a)	Estratégia de pesquisa da agência espacial norte-americana focada em barreiras para a integração comunitária da Mobilidade Aérea Avançada.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Apresentação técnica da ANAC sobre a infraestrutura de vertiportos e a importância da aceitação pela sociedade.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Panorama brasileiro sobre o setor de Mobilidade Aérea Avançada, destacando desafios de infraestrutura urbana, aceitação pública e ruído.
(CITYAM Project Team, 2024)	Relatório europeu sobre ferramentas de suporte à decisão para planejamento de locais de pouso, com foco em governança e participação de stakeholders.

Um primeiro eixo estruturante diz respeito à **equidade de acesso e localização da infraestrutura**. A legislação brasileira estabelece o direito a cidades sustentáveis, compreendendo o transporte como direito fundamental para as presentes e futuras





gerações (BRASIL, 2001). Nessa linha, a Política Nacional de Mobilidade Urbana preconiza a priorização de projetos de transporte coletivo que sejam estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado (BRASIL, 2012). A literatura científica reforça que a localização dos vertiportos (os pontos de pouso e decolagem para aeronaves elétricas de decolagem vertical) deve considerar a equidade social, garantindo que bairros historicamente menos atendidos sejam contemplados para reduzir disparidades de acesso (JIN; MA, 2025; WU; ZHANG, 2021). O conceito operacional nacional e o projeto de lei em tramitação recomendam, de forma convergente, que os novos pontos de embarque e desembarque sejam integrados ao sistema de mobilidade urbana municipal existente e que o modal priorize localidades remotas ou não servidas satisfatoriamente por outros meios de transporte (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021).

O segundo eixo abrange a **participação democrática e o engajamento comunitário**. O Estatuto da Cidade determina a gestão democrática por meio da participação da população e de associações representativas na formulação e no acompanhamento de projetos de desenvolvimento urbano (BRASIL, 2001). A Política Nacional de Mobilidade Urbana complementa essa exigência ao assegurar a participação da sociedade civil no planejamento e na avaliação da política de mobilidade, por meio de ouvidorias, audiências e consultas públicas (BRASIL, 2012). No âmbito aeronáutico, recomenda-se a criação de grupos de estudo multidisciplinares que incluam a participação colaborativa da comunidade para validar novos conceitos operacionais (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). A literatura internacional propõe a adoção de uma abordagem de “planejamento comunicativo”, em que o gestor municipal atue como autoridade deliberativa facilitando o consenso entre operadores e residentes, incluindo associações de moradores como *stakeholders* ativos no processo de escolha de locais para infraestrutura (CITYAM Project Team, 2024). Ferramentas como interfaces de linguagem acessível e plataformas geoespaciais transparentes podem facilitar a comunicação de cenários complexos de planejamento urbano aos cidadãos (JIN; MA, 2025; CITYAM Project Team, 2024). O monitoramento contínuo das opiniões e preocupações da população, por sua vez, permite fundamentar intervenções políticas localizadas e gerir a aceitação do modal ao longo do tempo (BHADURI; CHOUDHURY, 2026; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a).

O terceiro eixo trata da **acessibilidade universal**. O Estatuto da Cidade determina a promoção da acessibilidade e do conforto nos espaços livres de uso público, vedando o emprego de técnicas construtivas hostis que afastem segmentos da população (BRASIL, 2001). A Política Nacional de Mobilidade Urbana estabelece a aces-





sibilidade universal como princípio do planejamento da mobilidade (BRASIL, 2012). No plano operacional, recomenda-se a incorporação de recursos de desenho universal nos vertiportos para assegurar a autonomia e o acesso de idosos e pessoas com deficiência ao sistema (SUNITIYOSO et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O regulamento de aviação civil reforça a obrigação de prestação de assistência adequada a passageiros com deficiência ou necessidades especiais, conforme procedimentos operacionais padronizados (ANAC, 2025).

O quarto eixo refere-se à **transparência, comunicação e construção de confiança**. A Política Nacional de Mobilidade Urbana garante o direito dos usuários de serem informados, em linguagem acessível, sobre seus direitos, responsabilidades e padrões de qualidade do serviço (BRASIL, 2012). A literatura científica recomenda a adoção de protocolos de segurança transparentes e a divulgação ativa de dados operacionais e de manutenção para construir confiança institucional e mitigar receios do público (LI; DANG; CHEN, 2025). As instruções de segurança e protocolos de emergência devem ser transmitidos de forma clara e compulsória a todos os passageiros antes das operações (ANAC, 2025). Campanhas proativas de informação pública são indicadas para aumentar a conscientização sobre automação aérea, desmitificar tecnologias de voo autônomo e comunicar os benefícios ambientais do sistema, como a redução de emissões (YAN; WANG; QU, 2024; LI; DANG; CHEN, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Recomenda-se, ainda, a utilização de ferramentas geoespaciais que permitam à comunidade visualizar áreas de restrição e potenciais benefícios locais do novo modal (CITYAM Project Team, 2024).

O quinto eixo consolida recomendações sobre a **integração multimodal e a experiência do usuário**. Recomenda-se a integração tarifária e operacional da UAM com o transporte público existente e serviços de aplicativos de mobilidade, garantindo uma jornada multimodal contínua (SUNITIYOSO et al., 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). O desenvolvimento de aplicativos de viagem multimodal que permitam ao passageiro o planejamento e rastreamento dinâmico de sua rota completa, incluindo o trecho aéreo, é apontado como requisito para a atratividade do serviço (TUCHEN, 2020; YOO; CHOE; RIM, 2022). A implementação de processos de registro simplificados, sistemas de agendamento pontuais e controles de segurança (AVSEC) que garantam a fluidez no processamento de passageiros em trajetos curtos complementam a percepção de utilidade e facilidade de uso do modal (SUNITIYOSO et al., 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a).

Por fim, dois aspectos complementares merecem destaque. O primeiro refere-se à **estratégia de implantação gradual**: recomenda-se que as operações iniciais ocor-





ram preferencialmente em locais de baixo volume de tráfego, permitindo o aumento progressivo da aceitação pública antes da expansão em larga escala (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). O segundo diz respeito ao **uso do modal para serviços de interesse coletivo**: enfatizar a utilização da infraestrutura aérea para missões médicas, apoio à segurança pública e melhoria no tempo de resposta a emergências constitui estratégia relevante para elevar a aceitação social de tecnologias autônomas e demonstrar o valor público do investimento (NETO et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Recomenda-se, ainda, incentivar modelos de negócio que busquem a democratização do acesso ao transporte aéreo, evitando a segregação socioespacial e promovendo a justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes desse novo processo de urbanização (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; BRASIL, 2001).

As diretrizes a seguir consolidam os requisitos e recomendações extraídos de todas as fontes analisadas para orientar o planejamento municipal na promoção de um sistema de transporte aéreo urbano socialmente justo, integrado e aceito pela população.

Tabela 3.8: Matriz de Diretrizes – Integração Urbano-Social

Documento	Diretriz
(BRASIL, 2001)	Deve-se garantir o direito a cidades sustentáveis, compreendendo o transporte e serviços públicos como direitos para as presentes e futuras gerações conforme normas vigentes (Q01).
(BRASIL, 2001; BRASIL, 2012)	Recomenda-se a gestão democrática por meio da participação da população e de associações representativas na formulação, acompanhamento e avaliação de projetos de desenvolvimento urbano, incluindo ouvidorias, audiências e consultas públicas (Q02).
(BRASIL, 2001; BRASIL, 2012; SUNITIYOSO et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; ANAC, 2025)	Deve-se promover a acessibilidade universal nos vertiportos e espaços públicos associados, incorporando recursos de desenho universal que assegurem autonomia a idosos e pessoas com deficiência, e garantindo assistência adequada a passageiros com necessidades especiais (Q03).





Documento	Diretriz
(BRASIL, 2001; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025)	Recomenda-se a justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do processo de urbanização, incentivando modelos de negócio que busquem a democratização do acesso ao transporte aéreo e evitando a segregação socioespacial (Q07).
(BRASIL, 2012; JIN; MA, 2025; WU; ZHANG, 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Deve-se considerar a equidade social no planejamento da localização dos vertiportos, priorizando a integração com o transporte público existente, contemplando bairros menos atendidos e localidades remotas para reduzir disparidades de acesso (Q01).
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; CITYAM Project Team, 2024)	Recomenda-se a criação de grupos de estudo multidisciplinares com participação colaborativa da comunidade, incluindo associações de moradores como partes interessadas ativas no processo de validação de conceitos operacionais e escolha de locais para infraestrutura (Q02).
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Recomenda-se que as operações iniciais ocorram preferencialmente em locais de baixo volume de tráfego, permitindo o aumento gradual da aceitação pública antes da expansão em larga escala (Q08).
(BHADURI; CHOUDHURY, 2026; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a; CITYAM Project Team, 2024)	Recomenda-se realizar o monitoramento contínuo das opiniões e preocupações da população, incluindo a resposta humana ao ruído e à integração visual, para fundamentar intervenções políticas localizadas e gerir a aceitação do modal (Q08, Q05).
(JIN; MA, 2025; CITYAM Project Team, 2024)	Recomenda-se a utilização de interfaces de linguagem acessível e ferramentas geoespaciais transparentes para facilitar a participação pública e a visualização de áreas de restrição e benefícios do planejamento urbano (Q02).





Documento	Diretriz
(YAN; WANG; QU, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a)	Deve-se considerar o estabelecimento de rotas aéreas que evitem sobrevoar áreas residenciais densas, tratando o potencial de resistência pública ao ruído de forma proativa, além da simples conformidade com limites técnicos de certificação (Q04, Q05).
(SUNITIYOSO et al., 2025; TUCHEN, 2020; YOO; CHOE; RIM, 2022; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Recomenda-se a integração tarifária e operacional da UAM com o transporte público existente e serviços de aplicativos, incluindo o desenvolvimento de aplicativos de viagem multimodal que permitam o planejamento e rastreamento dinâmico da rota completa (Q06).
(SUNITIYOSO et al., 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Sugere-se a implementação de processos de registro simplificados, sistemas de agendamento pontuais e controles de segurança que garantam a fluidez no processamento de passageiros em trajetos curtos (Q06).
(NETO et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se enfatizar o uso da infraestrutura aérea para serviços de interesse coletivo, como missões médicas e apoio à segurança pública, como estratégia para elevar a aceitação social de tecnologias autônomas (Q09).

### 3.5 Meio Ambiente

#### 3.5.1 Problemática

A implementação dos sistemas de Mobilidade Aérea Urbana (UAM) fundamenta-se na busca pela descarbonização do setor de transporte, utilizando aeronaves elétricas de decolagem e pouso vertical que visam a neutralidade de emissões diretas durante o voo (LIANG; ZHANG; LI, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Contudo, a sustentabilidade ambiental plena deste modal requer uma análise do ciclo de vida completo (LCA), metodologia que quantifica os impactos desde a extração de matérias-primas até o descarte final de baterias de alta densidade ener-





gética (LIANG; ZHANG; LI, 2025). A eficácia na redução real de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, está diretamente vinculada à intensidade de carbono da rede elétrica local utilizada para a recarga e à adoção de modelos de compartilhamento de voos (ridesharing), que otimizam a ocupação das aeronaves e reduzem as emissões líquidas por passageiro (VASHI et al., 2024; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). Este novo ecossistema exige uma harmonização rigorosa entre o avanço tecnológico, o cumprimento do Código Florestal e a preservação dos recursos naturais (Congresso Nacional, 2022; BRASIL, 2025; Federal Aviation Administration (FAA), 2020b).

O planejamento territorial para a infraestrutura de apoio, como os vertiportos, deve observar restrições legais severas quanto às Áreas de Preservação Permanente (APP), que incluem o entorno de nascentes, olhos d'água e encostas com alta declividade (Congresso Nacional, 2022). A escolha de locais para pouso e decolagem deve integrar critérios de proteção à biodiversidade, evitando áreas de nidificação (locais de construção de ninhos), rotas de migração de aves e reservas naturais, que funcionam como fatores restritivos para a instalação de infraestruturas (CITYAM Project Team, 2024). A supressão de vegetação nativa para esses fins exige autorização prévia e cadastramento ambiental rural, enquanto em áreas urbanas consolidadas, a definição de faixas marginais de cursos d'água deve ser coordenada entre a autoridade ambiental e o planejamento municipal (Congresso Nacional, 2022; BRASIL, 2025).

A viabilidade operacional é condicionada por requisitos meteorológicos mandatórios, visto que aeronaves de pequeno porte são altamente sensíveis a fenômenos atmosféricos (REICHE; COHEN; FERNANDO, 2021). Em ambientes citadinos, a fricção do ar com edificações cria microclimas específicos, conhecidos como efeitos de cânions urbanos e ilhas de calor, que alteram bruscamente a direção do vento e a densidade do ar em curtas distâncias, afetando a performance e o consumo de energia (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). É preconizado o monitoramento detalhado em tempo real de tempestades, formação de gelo e tesouras de vento (mudanças súbitas e violentas na direção do vento), utilizando sensores de alta resolução integrados a sistemas de inteligência artificial para garantir a segurança e minimizar atrasos operacionais (REICHE; COHEN; FERNANDO, 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

A gestão de riscos com a fauna, especialmente a prevenção de colisões com aves (bird strikes), é condição essencial para a segurança, uma vez que a maior probabilidade de incidentes ocorre em baixas altitudes (VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025).





A legislação estabelece a criação de uma Área de Segurança Aeroportuária (ASA) em um raio de vinte quilômetros ao redor das infraestruturas de pouso, onde o uso do solo sofre restrições quanto a atividades que atraiam animais (Brasil, 2012; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021). Estratégias de mitigação incluem medidas passivas, como a modificação de habitats para reduzir a oferta de alimento e abrigo, e medidas ativas, como o uso de radares aviários para rastreamento em tempo real e deconflição estratégica (ajustes de horários para evitar trajetórias de aves identificadas) (VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025; VARNOUSFADERANI; SHIHAB; SCHOFIELD, 2024). O manejo da fauna deve ser detalhado em planos específicos aprovados pelos órgãos ambientais e integrado à gestão de segurança urbana (Brasil, 2012).

O processo de licenciamento ambiental atesta a viabilidade dos empreendimentos por meio de licenças sucessivas: Prévia (viabilidade locacional), de Instalação (autorização de obras) e de Operação (verificação de condicionantes) (BRASIL, 2025; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997). Para infraestruturas de grande impacto, é obrigatória a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), abrangendo diagnósticos dos meios físico, biológico e socioeconômico (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997). Identifica-se uma lacuna regulatória quanto à padronização de distâncias de separação seguras entre aeronaves e fauna, o que demanda o desenvolvimento de diretrizes técnicas adicionais (VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025). Recomenda-se que as autoridades licenciadoras mantenham bases georreferenciadas transparentes e garantam a participação pública em projetos que gerem impactos ambientais relevantes (BRASIL, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).





TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
<b>Meio Ambiente</b>	<b>Q01</b> – Quais são as atividades atrativas de fauna proibidas ou restritas dentro do raio de segurança de vinte quilômetros das áreas de pouso e decolagem?
	<b>Q02</b> – Os estudos técnicos de impacto ambiental existentes (EIA/RIMA) são suficientes para atestar a viabilidade e sustentabilidade da implantação de vertiportos em regiões de alta densidade populacional e próximos a ecossistemas sensíveis?
	<b>Q03</b> – Existe um protocolo estabelecido para o gerenciamento do ciclo de vida das baterias, incluindo logística reversa e descarte sustentável?
	<b>Q04</b> – Os procedimentos existentes para a emissão de licenças urbanísticas e ambientais são suficientes para regulamentar projetos de infraestrutura de transporte aéreo de nova geração, ou há uma lacuna regulatória que demanda a criação de licenciamento específico?
	<b>Q05</b> – Existem protocolos municipais para a suspensão imediata de operações aéreas urbanas em caso de eventos meteorológicos extremos ou baixa visibilidade?
	<b>Q06</b> – Como o licenciamento ambiental considerará o mapeamento de áreas de nidificação e rotas de migração de aves para evitar conflitos operacionais?
	<b>Q07</b> – Qual a estratégia para suprir a lacuna regulatória sobre distâncias de separação seguras entre o modal aéreo e a fauna local?

### 3.5.2 Diretrizes

A sustentabilidade ambiental e a resiliência climática constituem requisitos estruturantes para a introdução da Mobilidade Aérea Urbana (UAM) nas cidades. Este tema abrange desde a preservação de ecossistemas locais e a gestão do risco de colisão com a fauna aviária até o controle de emissões atmosféricas, o cumprimento do licenciamento ambiental e a necessidade de monitoramento meteorológico preciso para garantir a segurança das operações em ambientes urbanos densos (LIANG; ZHANG; LI, 2025; Brasil, 2012; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Para gestores municipais, o desafio reside em garantir que a instalação de vertiportos e a definição de rotas de voo ocorram em conformidade com a legislação ambiental vigente, protegendo a biodiversidade, mitigando impactos climáticos e assegurando que a nova demanda energética seja atendida por fontes progressivamente mais limpas (VASHI et al., 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; CITYAM Project Team, 2024).

A metodologia aplicada consistiu em uma revisão sistemática e exaustiva de três categorias de fontes: (i) literatura técnica e científica, filtrada pela string de busca





“(“Urban Air Mobility” OR “UAM” OR “eVTOL” OR “Advanced Air Mobility” OR “AAM”) AND (“environmental impact” OR “sustainability” OR “life cycle assessment” OR “LCA” OR “carbon footprint” OR “emissions” OR “fauna” OR “wildlife” OR “biodiversity” OR “weather” OR “wind” OR “meteorological” OR “climate resilience” OR “turbulence” OR “environmental licensing” OR “extreme weather”)", com foco em ciclo de vida de aeronaves, emissões, risco aviário e barreiras meteorológicas; (ii) legislação federal e normas ambientais brasileiras, orientada pela string “Meio Ambiente E Sustentabilidade E Licenciamento Ambiental E Fauna E Meteorologia”; e (iii) documentos de conceito de operações de autoridades aeronáuticas nacionais e internacionais, orientados pela string “Meio Ambiente Sustentabilidade UAM eVTOL Meteorologia”.

Tabela 3.9: Documentos Analisados – Meio Ambiente

Documento	Descrição
(LIANG; ZHANG; LI, 2025)	Avaliação da implantação de aeronaves elétricas sob as perspectivas energética, ambiental e econômica, com foco no ciclo de vida.
(REICHE; COHEN; FERNANDO, 2021)	Estudo sobre barreiras meteorológicas para a Mobilidade Aérea Urbana e percepção pública sobre operações em condições adversas.
(VARNOUSFADERANI; SHIHAB; SCHOFIELD, 2024)	Análise de modelos preditivos e de desconflitação estratégica para prevenir colisões entre aves e aeronaves durante a decolagem.
(VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025)	Revisão sistemática sobre colisões com aves na aviação, abordando sensores, estatísticas e medidas preventivas.
(VASHI et al., 2024)	Análise refinada das emissões de CO2 em redes de Mobilidade Aérea Urbana, considerando a intensidade da rede elétrica e compartilhamento de voos.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021)	Norma do Comando da Aeronáutica que estabelece processos para análise de objetos projetados no espaço aéreo, incluindo trâmites com potencial atrativo de fauna.
(Congresso Nacional, 2022)	Código Florestal, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal.
(Brasil, 2012)	Lei que dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos e estabelece a Área de Segurança Aeroportuária (ASA).





Documento	Descrição
(BRASIL, 2025)	Lei Geral do Licenciamento Ambiental, que estabelece normas para o licenciamento de atividades utilizadoras de recursos ambientais.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Concepção Operacional do DECEA para a Mobilidade Aérea Urbana no Brasil, detalhando serviços meteorológicos críticos e gestão de riscos ambientais.
(CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986)	Resolução que define critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental e a elaboração de EIA/RIMA.
(CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997)	Resolução que regulamenta os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental no âmbito do SISNAMA.
(Federal Aviation Administration (FAA), 2020b)	Conceito operacional da FAA para o gerenciamento de tráfego de aeronaves não tripuladas, incluindo integração de serviços meteorológicos e minimização de impactos ambientais.
(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Relatório sobre barreiras técnicas e operacionais para a UAM, destacando desafios climáticos urbanos e necessidade de redução de emissões.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Panorama brasileiro da Mobilidade Aérea Avançada, focando em tecnologias de emissão zero e sustentabilidade do modal.
(CITYAM Project Team, 2024)	Ferramenta de suporte à decisão geoespacial para planejamento de locais de pouso, priorizando critérios de proteção à fauna e áreas verdes.

Um primeiro eixo estruturante diz respeito ao **controle de emissões e sustentabilidade energética**. Recomenda-se priorizar o uso de aeronaves com propulsão elétrica ou baseada em hidrogênio para garantir a meta de redução de poluentes atmosféricos em comparação com o transporte terrestre tradicional (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A literatura científica demonstra que a redução efetiva de emissões de CO<sub>2</sub> da frota elétrica é diretamente proporcional à limpeza da matriz energética local, o que exige a análise contínua da composição da rede elétrica que alimenta os carregadores dos vertiportos (VASHI et al., 2024). O incentivo a modelos de compartilhamento





de voos (*ridesharing*) é indicado para reduzir as emissões líquidas por passageiro no sistema de transporte metropolitano (VASHI et al., 2024). Recomenda-se, ainda, que o planejamento da frota integre modelos de previsão climática para minimizar o consumo energético excessivo em microclimas urbanos (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). A promoção de inovações tecnológicas que visem à redução do consumo de energia durante o ciclo operacional da aeronave complementa esse conjunto de medidas (LIANG; ZHANG; LI, 2025).

O segundo eixo abrange o **ciclo de vida das aeronaves e a gestão de baterias**. Deve-se considerar o impacto ambiental de todas as etapas do ciclo de vida das aeronaves elétricas, incluindo a produção, a substituição e a reciclagem de sistemas de bateria (LIANG; ZHANG; LI, 2025). Recomenda-se o estabelecimento de padrões técnicos para vertiportos que incluam planos de contingência ambiental, como o gerenciamento do ciclo de vida e o descarte adequado de baterias de alto desempenho (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). O estabelecimento de um sistema de supervisão de segurança rastreável para todo o processo de operação de aeronaves elétricas é igualmente indicado (LIANG; ZHANG; LI, 2025).

O terceiro eixo trata do **monitoramento meteorológico e resiliência climática**. Recomenda-se a instalação de sensores meteorológicos de alta precisão na infraestrutura urbana e nas aeronaves para monitorar microclimas e o efeito de cânions urbanos (fenômeno de aceleração e turbulência do vento causado pela presença de edifícios altos) em tempo real (REICHE; COHEN; FERNANDO, 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A integração de dados meteorológicos entre veículos e infraestrutura automatizada é indicada para prever fenômenos como *wind shear* (mudança brusca de direção ou velocidade do vento) e formação de gelo, visando a suspensão segura de operações em condições adversas (REICHE; COHEN; FERNANDO, 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Sugere-se a implementação de protocolos de previsão de “ir/não ir” baseados em condições meteorológicas para orientar os usuários antecipadamente sobre suspensões de voo (REICHE; COHEN; FERNANDO, 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A utilização de análises climatológicas sazonais e diurnas para compreender as limitações operacionais geográficas específicas de cada município complementa essas recomendações (REICHE; COHEN; FERNANDO, 2021). Deve-se considerar, ainda, o uso de inteligência artificial para integrar grandes volumes de dados atmosféricos e fornecer prognósticos climáticos mais precisos para a escala urbana (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Os fornecedores de dados suplementares devem disponibilizar informações atualizadas sobre terreno e obstáculos para garantir a proteção de áreas verdes sensíveis durante o planejamento de voo (Federal Aviation Administration (FAA), 2020b).





O quarto eixo refere-se à **gestão do risco de fauna e proteção da biodiversidade**. A legislação brasileira estabelece a Área de Segurança Aeroportuária (ASA) e atribui à autoridade municipal a responsabilidade pela implementação e fiscalização das restrições especiais de uso do solo em função da atratividade de fauna (Brasil, 2012). Recomenda-se a fiscalização municipal para impedir a implantação de atividades atrativas de fauna, como vazadouros de resíduos, dentro do raio da ASA (Brasil, 2012). A elaboração de um Plano de Manejo da Fauna é indicada para gerenciar o risco de colisões por meio de intervenções no meio ambiente natural ou antrópico (Brasil, 2012). O parecer sobre objetos ou atividades com potencial atrativo de fauna deve ser obtido junto ao órgão ambiental estadual competente (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021). A literatura científica recomenda o uso de sistemas de radar aviário em aeródromos para monitorar o movimento da fauna em tempo real e subsidiar modelos de prevenção de colisão, e a integração de classificadores de espécies de aves com radares para identificar comportamentos de voo específicos e melhorar a precisão preditiva (VARNOUSFADERANI; SHIHAB; SCHOFIELD, 2024; VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025). O mapeamento detalhado de rotas migratórias e áreas de nidificação de espécies de alto risco é essencial para o planejamento de rotas aéreas (VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025). Documentos conceituais internacionais convergem ao recomendar que zonas de nidificação, rotas de migração de aves e áreas de vida selvagem protegidas sejam consideradas áreas restritas ou proibidas para a instalação de infraestruturas de pouso (CITYAM Project Team, 2024). A aplicação do gerenciamento de risco da fauna como requisito mandatório no planejamento de rotas e locais de pouso é igualmente indicada (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Complementarmente, sugere-se a implementação de gestão de habitat passiva — eliminando fontes de alimento e abrigos — e de técnicas de assédio sonoro e visual para dissuadir a presença de aves em áreas operacionais (VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025). A aplicação de atrasos estratégicos na decolagem quando houver previsão de conflito de trajetória com aves é recomendada como medida de eficiência de custos e segurança (VARNOUSFADERANI; SHIHAB; SCHOFIELD, 2024). Identifica-se, ainda, uma lacuna regulatória referente a distâncias de separação seguras entre aeronaves e fauna, incentivando-se a criação de padrões baseados no tamanho das espécies (VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025).

O quinto eixo consolida recomendações sobre o **licenciamento ambiental e a proteção de áreas sensíveis**. A legislação brasileira exige a realização de Estudos Pré-vios de Impacto Ambiental (EIA) e respectivos Relatórios (RIMA) para atestar a viabilidade ambiental de infraestruturas estratégicas, e o licenciamento ambiental de aeroportos e infraestruturas similares depende desses estudos com garantia de participação pública (BRASIL, 2025; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986;





CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997). Sugere-se a adoção da licença urbanística e ambiental integrada no licenciamento de competência municipal para projetos de infraestrutura de transporte (BRASIL, 2025). O diagnóstico ambiental do projeto deve contemplar a análise do meio físico, biológico e socioeconômico da área de influência antes da implantação da infraestrutura (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986). Deve-se priorizar a prevenção de impactos ambientais negativos, seguida da mitigação e, em última instância, da compensação ambiental (BRASIL, 2025). A realização de estudos técnicos de impacto ambiental e de vizinhança que incluam a análise de biodiversidade e o uso de ferramentas geoespaciais para o licenciamento de vertiportos é igualmente recomendada (CITYAM Project Team, 2024). A preservação e a restauração da vegetação nativa e de suas funções ecológicas nas áreas urbanas e rurais impactadas pelo modal devem ser observadas, com proteção rigorosa das faixas marginais de cursos d’água e do entorno de nascentes conforme os limites estabelecidos nos Planos Diretores Municipais (Congresso Nacional, 2022). O compartilhamento de informações entre sistemas para o planejamento de rotas que evitem áreas sensíveis e minimizem a poluição sonora complementa esse conjunto de diretrizes (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

As diretrizes a seguir consolidam os requisitos e recomendações extraídos de todas as fontes analisadas para orientar gestores municipais na integração do novo modal de transporte aéreo às políticas ambientais locais, assegurando a preservação de ecossistemas, o cumprimento do licenciamento e a resiliência climática das operações.

Tabela 3.10: Matriz de Diretrizes – Meio Ambiente

Documento	Diretriz
(Brasil, 2012; VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025; CITYAM Project Team, 2024)	Recomenda-se a fiscalização municipal para impedir atividades atrativas de fauna na Área de Segurança Aeroportuária, a implementação de gestão de habitat passiva e a restrição de infraestruturas de pouso em zonas de nidificação e rotas migratórias (Q01).
(BRASIL, 2025; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997; CITYAM Project Team, 2024)	Recomenda-se a avaliação de Estudos Prévios de Impacto Ambiental e respectivos Relatórios para garantir o licenciamento de novas infraestruturas em meio a centros urbanos (Q02).





Documento	Diretriz
(LIANG; ZHANG; LI, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Deve-se considerar o impacto ambiental de todas as etapas do ciclo de vida das aeronaves, incluindo produção, substituição e reciclagem de baterias, com estabelecimento de padrões técnicos para planos de contingência ambiental nos vertiportos (Q03).
(BRASIL, 2025)	Sugere-se a adaptação e adoção da licença urbanística e ambiental integrada no licenciamento de competência municipal para projetos de infraestrutura de transporte aéreo urbano (Q04).
(REICHE; COHEN; FERNANDO, 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se a implementação de protocolos de previsão baseados em condições meteorológicas para orientar antecipadamente sobre suspensões de voo, integrando dados atmosféricos para prever fenômenos adversos como mudanças bruscas de vento e formação de gelo (Q05).
(VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025; CITYAM Project Team, 2024; Brasil, 2012; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se o mapeamento detalhado de rotas migratórias e áreas de nidificação de espécies de alto risco, com compartilhamento de informações entre sistemas para o planejamento de rotas que evitem essas zonas sensíveis (Q06).
(VARNOUSFADERANI; SHIHAB; SCHOFIELD, 2024; VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025; Brasil, 2012)	Sugere-se a aplicação de atrasos estratégicos na decolagem quando houver previsão de conflito com aves, e identifica-se a necessidade de criação de padrões de separação segura entre aeronaves e fauna baseados no tamanho das espécies (Q07).
(VASHI et al., 2024)	Sugere-se o incentivo a modelos de compartilhamento de voos para reduzir as emissões líquidas de CO2 por passageiro no sistema de transporte metropolitano.
(LIANG; ZHANG; LI, 2025)	Recomenda-se o estabelecimento de um sistema de supervisão de segurança rastreável para todo o processo de operação de aeronaves elétricas.

### 3.6 Ruído





### 3.6.1 *Problemática*

O ruído aeronáutico no contexto da UAM é definido como a energia acústica indesejada proveniente de aeronaves, capaz de provocar efeitos adversos na saúde e no bem-estar das comunidades (ALABI et al., 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b). Diferente das aeronaves convencionais que operam em aeródromos distantes, os veículos de decolagem e pouso vertical (eVTOL) operam em baixas altitudes e em proximidade direta com áreas densamente povoadas, o que estende a duração da exposição sonora para observadores no solo e torna o ruído uma das principais barreiras para a aceitação pública (ALABI et al., 2025; TORIJA; CLARK, 2021; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a). Embora a propulsão elétrica tenda a reduzir a poluição sonora em comparação aos modelos a combustão, a fase de operação próxima ao solo em vertiportos pode elevar significativamente os níveis de pressão sonora devido à interação entre o fluxo de ar e a superfície, exigindo que o projeto dessas aeronaves busque patamares apenas ligeiramente acima do ruído ambiente local (AHUJA et al., 2022; ARAGHIZADEH et al., 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b).

A metodologia para avaliar esses impactos deve considerar tanto a intensidade física quanto a percepção humana, utilizando métricas de qualidade sonora como tonalidade e nitidez (SCHADE et al., 2025; TORIJA; CLARK, 2021). Regulatoriamente, utiliza-se a métrica de nível de ruído médio dia-noite (DNL), que pondera as operações em 24 horas com maior rigor para o período noturno (22h às 07h) (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b). Enquanto níveis de 60 decibéis são típicos de ambientes urbanos, o limiar de incômodo em operações de subida e descida vertical é frequentemente referenciado em 50 decibéis para garantir a tranquilidade sonora (JEONG; SO; HWANG, 2021; GAO; PORCAYO; CLARKE, 2023; FARAZI; ZOU, 2024). A análise deve evoluir da medição individual por aeronave para uma avaliação contextualizada da frota, utilizando softwares de simulação que prevejam o ruído cumulativo de múltiplas aeronaves operando simultaneamente (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021).

A gestão territorial do ruído é estruturada pelo Plano de Zoneamento de Ruído (PZR), que representa as áreas afetadas e ordena as atividades no entorno dos aeródromos (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b). O zoneamento divide-se em Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) e Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR), este último exigido para locais de alta movimentação, estabelecendo





tabelas de compatibilidade que podem proibir residências, escolas e hospitais em áreas de alta exposição (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b). O planejamento municipal pode complementar essas normas com a criação de terrenos acústicos virtuais e zonas de exclusão tridimensionais, definindo rotas de prioridade que evitam o sobrevoo de áreas sensíveis e equilibram a eficiência do transporte com a proteção ambiental (GAO; PORCAYO; CLARKE, 2023; ALABI et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

O monitoramento contínuo das operações requer sistemas que considerem a topografia urbana, uma vez que edifícios podem criar zonas de sombra acústica ou amplificar o som por reflexões em canais estreitos de ruas (BIAN et al., 2021; YUNUS et al., 2023). Além disso, condições meteorológicas como o perfil do vento devem ser integradas ao planejamento, pois alteram a pegada sonora no solo (YUNUS et al., 2023; BIAN et al., 2021). Em casos de conflitos críticos, a autoridade aeronáutica requer um Projeto de Monitoramento de Ruído (PMR) com equipamentos certificados que correlacionam eventos sonoros a aeronaves específicas, fornecendo dados para que o gestor público identifique desvios e adote medidas corretivas (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024a).

Para a governança local, é fundamental a instituição de Comissão de Gerenciamento de Ruído Aeronáutico (CGRA), servindo como fórum de diálogo entre operadores, autoridades e comunidade (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b). O operador tem a obrigação legal de divulgar o PZR registrado aos municípios em até trinta dias, permitindo a integração das restrições às leis de uso e ocupação do solo (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024c). O engajamento comunitário efetivo e a transparência, por meio de canais de reclamações e relatórios anuais de incômodo, são requisitos mandatórios para tratar preocupações locais e harmonizar as normas federais com as ordenanças municipais, evitando conflitos de competência e garantindo a sustentabilidade da operação urbana (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024c; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).





TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
<b>Ruído</b>	<b>Q01</b> – A legislação de uso do solo do município está adequadamente alinhada com o plano de zoneamento de ruído para as operações de aeronaves urbanas?
	<b>Q02</b> – Existe um plano integrado de gestão de ruído que harmonize a legislação municipal com as normas federais para operações aéreas urbanas?
	<b>Q03</b> – Existe um plano de zoneamento acústico que estabeleça zonas de exclusão ou rotas de prioridade para evitar o sobrevoo de áreas sensíveis como escolas e hospitais?
	<b>Q04</b> – O município possui um corpo técnico qualificado e responsável pela implementação de sistemas permanentes de monitoramento acústico e ferramentas de simulação?
	<b>Q05</b> – Existem mecanismos de fiscalização para evitar a ocupação irregular de solos classificados como incompatíveis com os níveis de exposição sonora previstos?
	<b>Q06</b> – O município participa ativamente de Comissões de Gerenciamento de Ruído para garantir que as reclamações da população sejam integradas às ações de mitigação?
	<b>Q07</b> – Estão previstas restrições temporais de operação ou o uso obrigatório de tecnologias de baixo ruído para mitigar o incômodo durante períodos de descanso?
	<b>Q08</b> – Como os novos vertiportos em topos de edifícios estão sendo avaliados quanto ao impacto do efeito de solo sobre a vizinhança imediata?
	<b>Q09</b> – Quais são os canais de transparência utilizados para disponibilizar à comunidade os relatórios de monitoramento e os planos de expansão da infraestrutura aérea?

### 3.6.2 Diretrizes

O ruído aeronáutico no contexto da UAM refere-se à energia acústica indesejada produzida pelas operações e componentes das aeronaves — como motores, hélices e rotores — durante o voo ou em solo, e que pode impactar a saúde e o bem-estar da população local. Para gestores municipais, o desafio reside em integrar essas novas operações aéreas ao tecido urbano de forma a minimizar o incômodo sonoro, garantir a aceitação social do novo modal e compatibilizar o uso do solo com as áreas de exposição acústica (ALABI et al., 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b).

A metodologia aplicada consistiu em uma revisão sistemática e exaustiva de três categorias de fontes: (i) literatura técnica e científica recente, filtrada pela string de busca (“Urban Air Mobility” OR “UAM” OR “eVTOL” OR “Advanced Air Mobility” OR “AAM” OR “air taxi”) AND (“noise” OR “acoustic” OR “sound” OR “noise pollution” OR





“community noise” OR “noise impact” OR “psychoacoustic”), priorizando documentos sobre métodos de monitoramento, métricas de percepção humana e estratégias de mitigação aplicáveis ao nível municipal; (ii) normas e regulamentos aeronáuticos brasileiros vigentes, orientados pela string “ruído aeronáutico, zoneamento de ruído, monitoramento, CGRA, PBZR, PEZR”; e (iii) documentos de conceito de operações de autoridades aeronáuticas nacionais e internacionais, orientados pela string “UAM AND ruído AND diretriz”.

Tabela 3.11: Documentos Analisados – Ruído Aeronáutico

Documento	Descrição
(AHUJA et al., 2022)	Estudo sobre metodologias de previsão de ruído gerado por veículos UAM com propulsão elétrica distribuída.
(ALABI et al., 2025)	Investigação abrangente sobre os desafios do ruído na mobilidade aérea avançada, impactos na comunidade e estratégias de mitigação.
(ARAGHIZADEH et al., 2024)	Análise aeroacústica de aeronaves UAM em configuração total, com foco no efeito de solo durante pousos e decolagens.
(BIAN et al., 2021)	Avaliação de impacto de ruído ambiental baseada em simulações de voos virtuais em cenários urbanos realistas.
(FARAZI; ZOU, 2024)	Planejamento de logística urbana com drones considerando métricas de exposição populacional e impacto sonoro na comunidade.
(GAO; PORCAYO; CLARKE, 2023)	Proposta de terrenos acústicos virtuais para transformar restrições de ruído em zonas tridimensionais de exclusão para trajetórias.
(JEONG; SO; HWANG, 2021)	Metodologia para seleção de vertiportos e criação de rotas de prioridade de ruído para minimizar a população afetada.
(SCHADE et al., 2025)	Avaliação psicoacústica de designs de ventiladores para sistemas de propulsão, focando na percepção humana de incômodo.
(TORIJA; CLARK, 2021)	Abordagem sobre a resposta humana ao ruído de veículos aéreos não tripulados e recomendações para certificação.
(TORIJA; CLARK, 2021)	Revisão sistemática sobre métricas de qualidade sonora e fatores que influenciam a aceitação do ruído de aeronaves urbanas.





Documento	Descrição
(YUNUS et al., 2023)	Ferramenta de previsão de pegada de ruído em ambientes de vertiportos, integrando topologia urbana e perfis de vento.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024c)	Compêndio de Elementos de Fiscalização referente ao Regulamento Brasileiro da Aviação Civil sobre zoneamento de ruído.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024a)	Instrução Suplementar que estabelece metodologia e critérios técnicos para projetos de monitoramento de ruído em aeródromos.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Plano do Comando da Aeronáutica sobre a concepção operacional da Mobilidade Aérea Urbana no Brasil.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b)	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil que define os requisitos para elaboração e aplicação do Plano de Zoneamento de Ruído.
(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a)	Documento estratégico da NASA detalhando barreiras de pesquisa para a integração da Mobilidade Aérea Avançada, com foco em ruído e resposta humana.
(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Relatório sobre o conceito de operações para a maturidade do sistema UAM, abordando design de espaço aéreo e integração comunitária.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Nota técnica brasileira sobre a infraestrutura necessária para eVTOLs e o alinhamento com padrões internacionais de segurança e ruído.

Um primeiro eixo estruturante diz respeito ao **zoneamento acústico e à compatibilização do uso do solo**. A regulação brasileira estabelece que os operadores de aeródromos devem elaborar um PZR, calculando curvas de ruído por metodologias padronizadas, e que esse plano deve ser divulgado oficialmente aos municípios abrangidos (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024c). Cabe ao gestor municipal compatibilizar o uso do solo nas áreas abrangidas por essas curvas, integrando o zoneamento de ruído ao ordenamento territorial urbano (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b). Nessa linha, a literatura científica recomenda que o zoneamento municipal incorpore mé-





tricas baseadas na percepção humana — como o nível de ruído percebido — para alinhar o planejamento urbano às necessidades de saúde pública, e que se adotem “terrenos acústicos virtuais” (zonas tridimensionais de exclusão ao redor de áreas sensíveis como escolas e hospitais) (ALABI et al., 2025; GAO; PORCAYO; CLARKE, 2023). A regulamentação preconiza, ainda, a observância de tabelas de compatibilidade que proíbem a instalação de residências ou locais de permanência prolongada em áreas de alta exposição sonora sem medidas de isolamento adequadas, e recomenda que projetos de edificações nessas áreas incorporem medidas de redução de ruído no projeto arquitetônico (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b). Documentos conceituais internacionais reforçam a utilização de ordenanças de zoneamento local como ferramenta para controlar o crescimento das áreas de operação e mitigar o impacto sonoro (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). Identifica-se a necessidade de planos integrados de gestão de ruído que harmonizem as ordenanças locais com normas internacionais, de modo a cobrir eventuais lacunas regulatórias em cenários de operações aéreas densas (ALABI et al., 2025).

O segundo eixo abrange o **planejamento de rotas e localização de infraestrutura com critérios acústicos**. Recomenda-se priorizar o estabelecimento de rotas aéreas baseadas em “prioridade de ruído”, que favoreçam o sobrevoos de áreas menos povoadas ou corpos d’água em vez de rotas diretas sobre zonas residenciais (JEONG; SO; HWANG, 2021; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). A demarcação em planta de equipamentos urbanos sensíveis ao ruído, como hospitais e escolas, constitui passo essencial para evitar sobrevoos incompatíveis (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024a). No que tange à infraestrutura de pouso, recomenda-se que as operações iniciais sejam priorizadas em áreas menos sensíveis ao ruído, como distritos comerciais ou proximidades de grandes aeroportos, utilizando a demonstração de níveis de ruído aceitáveis como critério para aprovação de locais de pouso em centros populosos (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Deve-se, ainda, avaliar o impacto do efeito de solo (a reflexão e amplificação do som quando a aeronave opera próxima a superfícies) na dispersão do ruído ao projetar vertiportos em topos de edifícios, considerando a circulação de pedestres na vizinhança imediata (ARAGHIZADEH et al., 2024).

O terceiro eixo trata do **monitoramento acústico e métricas de avaliação**. A regulação brasileira prevê a implementação de projetos de monitoramento acústico contínuo em áreas de uso residencial ou misto impactadas por curvas de ruído elevadas, e estabelece que esse monitoramento não se limite a aeronaves em voo, devendo incluir também operações em solo e testes de motores, especialmente no período noturno (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024a). A literatura científica





complementa essa exigência ao recomendar o uso de ferramentas de simulação que considerem as reflexões sonoras em fachadas de edifícios e a influência da velocidade do vento, bem como avaliações de impacto sonoro específicas para edifícios altos situados nas proximidades de rotas de voo (YUNUS et al., 2023; BIAN et al., 2021). Recomenda-se, adicionalmente, a utilização de softwares de modelagem para prever o ruído de banda larga gerado por múltiplos veículos operando em diversas configurações (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021). Um aspecto central identificado na literatura é que as métricas de monitoramento devem considerar o ruído cumulativo de toda a frota em operação simultânea sobre áreas povoadas — e não apenas o ruído de aeronaves individuais — utilizando a métrica de “exposição populacional” (FARAZI; ZOU, 2024; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). Modelos matemáticos avançados para prever a assinatura acústica de novos veículos antes da autorização de operações em corredores urbanos específicos também são indicados (AHUJA et al., 2022). Recomenda-se, por fim, a adoção de indicadores de qualidade sonora que vão além do simples nível de decibéis, captando flutuações rápidas de som e tonalidades agudas típicas de aeronaves elétricas, e que considerem a diferença entre os padrões técnicos de ruído para certificação e os níveis subjetivos considerados aceitáveis pela sociedade (TORIJA; CLARK, 2021; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021).

O quarto eixo refere-se à **participação comunitária, transparência e comunicação**. A regulamentação brasileira recomenda a instituição de uma CGRA, órgão colegiado destinado a fomentar o diálogo entre aeródromos, órgãos locais e a comunidade (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024c). Recomenda-se a disponibilização de canais de comunicação acessíveis para que a população afetada possa manifestar reclamações sobre o ruído, bem como a elaboração de relatórios anuais que compilem estatísticas de reclamações e indiquem os locais de incômodo em mapas georreferenciados (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024c). A literatura científica reforça a necessidade de mecanismos de participação ativa da comunidade que integrem reclamações e percepções subjetivas nas ações municipais de mitigação (TORIJA; CLARK, 2021). A divulgação pública ampla — e, preferencialmente, em tempo real — dos dados coletados pelos projetos de monitoramento é indicada como forma de estimular a participação cidadã e a transparência na gestão do impacto sonoro (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024a; ALABI et al., 2025). Estudos sobre a resposta humana ao ruído são recomendados para fundamentar as normas de aceitação comunitária (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a). Os órgãos reguladores devem, ainda, colaborar com as prefeituras para mitigar ruídos localizados por meio de procedimentos de voo e modificações de horários (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b).





O quinto eixo consolida recomendações sobre **restrições operacionais e incentivos tecnológicos**. Sugere-se a imposição de restrições temporais de operação, como limitações em períodos noturnos, para garantir o descanso da população em áreas residenciais, devendo o período noturno ser considerado com maior rigor nos cálculos de impacto sonoro (ALABI et al., 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b). Recomenda-se incentivar o uso de aeronaves com tecnologias de propulsão que minimizem tonalidades agudas e rugosidade sonora, visando reduzir o incômodo urbano (SCHADE et al., 2025). A introdução de novas tecnologias de rotores na UAM é identificada como oportunidade estratégica para a redução da poluição sonora em comparação com aeronaves convencionais (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Paralelamente, o estabelecimento de limites de ruído rigorosos é indicado como pré-requisito para a expansão da malha aérea urbana em níveis de alta densidade operacional (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). As aeronaves devem ser projetadas para operar em níveis sonoros aceitáveis, visando manter-se apenas ligeiramente acima do ruído ambiente da localidade (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). Por fim, recomenda-se o estabelecimento de zonas de proteção acústica informadas por modelagens de longa duração para prevenir a ocupação irregular de solos incompatíveis com a operação aérea (ALABI et al., 2025).

As diretrizes a seguir consolidam os requisitos e recomendações extraídos de todas as fontes analisadas para orientar a gestão pública municipal na regulação do ruído aeronáutico, na proteção das áreas sensíveis da cidade e na garantia da aceitação social do novo modal.

Tabela 3.12: Matriz de Diretrizes – Ruído Aeronáutico

Documento	Diretriz
(ALABI et al., 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Recomenda-se que o zoneamento de ruído municipal incorpore métricas baseadas na percepção humana e utilize ordenanças locais como ferramenta para compatibilizar o uso do solo com as áreas de operação aérea, integrando o zoneamento acústico ao ordenamento territorial urbano (Q01).





Documento	Diretriz
(ALABI et al., 2025; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Sugere-se a criação de planos integrados de gestão de ruído que harmonizem as ordenanças locais com normas internacionais e promovam a colaboração entre órgãos reguladores e prefeituras para mitigar ruídos por meio de procedimentos de voo e modificações de horários (Q02).
(GAO; PORCAYO; CLARKE, 2023; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024a; JEONG; SO; HWANG, 2021; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se a adoção de zonas tridimensionais de exclusão ao redor de áreas sensíveis, a demarcação de equipamentos urbanos como hospitais e escolas, e o estabelecimento de rotas aéreas baseadas em prioridade de ruído que favoreçam o sobrevoo de áreas menos povoadas (Q03).
(YUNUS et al., 2023; BIAN et al., 2021; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024a)	Recomenda-se a implementação de projetos de monitoramento acústico contínuo utilizando ferramentas de simulação que considerem reflexões sonoras em fachadas, topologia urbana e perfis de vento, incluindo operações em solo e modelagem de múltiplos veículos em diversas configurações (Q04).
(FARAZI; ZOU, 2024; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Deve-se considerar o ruído cumulativo de toda a frota em operação simultânea sobre áreas povoadas, utilizando a métrica de exposição populacional e softwares de modelagem para prever o impacto acústico agregado (Q05).
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b; ALABI et al., 2025; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Recomenda-se a observância de tabelas de compatibilidade de uso do solo, o estabelecimento de zonas de proteção acústica informadas por modelagens de longa duração e a incorporação de medidas de redução de ruído no projeto arquitetônico de edificações em áreas sob impacto sonoro (Q05).





Documento	Diretriz
(TORIJA; CLARK, 2021; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024c; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a)	Recomenda-se a criação de mecanismos de participação ativa da comunidade, incluindo a instituição de uma Comissão de Gerenciamento de Ruído Aeronáutico e a realização de estudos sobre a resposta humana ao ruído para fundamentar normas de aceitação comunitária (Q06).
(ALABI et al., 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b; SCHADE et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Sugere-se a imposição de restrições temporais de operação em períodos noturnos, o incentivo ao uso de aeronaves com tecnologias de propulsão de menor incômodo sonoro e o estabelecimento de limites de ruído rigorosos como pré-requisito para a expansão da malha aérea urbana (Q07).
(ARAGHIZADEH et al., 2024)	Deve-se avaliar o impacto do efeito de solo (reflexão e amplificação do som próximo a superfícies) na dispersão do ruído ao projetar vertiportos em topos de edifícios, considerando a circulação de pedestres na vizinhança imediata (Q08).
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024c; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024a; ALABI et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se a disponibilização transparente e, preferencialmente, em tempo real de dados de monitoramento acústico e relatórios periódicos com estatísticas de reclamações georreferenciadas, utilizando a demonstração de níveis de ruído aceitáveis como critério para aprovação de locais de pouso (Q09).
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021; TORIJA; CLARK, 2021)	Recomenda-se a adoção de indicadores de qualidade sonora que vão além do simples nível de decibéis, captando flutuações rápidas de som típicas de aeronaves elétricas e considerando a diferença entre padrões técnicos de certificação e níveis subjetivos aceitáveis pela sociedade.





Documento	Diretriz
(AHUJA et al., 2022)	Sugere-se a aplicação de modelos matemáticos avançados para prever a assinatura acústica de novos veículos antes da autorização de operações em corredores urbanos específicos.
(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Sugere-se que as aeronaves sejam projetadas para operar em níveis sonoros que se mantenham apenas ligeiramente acima do ruído ambiente da localidade.

### 3.7 Tecnologias de Suporte

#### 3.7.1 Problemática

As operações de AAM e UAM dependem de um ecossistema digital integrado fundamentado em sistemas de CNS (AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d, 2024d). Diferentemente do controle de tráfego aéreo tradicional, esta infraestrutura tecnológica permite que aeronaves elétricas de decolagem e pouso vertical (eVTOL) operem de forma segura, especialmente em voos para além da linha de visão (BVLOS) (AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; ARYENDU et al., 2025; Federal Aviation Administration, 2023). O funcionamento deste modelo requer a atuação de Provedores de Serviço UAM (PSU) e a implementação do gerenciamento de informações integrado (*System Wide Information Management (SWIM)*), que substitui a troca de dados ponto a ponto por uma interoperabilidade total entre veículos, infraestruturas de solo e estações de comando e controle (C2) (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; Federal Aviation Administration, 2023).

Para garantir a conectividade, as redes de telefonia celular 5G e as futuras redes 6G são os pilares de suporte devido à alta capacidade de dados e baixa latência (AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; ANSARI et al., 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). No planejamento urbano, isso exige a densificação de estações rádio-base para mitigar o efeito de "canyons urbanos" (espaços entre prédios que bloqueiam ondas de rádio) e áreas de sombra de sinal (ARYENDU et al., 2025; WANNIARACHCHI; TURAU, 2023; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Preconiza-se o uso de antenas com inclinação voltada para o céu para cobrir os corredores aéreos, observando os limites de potência para evitar interferências em redes Wi-Fi locais (SINHA et al., 2024; DO et al., 2024; Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), 2024). Adicionalmente, a legislação estabelece que o com-





partilhamento da infraestrutura física de telecomunicações, como torres e postes, é obrigatório para otimizar a ocupação do solo municipal (Congresso Nacional, 2015).

A navegação segura em baixas altitudes requer o uso de sistemas globais por satélite (GPS/Navegação por satélite (GNSS)) integrados a requisitos de Navegação Baseada em Performance (PBN), como o RNP 0.3, que permite trajetórias precisas em ambientes densos (ARYENDU et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Complementarmente, sensores de bordo como radares e sistemas LiDAR (detecção por laser) criam mapas tridimensionais do entorno para evitar obstáculos (ARYENDU et al., 2025; AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023). É mandatório proteger as superfícies de sinal eletromagnético de auxílios terrestres existentes (como VOR e DME) contra novas construções urbanas que possam causar degradação de sinal (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b; CITYAM Project Team, 2024).

A vigilância e a identificação das aeronaves são operadas por sistemas que transmitem posição e velocidade em tempo real, como o ADS-B (transmissão automática de dados), essencial onde radares convencionais falham por obstruções geográficas (AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; SAFWAT et al., 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Estabelece-se a obrigação do uso de Identificação Remota Digital (uma "placa digital") para que autoridades de segurança pública possam monitorar voos dentro do perímetro municipal (DO et al., 2024; Federal Aviation Administration, 2023). O uso de transponders em modos específicos é necessário para que o sistema anticollision de bordo (ACAS) forneça alertas independentes aos pilotos em áreas de tráfego intenso (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024a).

A gestão deste tráfego exige integração com plataformas de Gerenciamento de tráfego aéreo urbano (UTM), que automatizam a aprovação de planos de voo e a coordenação de rotas (AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; Federal Aviation Administration, 2023). Identificam-se lacunas na certificação de decisões por inteligência artificial e na segurança cibernética, exigindo protocolos de criptografia e autenticação para proteger o sistema contra interferências ilícitas (ARYENDU et al., 2025; Federal Aviation Administration, 2023). Recomenda-se que o monitoramento da eficiência da rede utilize cálculos de orçamento de link e simulações meteorológicas para assegurar a estabilidade da conexão digital sob condições adversas, como chuva forte ou turbulência térmica entre edifícios (WHITWORTH; AL-RUBAYE; TSOURDOS, 2023; WANNIARACHCHI; TURAU, 2023; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).





TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
<b>Tecnologias</b>	<b>Q01</b> – O Plano Diretor Municipal contempla a instalação e o compartilhamento de infraestruturas de telecomunicações (antenas e torres) com tecnologia 5G/6G voltada para a cobertura do espaço aéreo?
	<b>Q02</b> – Os atuais requisitos municipais de redundância e fontes de energia auxiliares para redes de comunicação urbana são suficientes para garantir a continuidade operacional das comunicações críticas da Mobilidade Aérea Urbana em cenários de falha generalizada do sistema elétrico principal?
	<b>Q03</b> – De que forma o arcabouço regulatório municipal pretende assegurar o acesso efetivo aos dados de Identificação Remota Digital das aeronaves para fins de segurança pública e monitoramento de áreas restritas, considerando as limitações técnicas e operacionais dessa fiscalização?
	<b>Q04</b> – O município dispõe de um mapeamento georreferenciado atualizado que identifique 'canyons urbanos' e áreas de sombra de sinal GNSS, e de que forma esse instrumento é efetivamente integrado ao planejamento de rotas seguras para operações de Mobilidade Aérea Urbana?
	<b>Q05</b> – De que forma a regulação local assegura a proteção das superfícies de sinal eletromagnético de auxílios à navegação aérea contra a interferência de novas edificações?
	<b>Q06</b> – Quais protocolos de segurança cibernética e criptografia são exigidos dos Provedores de Serviço UAM (PSU) que pretendem operar no território municipal?
	<b>Q07</b> – Como será garantida a interoperabilidade técnica entre diferentes operadoras para que sistemas distintos compartilhem o mesmo corredor aéreo de forma coordenada?
	<b>Q08</b> – Existe integração de sensores meteorológicos locais ao sistema de gerenciamento de tráfego para prever impactos de microclimas urbanos na estabilidade do link de dados?
	<b>Q09</b> – Os critérios de confiabilidade e latência mínima atualmente exigidos para a rede de dados municipal são compatíveis com os rigorosos padrões de segurança exigidos para o transporte de passageiros em voos autônomos, ou há necessidade de revisão desses parâmetros técnicos?
	<b>Q10</b> – O município possui um plano efetivo de coordenação com a autoridade aeronáutica nacional para mitigar riscos de interferências eletromagnéticas entre equipamentos críticos de navegação aérea e as redes Wi-Fi urbanas, e como esse plano é atualizado diante da expansão da infraestrutura de telecomunicações?





### 3.7.2 Diretrizes

As Tecnologias de Suporte para a UAM compreendem o ecossistema digital de sistemas de CNS essenciais para a operação segura e eficiente de aeronaves elétricas de decolagem e pouso vertical (eVTOL) em ambiente urbano. Essas tecnologias garantem que as aeronaves possam se localizar no espaço, comunicar-se com sistemas de solo e outras aeronaves, e serem monitoradas constantemente pelos órgãos de controle (AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Para o gestor municipal, este pilar representa a necessidade de uma infraestrutura de telecomunicações robusta e integrada ao espaço urbano, garantindo que o fluxo de dados entre aeronaves e centros de controle ocorra sem interrupções, e que o planejamento da cidade contemple a cobertura aérea contínua e a proteção do espectro de frequências crítico para a aviação (Congresso Nacional, 2015; WANNIARACHCHI; TURAU, 2023; CITYAM Project Team, 2024).

A metodologia aplicada consistiu em uma revisão sistemática e exaustiva de três categorias de fontes: (i) literatura técnica e científica, filtrada pela string de busca *“(Urban Air Mobility OR UAM OR eVTOL OR Advanced Air Mobility OR AAM) AND (5G OR 6G OR communication OR connectivity OR network infrastructure OR GNSS OR ADS-B OR UTM OR U-space OR CNS OR surveillance OR navigation OR spectrum management OR telecommunications)”*, com foco em redes 5G/6G, comunicação veículo-a-veículo, navegação por satélite e segurança cibernética; (ii) legislação federal e normas aeronáuticas brasileiras, orientada pela string *“comunicação AND navegação AND vigilância AND digital AND interoperabilidade”*; e (iii) documentos de conceito de operações de autoridades aeronáuticas nacionais e internacionais, orientados pela string *“5G/6G, GNSS, navegação digital, identificação remota e segurança cibernética”*.

Tabela 3.13: Documentos Analisados – Tecnologias de Suporte

Documento	Descrição
(AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023)	Análise da infraestrutura e operações para veículos eVTOL conectados, focando em redes 5G e comunicações via satélite.
(ANSARI et al., 2021)	Discussão sobre o uso de redes 6G como suporte para a mobilidade aérea urbana e indicadores de performance necessários.





Documento	Descrição
(Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), 2024)	Ato normativo da Anatel sobre requisitos técnicos para uso de radiofrequências em serviços limitados privados.
(ARYENDU et al., 2025)	Exame de sistemas de comunicação para eVTOLs autônomos, abordando desafios regulatórios e identificação remota.
(DO et al., 2024)	Estudo sobre conectividade celular e técnicas de formação de feixe para veículos aéreos.
(SAFWAT et al., 2024)	Análise da performance de comunicação e mitigação de interferência em redes celulares para o ambiente urbano.
(SINHA et al., 2024)	Abordagem sobre conectividade sem fio e localização para serviços de mobilidade aérea, incluindo corredores aéreos e comunicação veículo-a-veículo.
(WANNIARACHCHI; TURAU, 2023)	Estudo sobre a influência do planejamento de redes 5G no posicionamento de estações rádio base para UAM.
(WHITWORTH; AL-RUBAYE; TSOURDOS, 2023)	Análise do balanço de link em sistemas 5G aplicados à mobilidade aérea urbana.
(ZENG et al., 2021)	Análise de performance de redes de comunicação aeronave-solo em cenários de alta densidade urbana.
(ZENG et al., 2023)	Modelos de aprendizado federado para previsão de turbulência utilizando redes de comunicação aérea.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024a)	Regulamentação das Regras do Ar, definindo procedimentos para uso de transponders, comunicações e sinais visuais em voo.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b)	Requisitos para os serviços de tráfego aéreo, incluindo capacidades de vigilância, registros de dados e informações meteorológicas.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020)	Restrições a objetos que afetem a segurança aérea e zonas de proteção para sinais de auxílios à navegação.
(Congresso Nacional, 2015)	Lei que estabelece normas gerais para a implantação e o compartilhamento de infraestrutura de telecomunicações em áreas urbanas.





Documento	Descrição
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Concepção Operacional do DECEA para a Mobilidade Aérea Urbana no Brasil, definindo requisitos tecnológicos de CNS e níveis de maturidade.
(Federal Aviation Administration (FAA), 2020b)	Conceito de operações da FAA para o gerenciamento de tráfego de aeronaves não tripuladas, detalhando arquitetura de rede e identificação remota.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Panorama brasileiro da Mobilidade Aérea Avançada, destacando tecnologias viabilizadoras como redes 5G, automação por inteligência artificial e desafios de tráfego aéreo.
(CITYAM Project Team, 2024)	Ferramentas de suporte à decisão baseadas em sistemas de informação geográfica para o planejamento municipal de locais de pouso e decolagem.

Um primeiro eixo estruturante diz respeito à **infraestrutura de telecomunicações e planejamento urbano de cobertura aérea**. A legislação brasileira estabelece normas gerais para a implantação e o compartilhamento de infraestrutura de telecomunicações em áreas urbanas, promovendo a integração e a complementaridade entre as atividades de instalação dessas redes e o planejamento de urbanização municipal (Congresso Nacional, 2015). Deve-se considerar o uso racional de recursos e a modernização tecnológica das redes de infraestrutura de suporte para reduzir impactos ambientais e visuais (Congresso Nacional, 2015). Recomenda-se que o planejamento urbano contemple a expansão das redes de comunicação 5G e futuras redes 6G para garantir a conectividade e a troca de dados em tempo real entre aeronaves e centros de controle (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; WANNIARACHCHI; TURAU, 2023). No planejamento da cidade, a instalação de torres e antenas deve considerar as trajetórias de voo e a localização de vertiportos para garantir cobertura aérea contínua (WANNIARACHCHI; TURAU, 2023). A exploração de diferentes bandas de frequência e novas interfaces aéreas é indicada para garantir a alta taxa de dados exigida pelas operações (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A competência exclusiva da União para regular e fiscalizar os aspectos técnicos das redes de telecomunicações deve ser observada, evitando condicionamentos locais conflitantes (Congresso Nacional, 2015).

O segundo eixo abrange a **redundância, resiliência e continuidade dos sistemas**. Recomenda-se a incorporação de mecanismos de redundância e resiliência nos sistemas de comunicação para mitigar riscos de falhas críticas, incluindo a instalação





de facilidades reservas e sistemas com elevados níveis de confiabilidade para evitar interrupções nos serviços de vigilância (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b). A utilização de sistemas de redundância baseados em comunicação via satélite é indicada para assegurar a operação em áreas sem cobertura terrestre (AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023). Deve-se prever a integração de sistemas de detecção e desvio (*Detect and Avoid*) que operem de forma autônoma em caso de perda momentânea de sinal de comando (ARYENDU et al., 2025).

O terceiro eixo trata da **identificação remota e vigilância do espaço aéreo**. Recomenda-se a implementação de sistemas de Identificação Remota Digital (RID) que permitam às autoridades de segurança pública e ao público em geral identificar aeronaves e seus operadores em tempo real (ARYENDU et al., 2025; Federal Aviation Administration (FAA), 2020b). As aeronaves devem compartilhar constantemente sua posição e receber dados de outros veículos por meio de conectividade digital, e interfaces de troca de dados devem permitir que órgãos governamentais e de segurança consultem informações sobre as operações ativas (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A integração de diferentes fontes de vigilância para que o controlador tenha uma visão unificada e precisa da posição das aeronaves é igualmente recomendada (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b). A manutenção de registros automáticos e gravadores para todas as comunicações orais e enlances de dados entre sistemas e prestadores de serviço constitui requisito adicional (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b).

O quarto eixo refere-se à **navegação em ambiente urbano e mitigação de sombras de sinal**. Estruturas urbanas elevadas podem bloquear sinais de satélites e de comunicação, exigindo planejamento para evitar áreas de “sombra de sinal” (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Recomenda-se o mapeamento de áreas de sombra de sinal GNSS (sistema global de navegação por satélite, como o GPS) e a identificação de “cânions urbanos” criados por grandes edifícios para o planejamento de rotas que garantam a precisão da navegação (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). O desenvolvimento de infraestrutura adicional de suporte à navegação por satélite é indicado para garantir a precisão necessária em cenários de alta demanda (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A implementação de redes de sensores terrestres para auxiliar na localização precisa de aeronaves em cânions urbanos onde o sinal de GPS possa sofrer obstruções complementa essas medidas (SINHA et al., 2024). A qualidade do sinal de GPS e das redes de telefonia celular deve ser considerada como critério na seleção de locais para a instalação de vertiportos (CITYAM Project Team, 2024).





O quinto eixo aborda a **proteção do espectro eletromagnético e gestão de interferências**. A regulação brasileira exige a proteção das superfícies limitadoras de obstáculos criadas para garantir a integridade dos sinais eletromagnéticos dos auxílios à navegação, e recomenda que edificações com grandes superfícies metálicas ou parques eólicos sejam submetidas a análise técnica para evitar interferências em sinais de radar e navegação (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020). A coordenação prévia obrigatória com os demais sistemas autorizados antes da entrada em operação de novas estações rádio base é requisito para evitar interferências prejudiciais, observando-se limites de potência e ganho de antena conforme normas da autoridade de telecomunicações (Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), 2024). Recomenda-se que as aeronaves utilizem antenas direcionais para minimizar o impacto de interferências geradas por dispositivos móveis no solo (DO et al., 2024). Planos de coordenação devem ser estabelecidos para evitar que sinais de redes Wi-Fi urbanas e outras radiofrequências causem interferências eletromagnéticas em equipamentos críticos de navegação aérea (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

O sexto eixo consolida recomendações sobre **segurança cibernética e proteção de dados**. Devem ser adotados protocolos de segurança cibernética rigorosos para proteger os links de comunicação contra interferências maliciosas, sequestro de dados ou acessos não autorizados, incluindo criptografia e autenticação de mensagens (ANSARI et al., 2021; Federal Aviation Administration (FAA), 2020b; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

O sétimo eixo trata da **interoperabilidade, gestão de tráfego e automação**. Recomenda-se a implementação de arquiteturas de rede abertas e modulares para facilitar a interoperabilidade entre aeronaves de diferentes fabricantes e órgãos reguladores (ARYENDU et al., 2025). A adoção de sistemas de gestão de informação que permitam a interoperabilidade em todo o sistema, substituindo intercâmbios de dados isolados, é indicada, e os Provedores de Serviço UAM (PSU) devem utilizar sistemas interoperáveis e sincronizados para permitir o compartilhamento seguro do mesmo espaço aéreo por diferentes operadoras (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O estabelecimento de links de comunicação direta entre aeronaves (V2V, veículo-a-veículo) é recomendado para permitir a coordenação mútua em áreas de alta densidade de tráfego (SINHA et al., 2024). O uso de inteligência artificial para a gestão dinâmica de recursos de rede, garantindo que os links de comando e controle tenham prioridade sobre o tráfego de dados comum, complementa esse conjunto de medidas (ANSARI et al., 2021). A aplicação de técnicas de reúso de frequência e distâncias mínimas de separação é indicada para maximizar a cobertura e a confiabilidade dos sinais de navegação (SAFWAT et al., 2024). Recomenda-se a inte-





gração de sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo e controle em terra por meio de redes de alta confiabilidade e baixa latência, essenciais para viabilizar operações com alto grau de automação (AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

Por fim, dois aspectos complementares merecem destaque. O primeiro refere-se à **integração de dados meteorológicos**: recomenda-se a implantação de sensores para monitoramento e transmissão em tempo real de condições meteorológicas nos locais de operação, a integração de redes de dados que permitam atualizações meteorológicas locais para ajustar modelos de voo autônomo, e o uso de inteligência artificial para integrar grandes volumes de dados atmosféricos e prever impactos nas trajetórias urbanas (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; ZENG et al., 2023). Deve-se incluir margens de segurança no balanço de sinal para compensar perdas causadas por condições meteorológicas adversas e velocidade das aeronaves (WHITWORTH; AL-RUBAYE; TSOURDOS, 2023). O segundo aspecto diz respeito à **transição para regras de voo digital**: recomenda-se a adoção progressiva de Regras de Voo Digital (DFR) para permitir que as aeronaves operem de forma segura em diversas condições de visibilidade, utilizando tecnologias de suporte para separação automática e aumentando a densidade de tráfego sem depender apenas da visão natural do piloto (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O uso de ferramentas de suporte à decisão (DST) georreferenciadas para integrar dados técnicos aeronáuticos às bases de dados de planejamento urbano municipal é igualmente indicado (CITYAM Project Team, 2024).

As diretrizes a seguir consolidam os requisitos e recomendações extraídos de todas as fontes analisadas para orientar gestores municipais no planejamento da infraestrutura digital necessária ao modal aéreo, garantindo a interoperabilidade entre sistemas, a proteção do espectro de frequências e a segurança das operações.





Tabela 3.14: Matriz de Diretrizes – Tecnologias de Suporte

Documento	Diretriz
(Congresso Nacional, 2015; WANNIARACHI; TURAU, 2023; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se que o planejamento urbano contemple a expansão das redes 5G/6G e a instalação de torres e antenas considerando as trajetórias de voo e a localização de vertiportos, integrando a infraestrutura de telecomunicações ao planejamento de urbanização municipal (Q01).
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b; AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; ARYENDU et al., 2025)	Recomenda-se que os requisitos municipais de redundância e fontes de energia auxiliares sejam revisados para incorporar não apenas facilidades reservas, mas também sistemas de comunicação via satélite e mecanismos de detecção e desvio autônomos, assegurando resiliência mesmo diante de falhas catastróficas da infraestrutura elétrica urbana (Q02).
(ARYENDU et al., 2025; Federal Aviation Administration (FAA), 2020b; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b)	Recomenda-se que o arcabouço regulatório local estabeleça interfaces de troca de dados padronizadas e interoperáveis, integrando múltiplas fontes de vigilância e garantindo registros automáticos de comunicações que permitam o monitoramento tempestivo de áreas restritas e a atuação eficaz em situações de segurança pública (Q03).
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; SINHA et al., 2024; CITYAM Project Team, 2024)	Recomenda-se que o município desenvolva e mantenha atualizado um mapeamento georreferenciado que identifique "canyons urbanos" e áreas de sombra de sinal GNSS, integrando esse instrumento como critério obrigatório para a seleção de locais de vertiportos e para o desenvolvimento de infraestrutura adicional de suporte à navegação, como redes de sensores terrestres (Q04).





Documento	Diretriz
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), 2024; CITYAM Project Team, 2024)	Deve-se proteger as superfícies limitadoras de obstáculos para integridade dos sinais de auxílios à navegação, submeter edificações com grandes superfícies metálicas a análise técnica e observar limites de potência conforme normas da autoridade de telecomunicações (Q05).
(ANSARI et al., 2021; Federal Aviation Administration (FAA), 2020b; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Devem ser adotados protocolos rigorosos de segurança cibernética, incluindo criptografia e autenticação de mensagens, para proteger os links de comunicação contra interferências maliciosas e acessos não autorizados (Q06).
(ARYENDU et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; SINHA et al., 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b)	Recomenda-se a implementação de arquiteturas de rede abertas e modulares, sistemas de gestão de informação interoperáveis, links de comunicação direta entre aeronaves e a integração de diferentes fontes de vigilância para uma visão unificada do espaço aéreo (Q07).
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; ZENG et al., 2023; WHITWORTH; AL-RUBAYE; TSOURDOS, 2023)	Recomenda-se a implantação de sensores meteorológicos com transmissão em tempo real nos locais de operação, a integração de redes de dados para ajuste de modelos de voo e a inclusão de margens de segurança no balanço de sinal para compensar condições adversas (Q08).
(AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; ANSARI et al., 2021; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; SAFWAT et al., 2024)	Recomenda-se que os critérios municipais de confiabilidade e latência mínima para redes de dados sejam alinhados aos parâmetros técnicos internacionais, integrando sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo e controle em terra, com adoção de inteligência artificial para gestão dinâmica de recursos e técnicas de reúso de frequência que garantam a estabilidade do link de dados em cenários de alta densidade de tráfego (Q09).





Documento	Diretriz
(Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), 2024; DO et al., 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; Congresso Nacional, 2015; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se que o município estabeleça um plano permanente e atualizável de coordenação com a autoridade aeronáutica nacional, submetendo novas estações rádio base a análise prévia obrigatória, promovendo o uso de antenas direcionais e definindo protocolos claros para resolução de conflitos, no estrito respeito à competência exclusiva da União na regulação de telecomunicações (Q10).
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se a adoção progressiva de Regras de Voo Digital para permitir operações seguras em diversas condições de visibilidade, utilizando tecnologias de suporte para separação automática e aumento da densidade de tráfego.
(CITYAM Project Team, 2024)	Sugere-se o uso de ferramentas de suporte à decisão georreferenciadas para integrar dados técnicos aeronáuticos às bases de dados de planejamento urbano municipal.

### 3.8 Uso de Solo

#### 3.8.1 Problemática

A integração da UAM no território municipal requer uma coordenação sistemática entre o planejamento urbano e os requisitos técnicos aeronáuticos, garantindo que a infraestrutura de solo — especificamente os vertiportos (locais destinados ao pouso e decolagem de aeronaves elétricas de decolagem vertical) — seja compatível com a organização da cidade (ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). Este processo fundamenta-se no macrozoneamento, que orienta o destino de cada unidade territorial, exigindo análises geoespaciais que identifiquem áreas de alta adequação com base na densidade populacional, conectividade multimodal e critérios de atratividade frente ao transporte terrestre tradicional (LEE; CHO, 2025; LIU et al., 2026; BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis, 2022; JIANG et al., 2024; YEDAVALLI; COHEN, 2022). A seleção de locais prioriza o reaproveitamento de estruturas subutilizadas, como heli-





pontos existentes, coberturas de edifícios e estacionamentos elevados, minimizando a necessidade de grandes intervenções civis e integrando-as como nós de um sistema de transporte tridimensional (LI, 2023; LIU et al., 2026; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021).

A segurança das operações é garantida pelo estabelecimento de Zonas de Proteção, que consistem em superfícies imaginárias no espaço aéreo que limitam a altura de edificações, instalações e outros objetos no entorno das bases (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; BRASIL, 1986). Para a nova realidade da mobilidade aérea, institui-se o Plano de Zona de Proteção de Vertiporto (PZPV), que delimita perímetros para que o gestor municipal e o operador acompanhem o crescimento urbano (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Diferente das zonas tradicionais de aeródromos, o PZPV de vertiportos oferece maior flexibilidade, permitindo que o administrador do local adeque as trajetórias de voo aos obstáculos existentes, embora o município deva atuar preventivamente para garantir a longevidade da operação (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Adicionalmente, a regulação impõe restrições em áreas de preservação ambiental, zonas militares e patrimônios culturais, além de exigir zonas de amortecimento (áreas de recuo) ao redor de locais sensíveis como escolas e hospitais para mitigar ruídos e outros impactos de vizinhança (LEE; CHO, 2025; LI, 2023; ZELINSKI, 2020; CITYAM Project Team, 2024).

A implementação efetiva do modal exige que as administrações municipais revisem seus Planos Diretores e Códigos de Edificação para incluir os vertiportos como categoria específica de uso do solo permitida, estabelecendo parâmetros claros para o licenciamento (ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; WU et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021). O município deve emitir declarações de ciência sobre as áreas impactadas por limitações de altura e pode utilizar instrumentos jurídicos como o "direito de laje" ou acordos de vizinhança para assegurar a desobstrução de corredores aéreos (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O descumprimento das normas de proteção autoriza a autoridade aeronáutica a embargar obras em desacordo com os planos, sem direito a indenização para o infrator (BRASIL, 1986). Em casos de novos empreendimentos urbanos de grande relevância social ou interesse público que conflitem com as trajetórias de voo, o Comando da Aeronáutica realiza estudos técnicos para avaliar se o prejuízo operacional é aceitável mediante medidas mitigadoras, como sinalização luminosa ou alteração de rotas (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024c).





O monitoramento e a gestão de riscos são atividades contínuas que demandam cooperação entre o município e os operadores das bases aéreas. O operador tem a obrigação de realizar levantamentos periódicos e informar à prefeitura sobre o surgimento de novos obstáculos, naturais ou artificiais, que possam comprometer a segurança (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O planejamento estratégico municipal também deve definir áreas críticas onde o sobrevoo ou o pouso de emergência é restrito ou proibido, como usinas, prisões e áreas de segurança pública (CITYAM Project Team, 2024). Por fim, a governança conjunta entre órgãos municipais, autoridades aeronáuticas e municípios vizinhos é fundamental para assegurar que o desenvolvimento do novo modal ocorra sob princípios de equidade social, sustentabilidade e fluidez multimodal, integrando o espaço aéreo de forma harmoniosa ao tecido urbano (LEE; CHO, 2025; STRAUBINGER; VERHOEF; GROOT, 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; CITYAM Project Team, 2024).





TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
<b>Uso de Solo</b>	<b>Q01</b> – De que maneira o Plano Diretor e a Lei de Uso e Ocupação do Solo podem ser adaptados para reconhecer os vertiportos como infraestruturas permitidas?
	<b>Q02</b> – Como as superfícies de proteção de voo (PZPV) serão integradas para impedir a emissão de alvarás de construção acima da altura permitida?
	<b>Q03</b> – Quais são as áreas de exclusão identificadas no município (militares, ambientais ou históricas) onde a instalação de vertiportos é legalmente vedada?
	<b>Q04</b> – Foram estabelecidos critérios de zoneamento de ruído e zonas de amortecimento para proteger áreas sensíveis como escolas e hospitais da vizinhança operacional?
	<b>Q05</b> – Existe um fluxo administrativo estabelecido para consultar a autoridade aeronáutica quando novos empreendimentos de interesse público conflitam com as rotas de voo?
	<b>Q06</b> – Quais mecanismos de incentivo a prefeitura oferece para o reaproveitamento de infraestruturas existentes, como estacionamentos, visando a implantação de vertiporto?
	<b>Q07</b> – Como é realizada a fiscalização conjunta entre município e operador para identificar e remover obstáculos (árvores, construções ou antenas) que surjam nas zonas de proteção?
	<b>Q08</b> – Quais são as áreas críticas da cidade onde o pouso de emergência deve ser proibido por razões de segurança pública ou proteção de infraestruturas vitais?
	<b>Q09</b> – De que forma o planejamento municipal assegura que a distribuição dessas infraestruturas promova a equidade social, evitando a segregação de territórios?
	<b>Q10</b> – Existe articulação com municípios vizinhos para a gestão do uso do solo em áreas onde as zonas de proteção aérea ultrapassam os limites territoriais da cidade?

### 3.8.2 Diretrizes

O planejamento do uso do solo para a UAM constitui o alicerce para a integração segura dos vertiportos (pontos de pouso e decolagem para aeronaves elétricas de decolagem vertical) ao ambiente municipal. Este tema abrange desde a adequação legislativa dos planos diretores e leis de zoneamento até a gestão técnica de superfícies de proteção e zonas de exclusão, garantindo que a nova infraestrutura aérea não entre em conflito com o desenvolvimento urbano pré-existente, com o patrimônio histórico ou com a segurança da população (ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O foco reside na criação de uma governança compartilhada entre a prefeitura e os órgãos aeronáuticos, estabelecendo regras claras para





que o crescimento urbano conviva com as operações aéreas (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b; CITYAM Project Team, 2024).

A metodologia aplicada consistiu em uma revisão sistemática e exaustiva de três categorias de fontes: (i) literatura técnica e científica, filtrada pela string de busca *“(Urban Air Mobility” OR “UAM” OR “eVTOL” OR “Advanced Air Mobility” OR “AAM” OR “vertiport”) AND (“land use” OR “zoning” OR “urban planning” OR “land use planning” OR “spatial planning” OR “urban development” OR “master plan” OR “building regulations” OR “protection zone” OR “air corridor” OR “urban heritage”)*, com foco em otimização locacional, zonas de amortecimento e reaproveitamento de infraestruturas existentes; (ii) legislação federal e normas aeronáuticas brasileiras, orientada pela string *“Uso do Solo AND Plano Diretor AND Zona de Proteção AND Vertiporto”*; e (iii) documentos de conceito de operações de autoridades aeronáuticas nacionais e internacionais, orientados pela string *“Uso do Solo E Vertiportos E Planejamento Urbano”*.

Tabela 3.15: Documentos Analisados – Uso do Solo

Documento	Descrição
(JIANG et al., 2024)	Estudo sobre otimização da localização de vertiportos visando a eficiência da rede de transporte regional.
(JIN; MA, 2025)	Framework baseado em modelos de linguagem para seleção de locais integrando dados de transporte terrestre.
(LEE; CHO, 2025)	Metodologia geoespacial em três estágios abordando adequabilidade, regulação aeronáutica e alocação estratégica.
(LI, 2023)	Análise de cenários para reaproveitamento de infraestruturas sob restrições de zoneamento e zonas de amortecimento sensíveis.
(LIU et al., 2026)	Proposta de implantação de vertiportos integrada ao desenvolvimento orientado ao trânsito (TOD).
(ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025)	Guia de planejamento para gestores locais focando em zoneamento, segurança e engajamento comunitário.
(STRAUBINGER; VERHOEF; GROOT, 2021)	Análise econômica dos impactos do bem-estar e escolhas de localização em diferentes estruturas urbanas.
(WU et al., 2025)	Framework de otimização para implantação faseada de vertiportos com integração de dados reais de uso do solo.
(YEDAVALLI; COHEN, 2022)	Simulação de redes de vertiportos sob restrições de tamanho de parcela e categorias de zoneamento compatíveis.





Documento	Descrição
(ZELINSKI, 2020)	Análise operacional de topologia de superfície e restrições de obstáculos em ambiente urbano.
(BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis, 2022)	Guia técnico para a formulação de Planos Diretores municipais, abordando instrumentos urbanísticos, zoneamento e integração de grandes projetos de impacto ao território.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021)	Norma do Comando da Aeronáutica que estabelece os processos para análise de planos diretores aeroportuários e cadastramento de infraestruturas, definindo o papel das prefeituras.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020)	Instrução que dispõe sobre as restrições impostas pelos planos de zona de proteção a objetos projetados no espaço aéreo que podem afetar a segurança de voo.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024c)	Critérios para a análise técnica de efeitos adversos causados por objetos ou aeródromos na segurança e regularidade das operações aéreas.
(Congresso Nacional, 1979)	Lei Federal que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, definindo requisitos para loteamentos, desmembramentos e competências municipais.
(BRASIL, 1986)	Código Brasileiro de Aeronáutica, que define as zonas de proteção e a obrigatoriedade de compatibilização do uso do solo com as restrições aeronáuticas.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Concepção Operacional do DECEA para a Mobilidade Aérea Urbana no Brasil, introduzindo conceitos de vertiportos e gestão do espaço aéreo urbano.
(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Relatório sobre barreiras e diretrizes para a implementação da gestão técnica e operacional da mobilidade aérea urbana.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021)	Análise técnica da ANAC sobre a infraestrutura necessária para eVTOLs e os marcos regulatórios iniciais para vertiportos.





Documento	Descrição
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Panorama estratégico da ANAC sobre a Mobilidade Aérea Avançada, abordando desafios de infraestrutura, produção e regulação.
(CITYAM Project Team, 2024)	Guia metodológico europeu para o uso de ferramentas geoespaciais no planejamento municipal de locais para pouso e decolagem.

Um primeiro eixo diz respeito ao **zoneamento municipal e à tipificação do uso do solo**. Recomenda-se incluir a categoria de “vertiporto” como um uso do solo permitido nos códigos de obras e zoneamento municipal, limitando a implantação a parcelas com zoneamento compatível, como áreas comerciais, de escritórios ou industriais leves (ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; YEDAVALLI; COHEN, 2022). A legislação brasileira estabelece que o parcelamento do solo para fins urbanos só é admitido em zonas urbanas ou de expansão definidas por lei municipal (Congresso Nacional, 1979), e que as administrações públicas devem compatibilizar o zoneamento do uso do solo nas áreas vizinhas às infraestruturas aéreas com as restrições especiais vigentes (BRASIL, 1986). A literatura reforça a necessidade de aplicar filtros de triagem de uso do solo para definir a elegibilidade legal e física de parcelas para o desenvolvimento de infraestrutura aérea (JIN; MA, 2025), priorizando locais em áreas urbanas já consolidadas para preservar recursos naturais (WU et al., 2025). Documentos conceituais internacionais convergem ao recomendar que as comunidades locais controlem as áreas de expansão da mobilidade aérea por meio de leis de zoneamento específicas (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b). O Plano Diretor municipal deve, ainda, conceituar imóveis subutilizados ou não utilizados para aplicar a função social da propriedade em áreas dotadas de infraestrutura, incluindo o entorno de equipamentos de transporte (BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis, 2022). A adequação do zoneamento municipal às normativas específicas da autoridade aeronáutica é requisito para garantir a integração urbana e mitigar impactos (BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis, 2022; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020).

O segundo eixo abrange as **superfícies de proteção e a interface com o licenciamento urbano**. A regulação aeronáutica brasileira exige a incorporação das limitações impostas pelos planos de zona de proteção — como as Superfícies de Limitação de Obstáculos (OLS), que definem alturas máximas de edificações para garantir a segurança dos voos — no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do município (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020). A prefeitura deve emitir declaração de





ciência sobre os impactos dessas superfícies na restrição do uso do solo local, e qualquer construção ou ampliação dentro da área patrimonial de uma infraestrutura aérea deve ser submetida à análise da autoridade aeronáutica (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020). A literatura científica recomenda a integração dessas superfícies ao sistema de licenciamento urbano para evitar conflitos com o tráfego aéreo existente e o estabelecimento de zonas de proteção aérea e restrições de altitude de voo no planejamento local (LEE; CHO, 2025; LI, 2023). No âmbito dos vertiportos, recomenda-se integrar os Planos de Zona de Proteção de Vertiportos (PZPV) ao sistema de licenciamento urbano para monitorar e impedir edificações que ultrapassem a altura permitida, e que administradores de vertiportos coordenem preventivamente com as prefeituras o estabelecimento de processos rigorosos para novos empreendimentos no entorno (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A análise de novos objetos no solo deve considerar o impacto futuro de operações aéreas previsto em planos diretores infraestruturais (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024c). Recomenda-se, ainda, o uso de limites virtuais de espaço aéreo (*geofencing*, ou seja, cercas virtuais que restringem automaticamente o acesso de aeronaves) para proteger áreas urbanas sensíveis (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d).

O terceiro eixo trata das **zonas de exclusão e amortecimento**. A legislação federal proíbe o parcelamento do solo em terrenos onde as condições geológicas ou riscos de desastres não aconselhem a edificação, e exige a reserva de faixas não edificáveis ao longo de águas e infraestruturas de transporte (Congresso Nacional, 1979). O Código Brasileiro de Aeronáutica estabelece que as propriedades vizinhas a infraestruturas aéreas estão sujeitas a restrições quanto a edificações, instalações e culturas que possam embarçar operações aéreas (BRASIL, 1986). A literatura científica recomenda a criação de zonas de amortecimento (*buffers*) ao redor de áreas sensíveis, como escolas, hospitais e centros comunitários, para restringir a instalação de pontos de pouso (LI, 2023; ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025). Recomenda-se, igualmente, a exclusão mandatória de parcelas situadas em zonas de proteção militar, áreas de conservação ambiental e perímetros de patrimônio cultural (LEE; CHO, 2025; CITYAM Project Team, 2024). O mapeamento de áreas críticas da cidade onde o pouso de emergência deve ser proibido por razões de segurança ou proteção de infraestrutura vital complementa esse conjunto de restrições (CITYAM Project Team, 2024; ZELINSKI, 2020).

O quarto eixo refere-se ao **reaproveitamento de infraestruturas e estratégias de localização**. Recomenda-se o reaproveitamento de infraestruturas existentes — como pavimentos superiores de estacionamentos elevados, terraços de edifícios e esta-





ções de transporte público — para a instalação de vertiportos, otimizando o uso do solo em centros urbanos densos (LI, 2023; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). A co-localização de vertiportos em estações de metrô e terminais de ônibus existentes permite aproveitar redes de acessibilidade já estabelecidas, alinhando-se ao conceito de desenvolvimento orientado ao trânsito (TOD) (LIU et al., 2026). O uso de instrumentos como o “direito de laje” ou acordos contratuais é indicado para proteger superfícies essenciais à operação aérea urbana (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O adensamento populacional deve ser priorizado em áreas dotadas de infraestrutura consolidada, otimizando o uso da terra urbana (BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis, 2022).

O quinto eixo aborda a **fiscalização de obstáculos e gestão contínua**. Recomenda-se a fiscalização constante de objetos e atividades urbanas quanto à sua adequação aos planos de proteção aérea vigentes (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020). Sugere-se a implementação de fiscalização conjunta entre o município e os operadores aéreos para identificar e gerir obstáculos que surjam nas zonas de proteção operacional (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). A identificação e remoção ativa de obstruções — como árvores de grande porte ou antenas — que penetrem nas superfícies de aproximação e decolagem é indicada como prática contínua (ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025). Para obstáculos que ultrapassem superfícies regulamentares sem possibilidade de remoção, recomenda-se a adoção de medidas mitigadoras, como sinalização e iluminação, para garantir a segurança de voo (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024c). A administração municipal deve exigir a decisão final da autoridade aeronáutica para aprovação de projetos de novos objetos em áreas restritas (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020).

Por fim, dois aspectos complementares merecem destaque. O primeiro refere-se à **equidade territorial e impactos socioeconômicos**: recomenda-se a adoção de critérios socioeconômicos e análises multicritério no planejamento para garantir que a distribuição de vertiportos não segregue populações marginalizadas e promova a equidade territorial (LEE; CHO, 2025; CITYAM Project Team, 2024). As autoridades devem, ainda, monitorar a demanda por terra para infraestrutura aérea a fim de mitigar impactos negativos nos aluguéis e na acessibilidade habitacional local (STRAUBINGER; VERHOEF; GROOT, 2021). O segundo aspecto diz respeito à **articulação regional**: o sistema UAM ultrapassa fronteiras jurisdicionais, exigindo a harmonização regulatória e a supervisão de planejamento entre municípios vizinhos quando as zonas de proteção aérea ultrapasarem os limites territoriais da cidade (ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b).





As diretrizes a seguir consolidam os requisitos e recomendações extraídos de todas as fontes analisadas para orientar gestores municipais na gestão territorial do modal aéreo, compatibilizando o uso do solo urbano com a segurança operacional e o desenvolvimento sustentável.

Tabela 3.16: Matriz de Diretrizes – Uso do Solo

Documento	Diretriz
(ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; YEDAVALLI; COHEN, 2022; Congresso Nacional, 1979; BRASIL, 1986; BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis, 2022; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Recomenda-se incluir formalmente a categoria de vertiporto nos códigos de obras e zoneamento municipal, limitando a implantação a parcelas com uso compatível e compatibilizando o zoneamento do solo nas áreas vizinhas com as restrições aeronáuticas vigentes (Q01).
(LEE; CHO, 2025; LI, 2023; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024c; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Deve-se incorporar as Superfícies de Limitação de Obstáculos e os Planos de Zona de Proteção de Vertiportos ao sistema de licenciamento urbano, submetendo qualquer construção ou ampliação dentro de áreas patrimoniais à análise da autoridade aeronáutica (Q02).
(LEE; CHO, 2025; Congresso Nacional, 1979; BRASIL, 1986; CITYAM Project Team, 2024; WU et al., 2025)	Recomenda-se a exclusão mandatória de parcelas situadas em zonas de proteção militar, áreas de conservação ambiental, perímetros de patrimônio cultural e terrenos com condições geológicas adversas, priorizando locais em áreas urbanas já consolidadas (Q03).





Documento	Diretriz
(LI, 2023; ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Sugere-se a criação de zonas de amortecimento ao redor de áreas sensíveis, como escolas, hospitais e centros comunitários, estabelecendo critérios de zoneamento de ruído para proteger a vizinhança operacional dos vertiportos (Q04).
(ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis, 2022; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Deve-se considerar o engajamento precoce e a consulta mútua entre o município, operadores aéreos e a autoridade aeronáutica para aprovação de novos empreendimentos em áreas de proteção, integrando as restrições ao Plano Diretor (Q05).
(LI, 2023; LIU et al., 2026; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis, 2022; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se o reaproveitamento de infraestruturas existentes, como terraços, estacionamentos elevados e estações de transporte público, utilizando instrumentos como o direito de laje para viabilizar a instalação de vertiportos e aplicar a função social da propriedade (Q06).





Documento	Diretriz
(ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024c; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Recomenda-se a fiscalização constante e conjunta de obstáculos nas zonas de proteção operacional, incluindo a remoção ativa de obstruções e a adoção de medidas mitigadoras como sinalização e iluminação para objetos que ultrapassem superfícies regulamentares (Q07).
(ZELINSKI, 2020; Congresso Nacional, 1979; CITYAM Project Team, 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Deve-se considerar restrições espaciais para impedir que superfícies de aproximação sejam projetadas sobre infraestruturas vitais ou áreas de grande circulação, mapeando áreas críticas onde o pouso de emergência deve ser proibido e utilizando limites virtuais de espaço aéreo (Q08).
(LEE; CHO, 2025; STRAUBINGER; VERHOEF; GROOT, 2021; CITYAM Project Team, 2024; BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis, 2022)	Recomenda-se a adoção de critérios socioeconômicos e análises multicritério no planejamento para garantir que a distribuição de vertiportos promova a equidade territorial e não gere impactos negativos na acessibilidade habitacional local (Q09).
(ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025; BRASIL, 1986; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020b)	Deve-se considerar a articulação e harmonização regulatória com municípios vizinhos quando as zonas de proteção aérea ou o sistema de mobilidade ultrapassarem os limites territoriais da cidade (Q10).
(JIN; MA, 2025)	Recomenda-se a aplicação de filtros de triagem de uso do solo em ferramentas geoespaciais para definir a elegibilidade legal e física de parcelas para o desenvolvimento de infraestrutura aérea.

### 3.9 Viabilidade Econômica





### 3.9.1 *Problemática*

A implementação da AAM é estabelecida como um propulsor do desenvolvimento econômico sustentável e da descarbonização, permitindo a interligação eficiente de pessoas e a facilitação de transações comerciais em ambientes urbanos e regionais (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). A viabilidade econômica territorial desse novo modal requer a análise sistemática de dados espaciais e econômicos para orientar a tomada de decisão municipal, considerando que o mercado global projeta movimentações financeiras de grande monta para as próximas décadas (KO et al., 2026; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Para os gestores municipais, a identificação de usos rentáveis requer a descrição de atividades em ambientes operacionais específicos, destacando-se o transporte sob demanda entre pontos selecionados e os serviços agendados para aeroportos ou cidades próximas (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; COPPOLA; FABIIS; SILVESTRI, 2024; KIM; YEO; KWON, 2025).

Este processo estabelece a necessidade de caracterizar a demanda potencial por meio da definição de matrizes de origem e destino, identificando os deslocamentos prioritários dentro do território urbano (KO et al., 2026; CHAE et al., 2024). Metodologias de estimativa utilizam modelos fundamentados em indicadores como densidade populacional, concentração de postos de trabalho, Produto Interno Bruto (PIB) per capita e renda média domiciliar, que funcionam como atratores de demanda e indicadores de propensão ao uso (ASMER et al., 2024; LONG et al., 2023; GOYAL et al., 2021; CITYAM Project Team, 2024). Complementarmente, o planejamento requer o balanceamento entre a capacidade dos locais de operação (vertiportos) e a demanda estimada em janelas temporais específicas, incluindo projeções de movimentos para um horizonte de dez anos e a análise do mix de aeronaves previsto (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021).

O estabelecimento de estratégias de precificação requer a compreensão de uma estrutura de custos composta por componentes fixos e variáveis, incluindo gastos com energia, manutenção, tripulação e seguros (ADAMIDIS et al., 2025; GOYAL et al., 2021). Embora o consumo elétrico apresente custos reduzidos, a renovação periódica de baterias aeronáuticas — componentes especializados de alta potência — e a necessidade de altos volumes de fabricação para mitigar a curva de aprendizado industrial impactam significativamente a sustentabilidade financeira (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Estudos apontam uma lacuna entre a disposição a pagar dos usuários e as tarifas iniciais, o que sugere que os passageiros corporativos e de





alta renda constituirão o segmento de mercado primário no curto prazo (KIM; YEO; KWON, 2025; ADAMIDIS et al., 2025; CHAE et al., 2024; COPPOLA; FABIIS; SILVESTRI, 2024; VOLAKAKIS et al., 2025).

A regulação econômica nacional estabelece o regime de liberdade tarifária e de rotas, visando garantir o desenvolvimento sustentável do setor sem os engessamentos de outros modais de transporte de massa (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). O financiamento da infraestrutura pode ser viabilizado por meio de parcerias público-privadas (PPPs), recursos do Fundo Aeroviário e a possível expansão do uso da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (Cide) sobre combustíveis (KO et al., 2026; EHRHARDT; HORLACHER; STRAUBINGER, 2024; BRASIL, 2005; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). Adicionalmente, o planejamento territorial deve avaliar estratégias de captura de valor, como a valorização imobiliária no entorno das estações, e a aplicação de subsídios governamentais para incentivar a transição para este modal em rotas estratégicas visando benefícios ambientais (CITYAM Project Team, 2024; CHAE et al., 2024; KO et al., 2026).

O monitoramento da viabilidade requer sistemas de gestão de indicadores de desempenho para acompanhamento tático de atrasos e pontualidade, além do uso de dados de trajetórias terrestres para validar as projeções (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; CHAE et al., 2024; LONG et al., 2023). Gestores municipais devem atentar para o risco de que o crescimento de obstáculos urbanos (edificações) no entorno dos vertiportos reduza a capacidade operacional e a carga transportável, impactando a sustentabilidade financeira do empreendimento (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021). Nestes casos, a decisão deve ponderar o custo-benefício entre as restrições aéreas e o benefício econômico local, sempre fundamentada em transparência de dados para subsidiar o planejamento financeiro de todos os agentes do ecossistema (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; CITYAM Project Team, 2024).





TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
VEC	<b>Q01</b> – Quais metodologias e indicadores socioeconômicos (renda, densidade, PIB) serão utilizados para identificar os eixos de maior demanda no território municipal?
	<b>Q02</b> – Existe uma projeção de demanda de passageiros e cargas para os próximos dez anos que justifique os investimentos públicos e privados em infraestrutura?
	<b>Q03</b> – De que maneira o município planeja integrar o novo modal aos sistemas de transporte terrestre existentes para reduzir perdas de tempo no último trecho do deslocamento?
	<b>Q04</b> – Quais são as fontes de recursos e modelos de financiamento previstos (PPPs, fundos federais ou incentivos fiscais) para a construção dos vertiportos?
	<b>Q05</b> – Como será realizado o monitoramento contínuo do desempenho operacional (atrasos e pontualidade) frente às projeções econômicas iniciais?
	<b>Q06</b> – Qual a metodologia adotada para equilibrar a capacidade de atendimento dos locais de pouso com o crescimento estimado da frota aérea?
	<b>Q07</b> – Como o planejamento urbano municipal pretende capturar a valorização imobiliária gerada pela instalação de infraestruturas de mobilidade aérea?
	<b>Q08</b> – Quais são os critérios para a concessão de subsídios focados em benefícios ambientais ou na redução do congestionamento terrestre em rotas específicas?
	<b>Q09</b> – De que forma a liberdade tarifária dos operadores será harmonizada com o interesse público e a acessibilidade do serviço para diferentes segmentos da população?

### 3.9.2 Diretrizes

A Viabilidade Econômica no planejamento da Mobilidade Aérea Urbana (UAM) é o pilar que sustenta a implementação do modal, focando na análise de mercado, no comportamento do usuário e na estruturação financeira necessária para que os serviços sejam não apenas tecnologicamente possíveis, mas economicamente sustentáveis e acessíveis (GOYAL et al., 2021; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Para gestores municipais, este tema orienta a identificação de rotas estratégicas, a previsão do volume de viagens de passageiros e cargas ao longo dos anos, a definição de modelos de negócio e a estruturação de mecanismos de fomento — como incentivos fiscais e parcerias público-privadas — que transformem a inovação tecnológica em desenvolvimento econômico regional (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; CITYAM Project Team, 2024; EHRHARDT; HORLACHER; STRAUBINGER, 2024).





A metodologia aplicada consistiu em uma revisão sistemática e exaustiva de três categorias de fontes: (i) literatura técnica e científica, filtrada pela string de busca *“(Urban Air Mobility” OR “UAM” OR “eVTOL” OR “Advanced Air Mobility” OR “AAM”) AND (“market” OR “demand modeling” OR “origin-destination” OR “business model” OR “economic analysis” OR “willingness to pay” OR “market potential” OR “cost-benefit” OR “fiscal incentive” OR “economic feasibility” OR “demand forecast” OR “investment analysis”)*”, com foco em análise de demanda, disposição a pagar e modelos de simulação econômica; (ii) legislação federal e normas aeronáuticas brasileiras, orientada pela string *“Viabilidade Econômica E Mobilidade Aérea Urbana E Demandas E Incentivos”*; e (iii) documentos de conceito de operações de autoridades aeronáuticas e projetos internacionais, orientados pela string *“Viabilidade Econômica AND Mobilidade Aérea Urbana AND Gestão Municipal”*.

Tabela 3.17: Documentos Analisados – Viabilidade Econômica

Documento	Descrição
(ADAMIDIS et al., 2025)	Estudo sobre preferências de escolha de modo e considerações de preço para acesso a aeroportos via UAM.
(ASMER et al., 2024)	Metodologia centrada na cidade para estimar a demanda global por táxis aéreos urbanos.
(CHAE et al., 2024)	Análise de mercado e implicações políticas para UAM baseada em modelos de escolha discreta.
(COPPOLA; FABIIS; SILVESTRI, 2024)	Investigação comparativa da disposição a pagar entre serviços de transporte para aeroportos e táxis urbanos.
(EHRHARDT; HORN-LACHER; STRAUBINGER, 2024)	Estratégias de inovação e fatores de decisão para fabricantes e operadores em mercados de tecnologia emergente.
(GOYAL et al., 2021)	Análise de demanda e potencial de mercado para shuttles aeroportuários e táxis aéreos nos Estados Unidos.
(KIM; YEO; KWON, 2025)	Investigação dos determinantes da disposição a pagar por serviços de transporte aéreo para aeroportos.
(KO et al., 2026)	Estudo sobre a disposição do público em financiar a infraestrutura de UAM como um bem público.
(LONG et al., 2023)	Revisão sistemática sobre métodos qualitativos e quantitativos para análise de demanda em UAM.
(VOLAKAKIS et al., 2025)	Estrutura analítica para avaliação de demanda e integração de mobilidade aérea avançada em sistemas de transporte estaduais.





Documento	Descrição
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021)	Norma que estabelece processos administrativos e documentais para planos diretores e exploração de aeródromos civis.
(BRASIL, 2005)	Lei de criação da ANAC, dispendo sobre regimes tarifários e taxas de fiscalização.
(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Concepção Operacional do DECEA para a Mobilidade Aérea Urbana no Brasil, detalhando níveis de maturidade e escalabilidade operacional.
(BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025)	Projeto de Lei que propõe incentivos fiscais e a base legal para a introdução de aeronaves elétricas no Brasil.
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Panorama da ANAC sobre tecnologias viabilizadoras, desafios de custos operacionais e perspectivas de investimento para o setor de Mobilidade Aérea Avançada no Brasil.
(CITYAM Project Team, 2024)	Relatório europeu sobre ferramentas de suporte à decisão geoespacial, incluindo critérios socioeconômicos para escolha de locais de operação e análise de impacto financeiro.

Um primeiro eixo estruturante diz respeito à **estimativa de demanda e identificação de mercados prioritários**. Recomenda-se o uso de indicadores como o PIB *per capita*, a renda domiciliar mediana, a densidade populacional e o preço de aluguel de escritórios para modelar a demanda potencial de cada cidade e identificar áreas com maior potencial de uso do serviço aéreo (ASMER et al., 2024; CITYAM Project Team, 2024). A elaboração de estudos que apontem a distribuição geográfica dos fluxos de chegada e saída é indicada para identificar os eixos de maior demanda, e deve-se apresentar estudo indicando o movimento total mensal estimado de pousos e decolagens para cada ano em um horizonte de longo prazo (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021). A utilização de pesquisas de preferência declarada é recomendada para suprir a lacuna de dados históricos em novos mercados municipais (LONG et al., 2023). Deve-se focar na captação de usuários que atualmente utilizam táxis ou veículos privados, pois possuem maior propensão à adoção do serviço aéreo (KIM; YEO; KWON, 2025). Estratégias de implantação geograficamente diferenciadas, ajustando o investimento conforme a necessidade específica de cada região municipal, complementam esse planejamento (KO et al., 2026).





O segundo eixo abrange a **identificação de casos de uso e rotas prioritárias**. Recomenda-se priorizar o desenvolvimento de eixos entre distritos financeiros e aeroportos, pois apresentam maior sustentabilidade financeira no curto prazo (COPPOLA; FABIIS; SILVESTRI, 2024). Casos de uso rentáveis no curto prazo — como transporte para aeroportos ou transporte intercidades — são indicados para garantir o fluxo de caixa inicial do ecossistema (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). A integração do novo modal a plataformas de “Mobilidade como Serviço” (MaaS) é recomendada para facilitar a conectividade entre o transporte aéreo e terrestre, e o planejamento deve integrar o modal aos nós de transporte terrestre existentes para maximizar a eficiência temporal e o retorno econômico do sistema (CHAE et al., 2024; CITYAM Project Team, 2024). A escalabilidade das operações deve ser considerada como fator essencial para a redução progressiva dos custos operacionais (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). Deve-se adotar metodologias de simulação, como o método de Monte Carlo, para projetar a viabilidade econômica sob diferentes cenários de custo e restrições de infraestrutura (GOYAL et al., 2021).

O terceiro eixo trata dos **mecanismos de financiamento, incentivos e parcerias**. Recomenda-se a estruturação de parcerias e ecossistemas industriais para reduzir os riscos financeiros de fabricantes e operadores (EHRHARDT; HORLACHER; STRAUBINGER, 2024). A infraestrutura de mobilidade aérea pode ser considerada um bem quase-público, justificando modelos de cofinanciamento que garantam benefícios sociais amplos (KO et al., 2026). Deve-se estruturar planos que prevejam as necessidades de investimento e modelos de financiamento para atrair diferentes partes interessadas para o setor (CITYAM Project Team, 2024). A concessão de subsídios governamentais focados na redução de emissões e no alívio do congestionamento é indicada para tornar o serviço acessível (CHAE et al., 2024). Recomenda-se a utilização de recursos oriundos de contribuições de intervenção no domínio econômico sobre combustíveis para financiar a infraestrutura, e deve-se priorizar a concessão de incentivos para soluções de mobilidade que comprovem a redução de custos de logística e transporte urbano (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). A avaliação de modelos de captura de valorização imobiliária gerada pela instalação de pontos de pouso e decolagem em áreas urbanas é igualmente sugerida, bem como a definição de critérios claros para a compensação financeira ao município pelo uso de terrenos ou espaços públicos destinados à operação aérea (CITYAM Project Team, 2024).

O quarto eixo refere-se ao **monitoramento operacional e sustentabilidade financeira contínua**. Recomenda-se o monitoramento contínuo da pontualidade e dos atrasos operacionais por meio de sistemas de indicadores para validar as projeções de eficiência (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O equilíbrio entre o crescimento da frota aérea e a capacidade operacional dos pontos





de pouso é indicado para evitar atrasos que degradem o valor econômico do serviço, aplicando-se metodologias de balanceamento entre a capacidade dos locais de pouso e o crescimento estimado da frota (GOYAL et al., 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d). O monitoramento contínuo da economia do serviço frente a variações no tempo de acesso terrestre ao vertiporto é igualmente recomendado (VOLAKAKIS et al., 2025). O município deve monitorar os prazos de certificação e implementação de infraestrutura, visto que atrasos regulatórios impactam diretamente a viabilidade econômica das operadoras (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). Deve-se avaliar o impacto financeiro de possíveis restrições de voo ou criação de obstáculos urbanos que possam limitar a sustentabilidade econômica das rotas operadas (CITYAM Project Team, 2024).

Por fim, dois aspectos complementares merecem destaque. O primeiro refere-se à **política tarifária e acessibilidade**: a disposição a pagar dos potenciais usuários pode ser inferior aos custos operacionais previstos inicialmente, o que exige cautela na definição de tarifas (ADAMIDIS et al., 2025). Recomenda-se que o planejamento municipal identifique os limites de custo onde o modal se torna viável para o público em geral, evitando que seja um serviço restrito a nichos (VOLAKAKIS et al., 2025). A realização de campanhas de promoção para aumentar a consciência pública sobre o modal é indicada como fator que impacta diretamente na disposição a pagar dos cidadãos (KIM; YEO; KWON, 2025). Sugere-se que a viabilidade econômica considere aeronaves que permitam a otimização da ocupação de assentos para democratizar o acesso (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025). O regime de liberdade tarifária para a exploração da infraestrutura deve ser considerado conforme as diretrizes da autoridade de aviação civil (BRASIL, 2005). O segundo aspecto diz respeito aos **custos operacionais estruturais**: deve-se considerar o impacto dos custos de renovação de baterias e de pessoal qualificado no planejamento financeiro operacional, bem como a curva de aprendizado na produção industrial das aeronaves ao analisar propostas de custos de aquisição e operação (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a). A necessidade de alta potência para carregamento rápido pode exigir investimentos substanciais na rede elétrica local, aspecto que deve ser integrado à análise de viabilidade (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a).

As diretrizes a seguir consolidam os requisitos e recomendações extraídos de todas as fontes analisadas para orientar a administração municipal na estruturação econômica do modal aéreo, equilibrando atratividade para investidores privados com o interesse público e a integração ao sistema de transporte local.





Tabela 3.18: Matriz de Diretrizes – Viabilidade Econômica

Documento	Diretriz
(ASMER et al., 2024; CITYAM Project Team, 2024; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; LONG et al., 2023; KIM; YEO; KWON, 2025; KO et al., 2026)	Recomenda-se que a modelagem da demanda potencial para UAM utilize não apenas indicadores socioeconômicos tradicionais (renda, densidade, PIB), mas também pesquisas de preferência declarada que capturem a disposição a pagar e os padrões de deslocamento efetivos da população, permitindo estratégias de implantação geograficamente diferenciadas conforme as necessidades específicas de cada região municipal (Q01).
(COPPOLA; FABIIS; SILVESTRI, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a; GOYAL et al., 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d)	Deve-se avaliar as projeções de demanda para os próximos dez anos, visando que sejam baseadas em metodologias de simulação multicenários que considerem diferentes trajetórias de custo operacional, elasticidade-preço da demanda e a escalabilidade progressiva das operações, priorizando no curto prazo eixos de alta densidade (como distritos financeiros e aeroportos) que apresentem maior probabilidade de viabilidade econômica imediata (Q02).
(CHAE et al., 2024; CITYAM Project Team, 2024)	Recomenda-se que o município avalie a integração física e tarifária dos vertiportos aos nós de transporte terrestre existentes, bem como a inclusão do novo modal em plataformas unificadas de Mobilidade como Serviço, assegurando que os ganhos de velocidade no trecho aéreo não sejam anulados por perdas no último trecho do deslocamento (Q03).
(EHRHARDT; HORLACHER; STRAUBINGER, 2024; KO et al., 2026; CITYAM Project Team, 2024; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025)	Recomenda-se que o município estruture modelos de parcerias público-privadas que equilibrem o retorno ao investidor com a contrapartida social, explorando fontes alternativas como fundos federais, incentivos fiscais e a destinação de parcela das contribuições sobre combustíveis para financiar a infraestrutura de pouso e apoio (Q04).





Documento	Diretriz
(GOYAL et al., 2021; VOLAKAKIS et al., 2025; Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024d; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Recomenda-se que o município estabeleça um programa integrado e contínuo de monitoramento que relacione indicadores de pontualidade operacional, variação nos tempos de acesso terrestre e economia real de tempo aos usuários com as projeções de crescimento da frota e da demanda. Esse programa deve alimentar metodologias de planejamento dinâmico que vinculem a expansão da capacidade dos vertiportos às projeções realistas de aumento da frota, considerando os prazos de certificação de aeronaves, a curva de aprendizado industrial e a necessidade de equilibrar a oferta de slots com a demanda efetiva por pousos e decolagens, permitindo ajustes na operação e no planejamento de expansão do modal (Q05, Q06).
(CITYAM Project Team, 2024)	Sugere-se a avaliação e implementação de mecanismos efetivos de captura dessa valorização, tais como outorga onerosa do direito de construir, contribuições de melhoria ou contrapartidas urbanísticas, assegurando que parte dos ganhos imobiliários privados seja revertida ao poder público para financiar novas infraestruturas ou compensar impactos urbanísticos (Q07).
(CHAE et al., 2024; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025)	Recomenda-se que o município estabeleça critérios claros e mensuráveis para sua concessão, vinculando-os a benefícios ambientais comprovados (redução de emissões) ou à efetiva mitigação de congestionamentos terrestres em corredores viários críticos, priorizando rotas onde o modal aéreo demonstre superioridade em termos de custo-benefício socioambiental (Q08).
(ADAMIDIS et al., 2025; KIM; YEO; KWON, 2025; VOLAKAKIS et al., 2025; BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025; BRASIL, 2005)	Recomenda-se a avaliação de mecanismos de regulação tarifária equilibrada, identificando os limites de custo além dos quais o modal se torna inacessível para parcela significativa da população, e promova instrumentos de democratização do acesso, como campanhas de conscientização, otimização da ocupação de assentos e eventuais subsídios cruzados para segmentos de menor renda (Q9).





Documento	Diretriz
(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023a)	Deve-se considerar o impacto dos custos de renovação de baterias, de pessoal qualificado e de infraestrutura energética de alta potência no planejamento financeiro operacional, bem como a curva de aprendizado na produção industrial das aeronaves.





## 4 Matriz de Diretrizes para Implementação de UAM

Este capítulo apresenta as matrizes de diretrizes para cada área temática, divididos por:

1. Tema
2. Problemática central
3. Bases normativas
4. Diretrizes
5. Fatores PESTEL
6. Interseção

A avaliação dos fatores PESTEL segue a metodologia apresenta no Produto I, já a interseção indica ao leitor as lacunas identificadas na análise e como o Brasil conversa com outros países no âmbito de UAM.

As matrizes foram construídas a partir de um corpus documental composto por **30 instrumentos normativos brasileiros únicos** (leis ordinárias, normas da ANAC/DECEA e resoluções do CONAMA), **46 artigos científicos revisados por pares** e **8 documentos estratégicos internacionais** (ConOps da NASA, FAA e EASA/U-Space)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Contagem de documentos únicos. Normas e artigos citados em mais de um eixo temático são contados uma única vez no total do corpus;



## 4.1 Governança e Regulação Urbana

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
A necessidade de coordenar o ordenamento territorial local (Plano Diretor, Código de Obras, Zoneamento) com as estritas exigências técnicas federais de aviação. O desafio para o gestor é viabilizar a infraestrutura e as rotas de voo de forma segura e sustentável, harmonizando competências, gerindo impactos no entorno e garantindo a participação social e a criação de ambientes de inovação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lei nº 11.182</li> <li>• Lei nº 12.725</li> <li>• Lei nº 13.116</li> <li>• PL nº 743</li> <li>• ICA 11-3 (DECEA)</li> <li>• ICA 11-408 (DECEA)</li> <li>• PCA 351-7 (DECEA)</li> <li>• Resolução ANAC nº 775</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelecer eixos de comunicação com ANAC e DECEA</li> <li>• Incorporar planos de zona de proteção ao Plano Diretor Municipal</li> <li>• Exigir e coordenar Estudos de Impacto de Vizinhança (EIV)</li> <li>• Cooperar com Ambientes Regulatórios Experimentais (<i>sandboxes</i>)</li> <li>• Fiscalizar novos obstáculos e regular servidões aeronáuticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diaz et al. (2025)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar função/setor municipal transversal (transportes e urbanismo) exclusivo para UAM</li> <li>• Atualizar normativas de desenho urbano para infraestruturas aéreas</li> <li>• Estruturar PPPs para provisão da infraestrutura terrestre</li> <li>• Explorar o espaço aéreo como fonte de receita pública</li> <li>• Integrar segurança pública às regras de tráfego aéreo urbano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASA AAM Research Strategy (2020)</li> <li>• UAM Passenger-carrying ConOps (2020)</li> <li>• ConOps CITYAM</li> <li>• ANAC (Panorama, 2023)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelecer parcerias sistêmicas entre governos locais e indústria</li> <li>• Implementar interfaces digitais de troca de dados com o sistema UAM</li> <li>• Utilizar ferramentas de suporte à decisão transparentes para escolha de locais</li> <li>• Estabelecer fóruns com líderes comunitários para educar a população</li> <li>• Cobrar compensação financeira por uso de lajes/terrenos públicos</li> </ul>

Tabela 4.1 – Continuação

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Inter-nacional	Diretrizes Internacionais
<p><b>Fator PESTEL Predominante: Político</b> — É a base regulatória e institucional do ecossistema. Envolve a atuação da ANAC e do DECEA como órgãos autônomos, o uso de mecanismos como <i>sandboxes</i> regulatórios para testar inovações e a vital coordenação entre esferas federativas. <i>(Nota complementar: o fator Legal atua em profunda sinergia com o fator político nesta dimensão, garantindo a adequação jurídica dos instrumentos urbanísticos municipais, como o Plano Diretor, em consonância com as normas federais do espaço aéreo).</i></p>						
<p><b>Interseção (Insights para o Gestor Municipal):</b> A base normativa brasileira (ICAs, PCA e regulamentações da ANAC) constrói um arcabouço sólido e reativo, focado primariamente na gestão de restrições de espaço aéreo, zonas de proteção e licenciamento de obstáculos. No entanto, a literatura científica e os <i>ConOps</i> internacionais demonstram que a governança urbana não pode ser apenas passiva perante a regulação aeronáutica. O município é convocado a assumir um papel de protagonismo, centralizando as demandas por meio de um setor de mobilidade aérea específico e estruturando PPPs. Enquanto a norma brasileira garante a segurança de voo, as diretrizes internacionais apontam para o futuro da gestão pública: adoção de interfaces digitais em tempo real, monetização do espaço aéreo municipal, uso estratégico de áreas públicas e, de forma crucial, a implementação de fóruns e <i>workshops</i> que tragam transparência radical ao processo. O gestor municipal deve traduzir a segurança normativa em engajamento cidadão e inovação administrativa, garantindo assim a verdadeira "licença social" para a operação da UAM.</p>						

## 4.2 Infraestrutura Física

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
<p>A infraestrutura para a UAM exige o planejamento, dimensionamento e integração de instalações físicas (vertiportos e vertistops) e rotas virtuais seguras no ambiente urbano. O desafio central para os gestores é viabilizar o pouso, decolagem e processamento de passageiros, garantindo a intermodalidade e adequando as novas estruturas aos Planos Diretores da cidade sem comprometer a logística e segurança já existentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PL 743</li> <li>• RBAC 155</li> <li>• PCA 351-7</li> <li>• Alerta ANAC nº 001/2023</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionamento da FATO e TLOF conforme a maior aeronave prevista</li> <li>• Elaboração de Plano de Emergência (PLEM-H) e combate a incêndios para baterias</li> <li>• Instalação de auxílios visuais, iluminação noturna e redes de proteção</li> <li>• Separação de áreas seguras para armazenagem e recarga de baterias</li> <li>• Previsão de estruturas modulares pré-fabricadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahn (2022)</li> <li>• Brunelli (2023)</li> <li>•</li> <li>• Escribano-Macías (2023)</li> <li>• Jiang (2025)</li> <li>• Rimjha (2021)</li> <li>• Song (2022)</li> <li>• Yan (2024)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Priorização de localização em centros de conexão de transporte existentes</li> <li>• Estabelecimento de distâncias mínimas de segurança entre vertiportos</li> <li>• Adoção de modelos de simulação para capacidade e implantação em fases</li> <li>• Uso de layouts otimizados (tipo pier ou satélite)</li> <li>• Algoritmos de reposicionamento de aeronaves vazias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FAA ConOps v1.0 (2020)</li> <li>• NASA AAM Research Strategy (2020)</li> <li>• ANAC (Vertiportos, 2021)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornecimento de dados em tempo real sobre a disponibilidade de pátios e recursos</li> <li>• Criação de volumes de espaço aéreo específicos com pontos de espera em voo</li> <li>• Adoção de controle de aproximação flexível e canais de comunicação digitais</li> </ul>

Tabela 4.2 – Continuação

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Inter-nacional	Diretrizes Internacionais
<p><b>Fator PESTEL Predominante: Tecnológico</b> — É o sistema nervoso da operação. Abrange as tecnologias de comunicação, navegação e vigilância (CNS/ATM, 5G, U-space), a infraestrutura física dos vertiportos e sua demanda elétrica, e o uso de gêmeos digitais para o planejamento tridimensional do espaço aéreo urbano. <i>(Nota complementar de interface: o fator <b>Legal</b> também é crítico nesta etapa, pois estabelece as exigências técnicas e normativas da autoridade aeronáutica (ANAC/DECEA) sobre o dimensionamento, certificação e segurança operacional das áreas de pouso).</i></p>						
<p><b>Interseção (Insights para o Gestor Municipal):</b> A base normativa brasileira atual (como o RBAC 155 e os alertas da ANAC) fornece aos gestores o arcabouço rigoroso para garantir a segurança física, exigindo dimensionamento estrito das áreas de pouso (FATO/TLOF), planos de emergência e zonas de contenção de riscos elétricos (baterias). No entanto, enquanto a regulação foca predominantemente na aprovação e certificação estática das estruturas, a literatura científica e internacional demonstra a necessidade de uma gestão intermodal e dinâmica. A ciência sugere ao município ir além da obra civil, utilizando modelos de simulação de tráfego para dimensionar a capacidade, planejar a infraestrutura em fases e adotar algoritmos de reposicionamento para evitar congestionamentos. Além disso, recomenda-se fortemente a integração física a estações de transporte preexistentes e a adoção de canais digitais para o fornecimento de dados em tempo real sobre a disponibilidade da infraestrutura. Para o gestor, o sucesso da implantação da UAM reside em harmonizar as exigências aeronáuticas com um planejamento logístico urbano inteligente e modular.</p>						

### 4.3 Infraestrutura Energética

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
<p>A infraestrutura energética para a UAM exige o dimensionamento de redes elétricas capazes de suportar estações de carregamento de alta potência para eVTOLs. O desafio central para os gestores é integrar essa nova e intermitente demanda à rede existente sem comprometer o fornecimento local, promovendo a integração de fontes renováveis, sistemas de armazenamento, gestão inteligente de carga e garantindo a estrita segurança operacional e o licenciamento ambiental adequado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lei nº 12.651</li> <li>• Lei nº 15.190</li> <li>• PCA 351-7 (DECEA)</li> <li>• RBAC 135 (ANAC)</li> <li>• Alerta ANAC nº 001/2023</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprovação de estações observando as dispensas de licenciamento ambiental para distribuição urbana</li> <li>• Instalação de fontes redundantes com desconexão imediata em emergências</li> <li>• Exigência de sistemas de combate a incêndio específicos para baterias</li> <li>• Gestão de pontos de pouso alternativos em rotas</li> <li>• Respeito a faixas de preservação em reservatórios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Andrenacci (2016, 2020)</li> <li>• Chiodo (2019)</li> <li>• Kim (2016)</li> <li>• Liu (2021)</li> <li>• Zhao (2025)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionamento da infraestrutura embasado em modelos estatísticos de demanda</li> <li>• Adoção de micro-redes DC e armazenamento local (<i>buffers</i>)</li> <li>• Uso de <i>smart charging</i> e esquemas tarifários por horário para mitigar picos</li> <li>• Aplicação de gestão térmica em recargas ultra-rápidas</li> <li>• Integração de fontes de energia renováveis locais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FAA Conops Vertiport Electrical Study (2023)</li> <li>• NASA Technical Management (2020)</li> <li>• ANAC (Vertipor-tos, 2021)</li> <li>• ANAC (Panorama, 2023)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Articulação de parcerias com concessionárias para estudos prévios de impacto na carga</li> <li>• Uso de ferramentas de modelagem e simulação para a rede elétrica</li> <li>• Adoção de <i>checklists</i> de planejamento integrando concessionária e município</li> <li>• Implementação de rígidos protocolos de segurança cibernética</li> </ul>

Tabela 4.3 – Continuação

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Inter-nacional	Diretrizes Internacionais
<p><b>Fator PESTEL Predominante: Tecnológico</b> — É o sistema nervoso da operação. Abrange as tecnologias de comunicação, navegação e vigilância (CNS/ATM, 5G, U-space), a infraestrutura física dos vertiportos e <b>sua demanda elétrica expressiva</b>, além de envolver soluções como baterias de alta densidade e <i>smart charging</i>. <i>(Nota complementar: os fatores Ambiental e Legal também são críticos nesta etapa, pois englobam o licenciamento da infraestrutura de distribuição, a gestão sustentável da matriz energética urbana e o uso do solo em áreas de preservação).</i></p>						
<p><b>Interseção:</b> A base normativa brasileira (como o RBAC 135 e os alertas da ANAC) e as leis federais fornecem um arcabouço focado na mitigação de riscos imediatos, exigindo rigor em sistemas contra incêndio de baterias, redundância elétrica e estabelecendo as regras de licenciamento ambiental. Contudo, a literatura científica e as diretrizes internacionais demonstram que a gestão energética deve ir além da segurança física estática. Elas sugerem ao município uma postura proativa, liderando a articulação com concessionárias de energia para realizar estudos de impacto de carga e implementar soluções descentralizadas — como micro-redes, armazenamento local (<i>buffers</i>) e integração de geração solar. Além disso, a ciência destaca a necessidade de tarifação inteligente (<i>smart charging</i>) para evitar sobrecargas nos horários de pico convencionais e recomenda protocolos de cibersegurança para as redes de carregamento. Para o gestor, o sucesso na implementação da UAM dependerá da capacidade de harmonizar as proteções regulatórias com uma infraestrutura elétrica urbana inteligente, resiliente e sustentável.</p>						

## 4.4 Integração Urbano-Social

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
A aceitação pública e a construção da “licença social” são fundamentais para a UAM. O desafio é garantir que o sistema seja equitativo, transparente, universalmente acessível e integrado ao ecossistema de transporte existente, evitando a segregação socioespacial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L10257 (Estatuto da Cidade)</li> <li>• L12587 (Mobilidade Urbana)</li> <li>• PCA 351-7</li> <li>• PL 743</li> <li>• RBAC 135</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promoção de acessibilidade e desenho universal</li> <li>• Gestão democrática via consultas públicas</li> <li>• Equidade social na alocação de infraestrutura</li> <li>• Implantação gradual em locais de baixo tráfego</li> <li>• Uso inicial para serviços de interesse coletivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bhaduri et al. (2026)</li> <li>• Jin et al. (2025)</li> <li>• Pinto Neto et al. (2025)</li> <li>• Sunitiyoso et al. (2025)</li> <li>• Tuchen et al. (2020)</li> <li>• Yoo et al. (2022)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integração de apps multimodais (ponta a ponta)</li> <li>• Monitoramento contínuo da opinião pública</li> <li>• Comunicação ativa de benefícios ambientais</li> <li>• Processos de embarque simplificados e AVSEC fluido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASA AAM Research Strategy (2020)</li> <li>• ConOps CITYAM</li> <li>• ANAC (Panorama e Vertiportos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejamento comunicativo com engajamento de stakeholders</li> <li>• Transparência via ferramentas geoespaciais</li> <li>• Adoção de rotas que evitem áreas residenciais densas</li> </ul>
<p><b>Fator PESTEL (Social):</b> Representa a construção da “licença social para operar”. Compreende a necessidade de garantir a aceitação pública, assegurar a equidade de acesso para evitar que a UAM se torne um serviço elitizado, e manter uma comunicação transparente sobre segurança e benefícios operacionais para solidificar a confiança da população na nova tecnologia.</p>						
<p><b>Interseção:</b> Enquanto a legislação brasileira fornece o alicerce jurídico para o transporte como direito e a exigência de gestão democrática (Estatuto da Cidade e PNMU), a literatura científica e internacional destaca que a “licença social” só será alcançada na prática através de transparência ativa e integração física/digital. O gestor municipal deve aliar a norma a ferramentas tecnológicas (apps multimodais, plataformas geoespaciais acessíveis) e ao monitoramento contínuo da percepção da comunidade, garantindo que a UAM funcione como um complemento inclusivo ao transporte público, priorizando, inicialmente, serviços de interesse coletivo para legitimar o modal perante a sociedade.</p>						

## 4.5 Meio Ambiente e Sustentabilidade

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
<p>A integração de vertiportos e rotas aéreas aos ecossistemas urbanos exige a mitigação de impactos climáticos, gestão do risco de colisões com aves, controle de emissões e monitoramento meteorológico preciso. O desafio do gestor é garantir a viabilidade ambiental da infraestrutura, protegendo a biodiversidade e assegurando que a nova demanda seja atendida por matrizes limpas, em conformidade com o licenciamento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lei nº 12.651 (C. Florestal)</li> <li>• Lei nº 12.725 (Fauna/ASA)</li> <li>• Lei nº 15.190 (Licenciamento)</li> <li>• Res. CONAMA 001 e 237</li> <li>• ICA 11-3 (DECEA)</li> <li>• PCA 351-7 (DECEA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exigir e avaliar EIA/RIMA para infraestruturas de UAM</li> <li>• Fiscalizar e impedir atividades atrativas de fauna na ASA</li> <li>• Adaptar e adotar licença urbanística e ambiental integrada</li> <li>• Priorizar prevenção e mitigação de impactos ambientais negativos</li> <li>• Exigir Plano de Manejo da Fauna em processos de licenciamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liang et al. (2025)</li> <li>• Reiche et al. (2021)</li> <li>• Sabziyan et al. (2024, 2025)</li> <li>• Vashi et al. (2024)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Priorizar propulsão limpa considerando a intensidade de carbono da rede elétrica</li> <li>• Exigir rastreabilidade e reciclagem no ciclo de vida de baterias</li> <li>• Instalar sensores meteorológicos urbanos de alta precisão (microclimas)</li> <li>• Mapear rotas de aves e aplicar atrasos estratégicos para evitar colisões</li> <li>• Incentivar o <i>ridesharing</i> para reduzir emissões por passageiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FAA UTM ConOps v2 (2020)</li> <li>• NASA Technical Management (2020)</li> <li>• ConOps CITYAM</li> <li>• ANAC Panorama (2023)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar ferramentas geoespaciais e IA para licenciamento e escolha de locais</li> <li>• Restringir pousos e rotas sobre zonas de nidificação e vida selvagem</li> <li>• Integrar previsão meteorológica contínua para protocolos de <i>go/no-go</i></li> <li>• Promover a gestão passiva de habitats e compartilhamento de dados</li> <li>• Considerar obstáculos dinâmicos e topografia urbana na análise climática</li> </ul>

Tabela 4.5 – Continuação

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Inter-nacional	Diretrizes Internacionais
<p><b>Fator PESTEL Predominante: Ambiental</b> — Define a sustentabilidade real da UAM. Envolve a pegada de carbono (condicionada à matriz energética), a gestão de impactos como ruído e intrusão visual, as interferências no uso do solo urbano e biodiversidade local (risco aviário), além da estrita conformidade com o licenciamento ambiental brasileiro (EIA/RIMA) para a instalação de infraestruturas físicas.</p>						
<p><b>Interseção:</b> A base normativa brasileira (Leis Ambientais, CONAMA, Lei da ASA) já oferece um robusto mecanismo de defesa ecológica por meio do controle rigoroso de atratividade de fauna e obrigatoriedade de licenciamento prévio. Contudo, a ciência e os <i>ConOps</i> internacionais demonstram que a gestão moderna da UAM exige uma postura preditiva e tecnológica do município. Enquanto a norma garante os limites do impacto, as diretrizes internacionais sugerem que o gestor municipal invista na instalação de sensores meteorológicos de alta precisão em infraestruturas públicas, utilize radares aviários com IA para gestão do espaço aéreo e implemente ferramentas geoespaciais avançadas no momento de conceder licenças urbanísticas integradas. Ao invés de apenas fiscalizar o uso do solo de maneira reativa, o município deve liderar a exigência de matrizes energéticas limpas para as baterias dos vertiportos e mapear preventivamente as rotas ecológicas sensíveis, garantindo que a inovação tecnológica da UAM caminhe em conjunto com a resiliência climática das cidades.</p>						

## 4.6 Ruído Aeronáutico

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
A energia acústica dos eVTOLs (rotores/motores) impacta a saúde pública e o bem-estar. O desafio central é integrar operações ao tecido urbano minimizando o incômodo para garantir a aceitação social e compatibilizar o uso do solo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RBAC 161 (EMD 04)</li> <li>• IS 161</li> <li>• CEF RBAC 161</li> <li>• PCA 351-7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboração e divulgação de Planos de Zoneamento de Ruído (PZR)</li> <li>• Compatibilização municipal do uso do solo nas curvas de ruído</li> <li>• Criação de Comissões de Gerenciamento (CGRA)</li> <li>• Monitoramento contínuo (incluindo testes em solo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alabi et al. (2025)</li> <li>• Gao et al. (2023)</li> <li>• Jeong et al. (2021)</li> <li>• Torija et al. (2021)</li> <li>• Yunus et al. (2023)</li> <li>• Bian et al. (2021)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Métricas baseadas na percepção humana e psicoacústica (tonalidade)</li> <li>• Zonas de exclusão 3D ("terrenos acústicos virtuais")</li> <li>• Análise de ruído cumulativo (frota) vs. individual</li> <li>• Simulação de reflexão em fachadas urbanas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASA Tech. Mgmt (2020)</li> <li>• NASA AAM Strategy</li> <li>• U-Space Docs</li> <li>• Nota Téc. ANAC (2021)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotas de "prioridade de ruído" (áreas menos povoadas)</li> <li>• Operações com níveis próximos ao ruído ambiente</li> <li>• Ordenanças locais para controle de crescimento</li> </ul>
<p><b>Fatores PESTEL:</b> <b>Ambiental</b> (gestão do ruído via modelagem acústica, planejamento de rotas e impactos no uso do solo); <b>Social</b> (aceitação pública e licença social para operar, sendo o ruído a principal barreira para a UAM); e <b>Legal</b> (estrutura jurídica e cumprimento das normas da ANAC/DECEA para zoneamento de ruído).</p>						
<p><b>Interseção:</b> Enquanto a norma brasileira (RBAC 161) foca nos aspectos estruturantes (PZR, curvas de ruído e CGRA), a fronteira científica e internacional (NASA, Alabi 2025) exige que o gestor municipal vá além: deve-se adotar métricas de percepção subjetiva (não apenas dB), considerar o ruído cumulativo da frota (exposição populacional) e implementar "terrenos acústicos virtuais". A conformidade com a norma é o mínimo, mas a aceitação social dependerá de mitigações psicoacústicas e transparência de dados em tempo real.</p>						

## 4.7 Tecnologias de Suporte

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
A implementação segura da UAM exige um ecossistema digital robusto de Comunicação, Navegação e Vigilância (CNS). O desafio do gestor municipal é integrar essa malha tecnológica (redes 5G/6G, sensores) ao planejamento urbano, mitigando áreas de sombra de sinal, protegendo o espectro eletromagnético contra interferências de edificações e garantindo cibersegurança e redundância para suportar altos volumes de tráfego aéreo autônomo e elétrico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lei nº 13.116 (Lei das Antenas)</li> <li>• Ato Anatel nº 915</li> <li>• ICA 100-12 / 100-31</li> <li>• ICA 11-408</li> <li>• PCA 351-7 (DECEA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrar expansão de infraestrutura de telecom (torres/antenas) ao planejamento urbano</li> <li>• Proteger superfícies limitadoras contra interferências eletromagnéticas</li> <li>• Exigir coordenação prévia obrigatória para novas estações rádio base</li> <li>• Incorporar mecanismos de redundância nos sistemas de vigilância e comunicação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al-Rubaye et al. (2023)</li> <li>• Ansari et al. (2021)</li> <li>• Aryendu et al. (2025)</li> <li>• Sinha et al. (2024)</li> <li>• Wanniarachchi (2023)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapear cânions urbanos e áreas de sombra GNSS para seleção de vertiportos</li> <li>• Estabelecer redes de baixa latência (5G/6G) voltadas a trajetórias de voo</li> <li>• Implementar comunicação veículo-a-veículo (V2V) para coordenação de tráfego</li> <li>• Adotar IA para gestão dinâmica de recursos de rede e previsão meteorológica local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FAA UTM ConOps v2 (2020)</li> <li>• ConOps CITYAM</li> <li>• ANAC Panorama (2023)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exigir Identificação Remota Digital (RID) para acesso público e de segurança</li> <li>• Adotar rigorosos protocolos de cibersegurança (criptografia e autenticação)</li> <li>• Utilizar ferramentas de suporte à decisão (DST) georreferenciadas</li> <li>• Implementar arquiteturas de rede abertas e interoperáveis para provedores UAM</li> </ul>

Tabela 4.7 – Continuação

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Inter-nacional	Diretrizes Internacionais
<p><b>Fator PESTEL Predominante: Tecnológico</b> — É o sistema nervoso da operação. Abrange as tecnologias de comunicação, navegação e vigilância (CNS/ATM, 5G/6G, U-space), a infraestrutura digital dos vertiportos e a gestão de interferências eletromagnéticas, assegurando interoperabilidade, cibersegurança e o uso de dados integrados (meteorologia, gêmeos digitais) para o planejamento tridimensional do espaço aéreo urbano em alta densidade.</p>						
<p><b>Interseção:</b> A base normativa brasileira (como a Lei das Antenas e as regulamentações do DECEA/Anatel) já determina o compartilhamento de infraestrutura e a proteção contra interferências em equipamentos de navegação. Contudo, a ciência e os <i>ConOps</i> internacionais demonstram que o papel do município deve evoluir de um mero emissor de alvarás para um gestor proativo do espaço digital aéreo. Enquanto as leis garantem regras gerais de telecomunicações (competência da União), as diretrizes internacionais sugerem que o gestor municipal exija mapeamentos georreferenciados contínuos para identificar "cânions urbanos" e zonas de "sombra" de satélite, utilizando esses dados como critério rigoroso para a aprovação de vertiportos. Além disso, o município deve incentivar a implantação de redes de sensores meteorológicos terrestres e exigir que a infraestrutura urbana integre as tecnologias de Identificação Remota (RID), garantindo que os órgãos de segurança pública locais possuam interfaces diretas e interoperáveis com o tráfego aéreo de nova geração.</p>						

## 4.8 Uso do Solo

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
<p>O planejamento do uso do solo e zoneamento para a UAM é o alicerce para a integração segura dos vertiportos ao ambiente municipal. O desafio central é adequar planos diretores, licenciar infraestruturas gerindo superfícies de proteção e zonas de exclusão, e garantir que a nova malha aérea conviva de forma harmoniosa com o desenvolvimento urbano, o patrimônio histórico e a segurança populacional.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L6766 (Parcelamento)</li> <li>• L7565 (Cód. Brasileiro de Aeronáutica)</li> <li>• Guia MDR (Planos Diretores)</li> <li>• ICA 11-3</li> <li>• ICA 11-408</li> <li>• ICA 63-19</li> <li>• PCA 351-7</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inclusão de vertiportos nos códigos de obras e zoneamento municipal</li> <li>• Incorporação de Superfícies de Limitação de Obstáculos (OLS) e PZPV no licenciamento urbano</li> <li>• Fiscalização conjunta e remoção ativa de obstáculos</li> <li>• Proteção de superfícies via instrumentos como o “direito de laje”</li> <li>• Restrição construtiva em áreas com condições geológicas adversas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jiang (2024)</li> <li>• Jin (2025)</li> <li>• Lee (2025)</li> <li>• Li (2023)</li> <li>• Liu (2026)</li> <li>• Rohrmeier (2025)</li> <li>• Straubinger (2021)</li> <li>• Wu (2025)</li> <li>• Yedavalli (2022)</li> <li>• Zelinski (2020)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação de filtros de triagem geoespacial para elegibilidade de parcelas</li> <li>• Criação de zonas de amortecimento (buffers) em áreas sensíveis (hospitais, escolas)</li> <li>• Exclusão de áreas de proteção ambiental, militar e patrimônio</li> <li>• Reaproveitamento de infraestrutura via Desenvolvimento Orientado ao Trânsito (TOD)</li> <li>• Adoção de análises multicritério para equidade territorial e mitigação de impacto em aluguéis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASA Technical Management (2020)</li> <li>• ConOps CITYAM</li> <li>• ANAC (Panorama)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle de áreas de expansão via leis de zoneamento geridas pelas comunidades locais</li> <li>• Harmonização regulatória e articulação com municípios vizinhos</li> <li>• Mapeamento de áreas críticas com proibição mandatória de pouso de emergência</li> <li>• Emprego de limites virtuais de espaço aéreo (<i>geofencing</i>)</li> </ul>

Tabela 4.8 – Continuação

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
<p><b>Fator PESTEL Predominante: Legal</b> — É a estrutura jurídica que garante segurança normativa. Organiza-se em hierarquia piramidal — Leis Ordinárias, Decretos, normas da ANAC/DECEA e documentos de orientação — onde normas de maior hierarquia prevalecem e condicionam todas as demais, determinando a validade e estabilidade do marco regulatório. <i>(Nota complementar de interface: o fator <b>Ambiental</b> também é crítico aqui, pois define os impactos no uso do solo, áreas de exclusão e a conformidade com o licenciamento urbano-ambiental brasileiro).</i></p>						
<p><b>Interseção:</b> A governança do uso do solo para a UAM exige um esforço compartilhado entre prefeituras e órgãos aeronáuticos. Enquanto as normativas federais (DECEA, CBA) impõem restrições de segurança inegociáveis (superfícies de proteção, controle de gabaritos e obstáculos), a literatura científica e internacional orienta como o município deve internalizar isso: através de ferramentas geoespaciais avançadas (<i>geofencing</i>, zonas de amortecimento) e do reaproveitamento inteligente do espaço (co-localização em terminais de transporte, uso de terraços). O sucesso regulatório depende de inserir o vertiporto de forma harmônica no Plano Diretor, aliando o desenvolvimento tecnológico à preservação do patrimônio histórico, da segurança urbana e da equidade territorial, exigindo constante articulação regional.</p>						

## 4.9 Viabilidade Econômica

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
A viabilidade econômica é o pilar que sustenta a implementação da UAM. O desafio do gestor municipal é estruturar a análise de mercado e a modelagem financeira para identificar rotas estratégicas, prever demandas e definir mecanismos de fomento (como incentivos fiscais e PPPs) que garantam serviços não apenas viáveis, mas economicamente sustentáveis, escaláveis e acessíveis à população no longo prazo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lei nº 11.182</li> <li>• PL nº 743</li> <li>• ICA 11-3</li> <li>• PCA 351-7 (DECEA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar projeções com simulações multicenários de custos e demandas</li> <li>• Monitorar pontualidade, economia de tempo e equilibrar frota com capacidade de pouso</li> <li>• Considerar custos operacionais estruturais (baterias, pessoal, energia de alta potência)</li> <li>• Vincular subsídios a benefícios ambientais e alívio de congestionamento</li> <li>• Identificar limites de custo para estabelecer regulação tarifária equilibrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adamidis et al. (2025)</li> <li>• Asmer et al. (2024)</li> <li>• Coppola et al. (2024)</li> <li>• Ehrhardt et al. (2024)</li> <li>• Goyal et al. (2021)</li> <li>• Kim et al. (2025)</li> <li>• Ko et al. (2026)</li> <li>• Volakakis et al. (2025)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar pesquisas de preferência declarada para captar a disposição a pagar real</li> <li>• Priorizar, no curto prazo, eixos de alta densidade (distritos financeiros e aeroportos)</li> <li>• Estruturar parcerias público-privadas que equilibrem retorno ao investidor e contrapartida social</li> <li>• Promover campanhas de conscientização e otimizar ocupação de assentos para democratizar o acesso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ConOps CITYAM</li> <li>• ANAC Panorama (2023)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliar a integração física e tarifária dos vertiportos aos nós terrestres (MaaS)</li> <li>• Implementar mecanismos de captura de valorização imobiliária (ex: outorga onerosa) para financiar infraestrutura</li> <li>• Avaliar impacto financeiro de restrições de voo ou criação de obstáculos urbanos</li> </ul>
<p><b>Fator PESTEL Predominante: Econômico</b> — Trata da viabilidade financeira do setor. Analisa a trajetória de redução dos custos operacionais dos eVTOLs, as fontes de investimento e financiamento (PPPs, captura de valorização imobiliária, fundos federais), o impacto na redução de perdas por congestionamento urbano e a formulação de políticas tarifárias que assegurem não apenas o retorno do investidor privado, mas também a democratização e acessibilidade do modal.</p>						

Tabela 4.9 – Continuação

Problemática Central	Base Normativa	Diretrizes Regulatórias	Base Científica	Diretrizes Científicas	Base Internacional	Diretrizes Internacionais
<p><b>Interseção:</b> A base normativa brasileira (como o PL 743 e diretrizes do DECEA/ANAC) já norteia o controle de tráfego, incentivos fiscais e análises de impacto dos custos operacionais. Contudo, a literatura científica e internacional evidencia que o município deve evoluir de um regulador passivo para um agente ativo de modelagem econômica. Enquanto a legislação nacional aborda diretrizes gerais de infraestrutura e subsídios por mitigação de emissões, as referências científicas e o modelo europeu do CITYAM demonstram que o gestor municipal deve aplicar ferramentas financeiras mais avançadas: usar pesquisas de preferência declarada para não errar no teto tarifário, exigir a integração da UAM a plataformas de Mobilidade como Serviço (MaaS) e, crucialmente, implementar a captura de valorização imobiliária (como outorga onerosa e contribuições de melhoria) no entorno dos vertiportos. Isso garante que os ganhos privados gerem recursos que retornem ao poder público, possibilitando financiar infraestrutura de apoio ou criar subsídios cruzados para democratizar o serviço.</p>						



## 5 Painel PESTEL

Este capítulo apresenta uma análise sistemática da cobertura dos fatores PESTEL (Político, Econômico, Social, Tecnológico, Ambiental e Legal) identificados nas matrizes de diretrizes para implementação de UAM. A análise cruza três dimensões distintas: a base normativa brasileira (leis, resoluções e normas técnicas), a literatura científica internacional revisada por pares, e as diretrizes operacionais e estratégicas de organismos internacionais (*National Aeronautics and Space Administration* (NASA), FAA, EASA).

### 5.1 Metodologia de Extração e Codificação

A codificação PESTEL foi realizada mediante análise de conteúdo sistemática das nove matrizes temáticas. Para cada tema, os fatores PESTEL foram identificados na linha específica “Fatores PESTEL” das matrizes e validados contra o conteúdo das colunas de diretrizes (regulatórias, científicas e internacionais). Um fator foi considerado presente em uma dimensão quando: (1) explicitamente mencionado na linha de fatores PESTEL da matriz; ou (2) implicitamente presente em pelo menos duas diretrizes da respectiva coluna.

A presença foi codificada binariamente (1 = presente, 0 = ausente) para cada combinação de [área temática] × [fator PESTEL] × [dimensão]. A cobertura total de um fator foi calculada como a soma de presenças nas 27 células possíveis (9 áreas × 3 dimensões), expressa em percentual.

### 5.2 Inventário Quantitativo do Corpus Documental

O Produto II mobilizou um corpus documental de **130 ocorrências de referências** nas matrizes temáticas, distribuídas em três dimensões: base normativa, base científica e base internacional. A Tabela 5.1 apresenta a distribuição dessas referências pelos nove eixos temáticos das matrizes, permitindo identificar quais temas são mais densamente sustentados e onde há escassez de base documental.

A análise da Tabela 5.1 revela três padrões estruturalmente relevantes para a inter-





Tabela 5.1: Inventário do corpus documental por eixo temático e dimensão de análise.

<b>Eixo Temático</b>	<b>Normativa</b>	<b>Científica</b>	<b>Internacional</b>	<b>Total</b>
Governança e Regulação Urbana	8	1	4	13
Infraestrutura Energética	5	5	4	14
Infraestrutura Física	4	7	3	14
Integração Urbano-Social	5	6	3	14
Meio Ambiente e Sustentabilidade	6	4	4	14
Ruído Aeronáutico	4	6	4	14
Tecnologias de Suporte	5	5	3	13
Uso do Solo	7	10	3	20
Viabilidade Econômica	4	8	2	14
<b>Total de ocorrências</b>	<b>48</b>	<b>52</b>	<b>30</b>	<b>130</b>

pretação dos resultados subsequentes.

Primeiro, o tema **Uso do Solo** concentra a maior densidade documental do capítulo (20 ocorrências), com destaque para a dimensão científica (10 referências), refletindo a maturidade da literatura de planejamento urbano aplicada à UAM. Em polo oposto, **Governança e Regulação Urbana** e **Tecnologias de Suporte** apresentam os menores totais (13 ocorrências cada).

Segundo, a dimensão **Internacional** soma 30 ocorrências, com distribuição heterogênea entre os temas (de 2 a 4 ocorrências por eixo). Esse padrão sugere dependência de um conjunto mais restrito de documentos estratégicos quando comparado à base científica.

Terceiro, a dimensão **Científica** ostenta o maior volume de ocorrências totais (52), seguida da dimensão **Normativa** (48). Isso indica que as matrizes do capítulo foram construídas com forte suporte bibliográfico, mantendo, ao mesmo tempo, ancoragem regulatória consistente na legislação e nas normas setoriais brasileiras.

### 5.3 Identificação de Lacunas Específicas

Análise quantitativa sistemática da presença dos fatores PESTEL (Político, Econômico, Social, Tecnológico, Legal e Ambiental) em 9 áreas temáticas, cruzando três dimensões: base normativa brasileira, literatura científica e diretrizes internacionais.

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam as matrizes de presença/ausência cruzando as 9





áreas temáticas com os 6 fatores PESTEL, permitindo análise granular por dimensão. A visualização por mapa de calor revela padrões espaciais de lacunas:

**Dimensão Normativa:**

- **Fator Econômico ausente em 7 de 9 temas.** Presente apenas em “Infraestrutura Energética” e “Viabilidade Econômica” — áreas onde a questão financeira é indissociável do objeto. Temas críticos como “Uso do Solo”, “Governança” e “Infraestrutura de Vertiportos” carecem de diretrizes econômicas.
- **Fator Político subrepresentado.** Apesar da complexidade de coordenação interfederativa, apenas 4 temas explicitam dimensões políticas no normativo.

Área Temática	Político	Econômico	Social	Tecnológico	Legal	Ambiental	Total
Governança e Regulação	✓	-	✓	-	✓	-	3
Infraestrutura (Vertiportos)	✓	-	✓	✓	✓	✓	5
Infraestrutura Energética	-	✓	-	✓	-	✓	3
Integração Urbano-Social	✓	-	✓	-	✓	-	3
Meio Ambiente	-	-	-	✓	✓	✓	3
Ruído Aeronáutico	-	-	✓	✓	✓	✓	4
Tecnologias de Suporte	✓	-	-	✓	✓	-	3
Uso do Solo	✓	-	✓	-	✓	✓	4
Viabilidade Econômica	✓	✓	✓	-	✓	-	4
	6	2	6	5	8	5	

Figura 5.1: Matriz — Dimensão Normativa.

Abaixo, a Tabela 5.2 apresenta o conteúdo da figura acima reorganizado, com estatísticas das relações entre as áreas temáticas e fatores PESTEL. As Tabelas 5.3 e 5.4 fazem o mesmo para suas respectivas dimensões.





Tabela 5.2: Matriz de Aderência por Área Temática sob a Dimensão Normativa

Área Temática	P	E	S	T	E	L	Total	Aderência
Governança e Regulação	x	–	x	–	–	x	3	50,0%
Infraestrutura (Vertiportos)	x	–	x	x	x	x	5	83,3%
Infraestrutura Energética	–	x	–	x	x	–	3	50,0%
Integração Urbano-Social	x	–	x	–	–	x	3	50,0%
Meio Ambiente	–	–	–	x	x	x	3	50,0%
Ruído Aeronáutico	–	–	x	x	x	x	4	66,7%
Tecnologias de Suporte	x	–	–	x	–	x	3	50,0%
Uso do Solo	x	–	x	–	x	x	4	66,7%
Viabilidade Econômica	x	x	x	–	–	x	4	66,7%
<b>Total de Ocorrências</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	32	–
<b>Frequência Relativa</b>	67%	22%	67%	56%	56%	89%	–	<b>59,2%</b>

A análise estatística da matriz de aderência revela a maturidade e o foco das discussões no corpus documental analisado, destacando-se os seguintes pontos:

- **Predomínio da Dimensão Legal:** O fator **Legal (L)** é o protagonista da matriz, presente em **89%** das áreas temáticas (8 das 9 analisadas). Isso indica que a viabilização da mobilidade aérea urbana é lida, primordialmente, sob a ótica da regulamentação e marcos jurídicos. Logo atrás, as dimensões **Política (P)** e **Social (S)** aparecem com **67%** de representatividade.
- **O Gargalo Econômico:** Em contrapartida, a dimensão **Econômica (E)** é a menos contemplada, com apenas **22%** de frequência relativa. Este dado sugere uma lacuna importante, indicando que as discussões sobre modelos de negócio e viabilidade financeira ainda estão em estágio inicial ou menos transversais no corpus.
- **Equilíbrio Tecnológico e Ambiental:** Os fatores **Tecnológico (T)** e **Ambiental (segunda instância E)** apresentam desempenho idêntico, com **56%** de aderência cada. Isso evidencia que as soluções de engenharia e infraestrutura costumam ser discutidas em conjunto com seus impactos externos, como o ruído e a sustentabilidade.
- **Destaque para a Infraestrutura:** Quanto às áreas temáticas, o tema **Infraestrutura (Vertiportos)** é o mais robusto e multidimensional, apresentando um





índice de aderência de **83,3%**. No extremo oposto, temas como Integração Urbano-Social e Governança apresentam uma visão mais nichada, com **50,0%** de cobertura das dimensões analíticas.

Com uma aderência média geral de **59,2%**, os dados indicam que o corpus documental possui uma cobertura multidimensional satisfatória, embora o foco atual esteja fortemente inclinado para a conformidade legal em detrimento da exploração econômica.

### Dimensão Científica:

- **Fator Legal quase ausente.** Apenas 2 temas (“Ruído” e “Uso do Solo”) possuem estudos científicos analisando adequação normativa. A ciência não está avaliando criticamente a qualidade regulatória brasileira.
- **Cobertura mais homogênea.** A dimensão científica apresenta o menor desvio-padrão entre fatores ( $\sigma = 1.8$  temas), indicando abordagem mais multidimensional.

Área Temática	Político	Econômico	Social	Tecnológico	Legal	Ambiental	Total
Governança e Regulação	✓	✓	✓	-	-	-	3
Infraestrutura (Vertipostos)	-	-	✓	✓	-	✓	3
Infraestrutura Energética	-	✓	-	✓	-	✓	3
Integração Urbano-Social	✓	-	✓	✓	-	-	3
Meio Ambiente	-	-	✓	✓	-	✓	3
Ruído Aeronáutico	-	-	✓	✓	-	✓	3
Tecnologias de Suporte	-	-	-	✓	-	-	1
Uso do Solo	-	-	✓	✓	-	✓	3
Viabilidade Econômica	-	✓	✓	-	-	-	2
	2	3	7	7	0	5	

Figura 5.2: Matriz — Dimensão Científica





Tabela 5.3: Matriz de Aderência por Área Temática sob a Dimensão Científica

Área Temática	P	E	S	T	E	L	Total	Aderência
Governança e Regulação	x	x	x	–	–	–	3	50,0%
Infraestrutura (Vertiportos)	–	–	x	x	x	–	3	50,0%
Infraestrutura Energética	–	x	–	x	x	–	3	50,0%
Integração Urbano-Social	x	–	x	x	–	–	3	50,0%
Meio Ambiente	–	–	x	x	x	–	3	50,0%
Ruído Aeronáutico	–	–	x	x	x	–	3	50,0%
Tecnologias de Suporte	–	–	–	x	–	–	1	16,7%
Uso do Solo	–	–	x	x	x	–	3	50,0%
Viabilidade Econômica	–	x	x	–	–	–	2	33,3%
<b>Total de Ocorrências</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	24	–
<b>Frequência Relativa</b>	22%	33%	78%	78%	56%	0%	–	<b>44,4%</b>

A análise estatística da matriz de aderência para a dimensão científica revela uma mudança de foco em relação à normativa, evidenciando os seguintes pontos:

- **Ausência da Dimensão Legal:** O fator **Legal (L)** é totalmente inexistente nesta dimensão (**0%** de aderência). Isso demonstra uma lacuna crítica na produção científica, que não tem se voltado para a análise ou proposição de marcos regulatórios e adequação normativa no contexto brasileiro.
- **Protagonismo Social e Tecnológico:** Os fatores **Social (S)** e **Tecnológico (T)** são os pilares da pesquisa acadêmica, apresentando **78%** de representatividade cada. A ciência foca majoritariamente no desenvolvimento de soluções de engenharia e na percepção/aceitação da sociedade.
- **Baixa Influência Política:** O fator **Político (P)** apresenta uma participação reduzida (**22%**), indicando que a produção científica está mais desconectada das discussões de agenda governamental e políticas públicas do que o corpo normativo.
- **Uniformidade entre Temas:** Diferente de outras dimensões, há uma grande concentração de temas com aderência de **50,0%** (7 dos 9 temas). O tema **Tecnologias de Suporte** é o mais isolado, com apenas **16,7%** de aderência, focando-se estritamente em sua natureza funcional.

Com uma aderência média geral de **44,4%**, a dimensão científica mostra-se menos abrangente que a normativa, concentrando seus esforços em binômios de impacto





(como Social-Tecnológico ou Tecnológico-Ambiental) e negligenciando as esferas regulatória e política.

**Dimensão Internacional:**

- **Foco pragmático.** Fatores Tecnológico (6/9 temas) e Ambiental (5/9) dominam as diretrizes internacionais, refletindo a orientação operacional dos CONOPs da NASA/FAA.
- **Ausência de fator Econômico.** Apesar de ser tema central em estudos de viabilidade, apenas 3 temas abordam aspectos econômicos nas diretrizes internacionais.

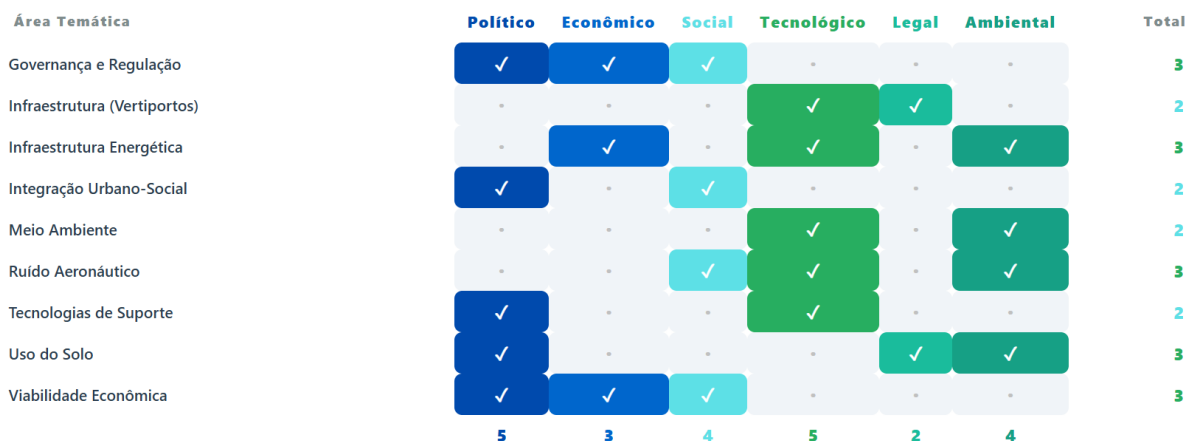


Figura 5.3: Matriz — Dimensão Internacional

Tabela 5.4: Matriz de Aderência por Área Temática sob a Dimensão Internacional

Área Temática	P	E	S	T	E	L	Total	Aderência
Governança e Regulação	x	x	x	–	–	–	3	50,0%
Infraestrutura (Vertiportos)	–	–	–	x	–	x	2	33,3%
Infraestrutura Energética	–	x	–	x	x	–	3	50,0%
Integração Urbano-Social	x	–	x	–	–	–	2	33,3%
Meio Ambiente	–	–	–	x	x	–	2	33,3%
Ruído Aeronáutico	–	–	x	x	x	–	3	50,0%
Tecnologias de Suporte	x	–	–	x	–	–	2	33,3%
Uso do Solo	x	–	–	–	x	x	3	50,0%
Viabilidade Econômica	x	x	x	–	–	–	3	50,0%
<b>Total de Ocorrências</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	23	–
<b>Frequência Relativa</b>	56%	33%	44%	56%	44%	22%	–	<b>42,6%</b>





A análise estatística da matriz de aderência para a dimensão internacional revela um cenário de maior equilíbrio entre as forças, destacando-se os seguintes pontos:

- **Liderança Política e Tecnológica:** Os fatores **Político (P)** e **Tecnológico (T)** são os mais influentes no cenário internacional, ambos presentes em **56%** das áreas temáticas. Isso reflete um debate global focado tanto na inovação técnica quanto nas agendas governamentais e de soberania aérea.
- **A Dimensão Legal como Coadjuvante:** Ao contrário da dimensão normativa brasileira, o fator **Legal (L)** apresenta baixa aderência no âmbito internacional (**22%**). Isso sugere que, em nível global, o debate está mais focado em diretrizes e viabilidade do que no detalhamento de marcos jurídicos específicos, que tendem a ser localizados.
- **Relevância Socioambiental:** As dimensões **Social (S)** e **Ambiental (E)** apresentam uma representatividade sólida e idêntica de **44%**. Diferente da ciência (que foca muito no Social), a esfera internacional mantém um olhar constante para a sustentabilidade e os impactos externos como requisito de projeto.
- **Fragmentação Temática:** A dimensão internacional apresenta uma estrutura mais fragmentada, com a maioria dos temas oscilando entre **33,3%** e **50,0%** de aderência. Não há um tema centralizador, indicando que as discussões internacionais são mais distribuídas e especializadas.

Com uma aderência média geral de **42,6%**, a dimensão internacional é a mais equilibrada das três analisadas, evitando extremos de concentração e refletindo um ecossistema de discussão onde a tecnologia e a política caminham juntas na definição dos rumos do setor.





## 6 Ações Recomendadas à Secretaria de Aviação Civil para a Implementação da Mobilidade Aérea Urbana

Este capítulo apresenta ações recomendadas à SAC para apoiar a implementação da UAM no Brasil. A proposta resulta da análise integrada de nove matrizes temáticas: Ruído Aeronáutico, Integração Urbano-Social, Uso do Solo, Infraestrutura Energética, Infraestrutura Física, Governança e Regulação Urbana, Meio Ambiente e Sustentabilidade, Tecnologias de Suporte e Viabilidade Econômica; combinada com bases normativas nacionais, evidências científicas e referências internacionais. Como síntese inicial, a Tabela 6.1 organiza as nove frentes estratégicas consideradas no capítulo.

Tabela 6.1: Síntese das nove frentes estratégicas de ação recomendadas à SAC.

Nº	Frente Estratégica	Objetivo Central	Atores-Chave
1	Regulação Unificada	Harmonizar o marco normativo para eVTOL/UAM	SAC, ANAC, DECEA
2	Articulação Federativa	Capacitar estados e municípios e promover cooperação intergovernamental	SAC, Estados, Prefeituras
3	Gestão Acústica	Adotar métricas psicoacústicas e rotas de baixo impacto sonoro	SAC, ANAC, Municípios
4	Uso do Solo	Integrar vertiportos ao planejamento territorial	SAC, Min. Cidades
5	Infraest. Energética	Garantir rede elétrica resiliente, matriz limpa e conectividade de suporte (5G/6G)	SAC, MME, ANEEL, ANATEL
6	Infraest. Física	Padronizar vertiportos, vertistops e rotas	SAC, ANAC
7	Governança Institucional	Criar instância interministerial permanente com coordenação federativa multinível	SAC, ministérios, Estados e municípios
8	Sustentabilidade Ambiental	Licenciar e monitorar impactos ecológicos	SAC, IBAMA, órgãos ambientais estaduais e municipais
9	Viabilidade Econômica	Democratizar acesso e assegurar sustentabilidade financeira	SAC, operadores, Estados e municípios

### 6.1 Atualização e Harmonização do Marco Regulatório Nacional

A atualização do marco regulatório nacional constitui o primeiro eixo desta agenda. As matrizes indicam que a base normativa vigente — incluindo Regulamentos Bra-





sileiros da Aviação Civil (RBAC) 161 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b), RBAC 155 (ANAC, 2024), Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA) (BRASIL, 1986), Instrução de Comando da Aeronáutica (ICAs) do DECEA e Resoluções Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1986; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1997) — fornece referência jurídica inicial, mas foi estruturada para a aviação convencional. Em função disso, recomenda-se revisão e harmonização normativa para incorporar requisitos operacionais específicos de eVTOLs.

A estrutura regulatória para UAM demanda coordenação entre SAC, ANAC e DECEA. O escopo proposto inclui: (i) critérios de certificação de tipo e aeronavegabilidade continuada de eVTOLs; (ii) requisitos de projeto, construção e operação de vertiportos e vertistops, com padronização de FATO/TLOF, zonas de segurança e sistemas de combate a incêndio para baterias de alta energia; e (iii) procedimentos de tráfego aéreo urbano com separações verticais e horizontais compatíveis com esses veículos. Para viabilizar esse arranjo, o texto relaciona a aprovação do PL 743 (BRASIL - Câmara dos Deputados, 2025) e a revisão das ICAs 11-3 (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021), 11-408 (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2020), 63-19 (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024c), 100-12 (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024a) e 100-31 (Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2024b) como etapas de convergência normativa.

No tema acústico, o texto propõe ajuste metodológico no RBAC 161 e na Instrução Suplementar 161 (IS 161) (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024a). A recomendação é incorporar métricas psicoacústicas — como tonalidade, impulsividade e *roughness* — em complemento aos níveis médios em decibéis, conforme a literatura (ALABI et al., 2025; TORIJA; CLARK, 2021), além de adotar limites de exposição cumulativa para cenários com operação simultânea de frotas. Com isso, a avaliação de ruído passa a refletir de forma mais adequada o contexto operacional da UAM.

## 6.2 Articulação Federativa e Capacitação Municipal

A articulação federativa é apresentada como condição de implementação para a UAM. Nesse contexto, recomenda-se um programa nacional de capacitação e cooperação para estados e municípios com foco em: (i) incorporação de Superfícies Limitadoras de Obstáculos (OLSs), Plano de Zona de Proteção de Vertiportos (PZPVs) e *buffers* no planejamento territorial; (ii) condução de EIVs e licenciamento urbanístico-ambiental integrado; e (iii) uso de ferramentas geoespaciais de triagem





de parcelas (JIANG et al., 2024; YEDAVALLI; COHEN, 2022; ZELINSKI, 2020). Essa estrutura aproxima diretrizes técnicas locais dos Conceito de Operações (ConOpss) discutidos por NASA e EASA.

No nível estadual, a proposta prioriza mecanismos de coordenação regional para UAM. A criação de núcleos específicos pode harmonizar diretrizes entre municípios de uma mesma região metropolitana, apoiar a definição de corredores intermunicipais e integrar órgãos estaduais de transporte, meio ambiente e segurança pública. Como resultado esperado, reduz-se a fragmentação decisória entre entes subnacionais.

A governança municipal ocupa posição relevante na experiência internacional de implementação da UAM (CITYAM Project Team, 2024; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a). A recomendação é estruturar setores municipais transversais que integrem transporte, urbanismo, meio ambiente e segurança pública, evitando que a política local atue apenas como receptora de normas federais. Essa organização favorece a incorporação de restrições aeronáuticas ao planejamento urbano, em linha com (DÍAZ-OLARIAGA, 2025).

**Ambientes regulatórios experimentais** (*sandboxes*) são indicados como instrumento de validação prévia. Em parceria com a ANAC, municípios selecionados podem testar rotas, vertiportos e modelos tarifários em condições controladas antes da consolidação normativa. O uso desse mecanismo mantém aderência à Resolução ANAC nº 775 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2025) e às práticas observadas em FAA, EASA e U-space.

A Figura 6.1 apresenta o arranjo de articulação entre esferas de governo adotado como referência neste capítulo. O diagrama explicita papéis institucionais e fluxos de coordenação para implementação da UAM no Brasil. Dessa forma, a visualização complementa as diretrizes descritas na seção.



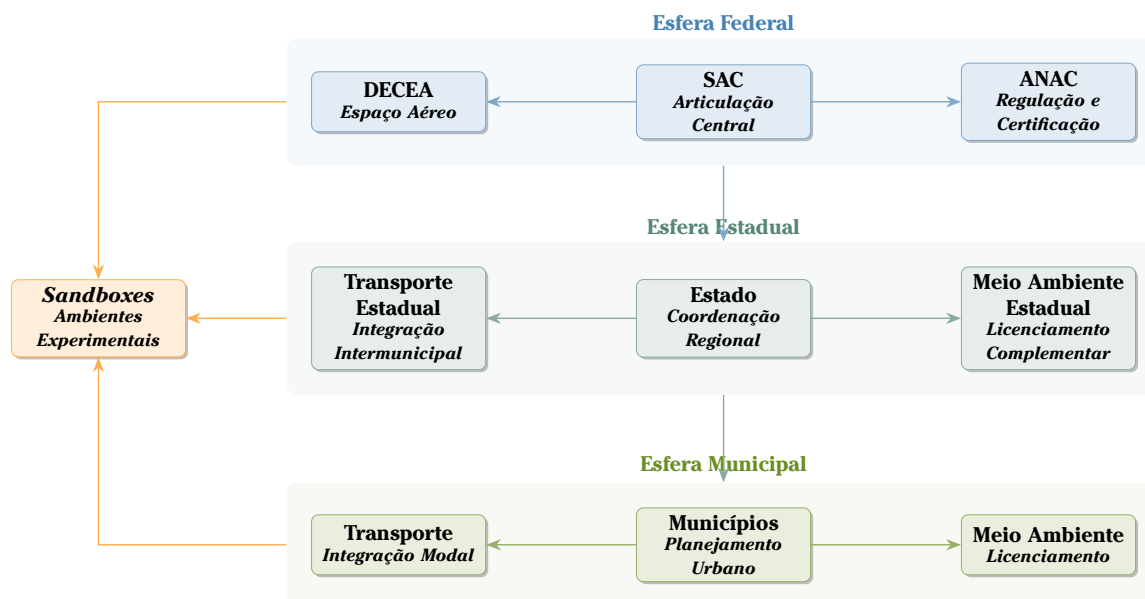


Figura 6.1: Modelo de articulação federativa para implementação da UAM no Brasil com foco em ambientes experimentais.

### 6.3 Gestão Acústica e Aceitação Social

O ruído aeronáutico é tratado nesta seção como variável central de aceitação social da UAM. A proposta indica medidas além do atendimento formal às curvas do RBAC 161 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b), incluindo: (i) pesquisa nacional em métricas de percepção subjetiva (psicoacústica, *annoyance*, tonalidade); (ii) uso de “**terrenos acústicos virtuais**” para orientar rotas em áreas de menor densidade; (iii) plataformas públicas de monitoramento acústico em tempo real; e (iv) rotas de “prioridade acústica” com referência à estratégia da NASA (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a). Com esse conjunto, o planejamento acústico passa a integrar a lógica de implantação progressiva do modal.

No eixo de **Integração Urbano-Social**, a participação pública é apresentada como requisito de implementação. O texto propõe condicionar apoio federal à demonstração, por operadores e municípios, de consultas públicas estruturadas, monitoramento contínuo da percepção comunitária e priorização inicial de serviços de interesse coletivo (transporte de órgãos, emergências médicas e defesa civil). Esse arranjo busca consolidar licença social antes da expansão comercial, em linha com (BHADURI; CHOUDHURY, 2026) e (SUNITIYOSO et al., 2025).

O Quadro 6.3 sintetiza as ações propostas para gestão acústica e aceitação social. A tabela organiza medidas, referências e tipos de intervenção em formato operacional.





Com isso, o capítulo transita da discussão conceitual para um conjunto de iniciativas passíveis de implementação.

Tabela 6.3: Ações concretas para gestão acústica e aceitação social da UAM.

Nº	Ação	Descrição	Referência
1	Pesquisa psicoacústica	Base de dados de percepção subjetiva adaptada ao contexto brasileiro	(ALABI et al., 2025; TORIJA; CLARK, 2021)
2	Terrenos acústicos virtuais	Zonas de exclusão 3D para planejamento de rotas	RBAC 161
3	Transparência em tempo real	Plataformas públicas de monitoramento de ruído	—
4	Rotas de prioridade acústica	Sobrevoos em áreas de menor sensibilidade sonora	(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020a)
5	Consultas públicas	Processos estruturados de participação social	(BHADURI; CHOUDHURY, 2026; SUNITIYOSO et al., 2025)
6	Serviços prioritários	Início com emergências médicas e defesa civil para construção de licença social	—

## 6.4 Planejamento Territorial e Uso do Solo

O planejamento territorial da UAM é apresentado como tema de integração entre política aeronáutica e política urbana. A proposta inclui revisão de Planos Diretores e Códigos de Obras para incorporar: (i) categorias específicas de zoneamento para infraestrutura UAM; (ii) zonas de amortecimento de 200–500 m em torno de equipamentos sensíveis; e (iii) instrumentos urbanísticos como direito de laje e transferência do direito de construir para proteção de superfícies de aproximação e decolagem. Dessa forma, a inserção de vertiportos passa a ser tratada como componente do ordenamento territorial municipal.

A literatura técnica aponta o **Desenvolvimento Orientado ao Trânsito (TOD)** como abordagem aplicável à localização de vertiportos. A co-localização em nós de transporte público existentes (estações de metrô e terminais rodoviários) tende a ampliar intermodalidade e reduzir deslocamentos terrestres complementares; além disso, análises multicritério de equidade territorial devem anteceder a seleção de áreas para reduzir concentração espacial da infraestrutura e efeitos distributivos adversos (LIU et al., 2026; ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025). Com esse procedimento, a decisão locacional combina desempenho operacional e critérios de equidade urbana.

O uso de **geofencing** é indicado como componente técnico-regulatório da gestão es-





pacial da UAM. A medida delimita áreas de exclusão permanente e temporária por limites virtuais de espaço aéreo, conforme referências dos ConOpss da NASA (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020c) e do CITYAM (CITYAM Project Team, 2024). Assim, o controle espacial operacional é incorporado ao conjunto de instrumentos de ordenamento.

O Quadro 6.5 organiza os instrumentos urbanísticos associados à integração da UAM. A tabela apresenta aplicação e fundamento de cada mecanismo no contexto municipal. Esse resumo fecha a seção de uso do solo e conecta a análise ao tema energético.

Tabela 6.5: Instrumentos urbanísticos recomendados para integração da UAM ao ordenamento territorial.

Instrumento	Aplicação para UAM	Fundamento
Zoneamento específico	Categorias dedicadas para vertiportos com gabarito e afastamento compatíveis	Planos Diretores municipais
Zonas de amortecimento	<i>Buffers</i> de 200–500 m em torno de equipamentos sensíveis	Boas práticas internacionais
Direito de laje	Viabilizar proteção das superfícies de aproximação e decolagem	Estatuto da Cidade
Transferência do direito de construir	Preservar áreas críticas para operações UAM	Estatuto da Cidade
TOD	Co-localizar vertiportos em terminais de transporte público	(JIANG et al., 2024; YEDAVALLI; COHEN, 2022)
<i>Geofencing</i>	Delimitação virtual de áreas de exclusão permanente e temporária	(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020c; CITYAM Project Team, 2024)
Análise de equidade	Evitar concentração em bairros de alta renda; mitigar impacto imobiliário	(LIU et al., 2026; ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025)

## 6.5 Infraestrutura Energética e Sustentabilidade da Rede Elétrica

A infraestrutura energética é tratada como requisito operacional para vertiportos em escala urbana. A recarga simultânea de eVTOLs pode elevar picos de consumo na rede de distribuição, o que fundamenta a proposta de protocolo nacional de planejamento energético envolvendo SAC, *Ministério de Minas e Energia* (MME), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e concessionárias; o protocolo inclui: (i) estudos prévios de impacto de carga; (ii) micro-redes com armazenamento distribuído; (iii) integração de fontes renováveis; e (iv) tarifação inteligente (*smart charging*) para deslocamento de recarga a horários de vale. Com esse arranjo, busca-se compatibilizar expansão operacional e estabilidade do sistema elétrico.





Os requisitos de segurança para baterias de íon-lítio compõem o segundo bloco desta seção. O texto prevê sistemas de supressão térmica e combate a incêndio em áreas de armazenamento e recarga, conforme o Alerta ANAC nº 001/2023 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b), além de procedimentos de gestão térmica para mitigar *thermal runaway* em recarga rápida (CHIODO et al., 2019; ZHAO et al., 2025). Em continuidade, recomenda-se rastreabilidade e destinação adequada no ciclo de vida das baterias, incluindo segunda vida e reciclagem.

O Quadro 6.7 apresenta os componentes operacionais do protocolo energético. A síntese relaciona ações, atores e referências de implementação para cada eixo técnico. Dessa forma, a seção estabelece parâmetros de planejamento aplicáveis ao licenciamento e à operação.

Tabela 6.7: Componentes do protocolo nacional de planejamento energético para vertiportos.

Componente	Descrição	Atores / Referência
Estudo de impacto de carga	Avaliação prévia e obrigatória do impacto na rede de distribuição	MME, ANEEL, Concessionárias
Micro-redes locais	Armazenamento distribuído com baterias estacionárias para suavizar picos	Operadores, Concessionárias
Energias renováveis	Fontes fotovoltaica e eólica integradas aos vertiportos	Operadores
<i>Smart charging</i>	Tarifação inteligente para deslocamento da recarga para horários de vale	ANEEL, Operadores
Segurança de baterias	Protocolos de supressão térmica e combate a incêndio (Li-ion)	(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; CHIODO et al., 2019)
Ciclo de vida	Rastreabilidade, segunda vida e reciclagem de baterias	SAC, órgãos ambientais

## 6.6 Infraestrutura Física: Vertiportos, Vertistops e Rotas

A infraestrutura física de vertiportos é apresentada como componente de padronização técnica nacional. A proposta complementa orientações da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2021) e do Alerta nº 001/2023 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b), incluindo: (i) dimensionamento de FATO/TLOF pela maior aeronave prevista, com margens para expansão; (ii) Plano de Emergência de Heliponto (PLEM-H) específico para baterias de alta energia; (iii) padronização de auxílios visuais e proteção perimetral; e (iv) adoção de estruturas modulares pré-fabricadas. Com isso, o planejamento físico passa a combinar segurança operacional





e escalabilidade por fases.

A evidência científica indica critérios de eficiência locacional e operacional para vertiportos (RIMJHA; TRANI, 2021; SONG, 2022; JIANG et al., 2025). Entre eles, destacam-se localização em nós de transporte existentes, *layouts* otimizados (*pier* ou satélite) e simulação de capacidade por fases; no mesmo sentido, o FAA ConOps v1.0 (Federal Aviation Administration, 2020) enfatiza dados em tempo real sobre pátios e recursos e volumes dedicados de espaço aéreo com *holding patterns*. A incorporação dessas práticas em norma nacional implica exigir plataformas digitais de gestão de capacidade integradas ao sistema de tráfego aéreo urbano.

O Quadro 6.9 consolida os requisitos de referência para diretrizes nacionais de vertiportos. A síntese organiza critérios de dimensionamento, segurança, localização e gestão operacional. Assim, a seção converte recomendações técnicas em parâmetros objetivos de implementação.

Tabela 6.9: Requisitos essenciais para diretrizes nacionais de vertiportos.

Nº	Requisito	Detalhamento
1	Dimensionamento FATO/TLOF	Baseado na maior aeronave prevista, com margens para expansão futura
2	Planos de Emergência (PLEM-H)	Específicos para incidentes com baterias de alta energia
3	Auxílios visuais	Iluminação noturna padronizada e redes de proteção de perímetro
4	Estruturas modulares	Pré-fabricadas e escaláveis conforme aumento progressivo da demanda
5	Localização integrada (TOD)	Prioridade em hubs de transporte existentes (metrô, terminais rodoviários)
6	Gestão digital de capacidade	Plataforma integrada ao sistema de tráfego aéreo urbano

## 6.7 Governança Institucional e Protagonismo do Poder Público

A governança institucional da UAM é apresentada como arranjo intersetorial e multinível. O texto propõe instância interministerial permanente coordenada pela SAC, com participação de ANAC, DECEA, Ministérios setoriais, Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), governos estaduais e representantes municipais. Como produto desse fórum, recomenda-se um Plano Nacional de Mobilidade Aérea Urbana com horizontes 2026–2028, 2029–2032 e 2033–2040, metas de implementação e cronogramas regulatórios.

A Figura 6.2 apresenta o ecossistema de governança interinstitucional adotado como





referência analítica. O diagrama mostra atores, conexões do Plano Nacional. Dessa forma, a representação gráfica complementa a arquitetura institucional discutida no texto.

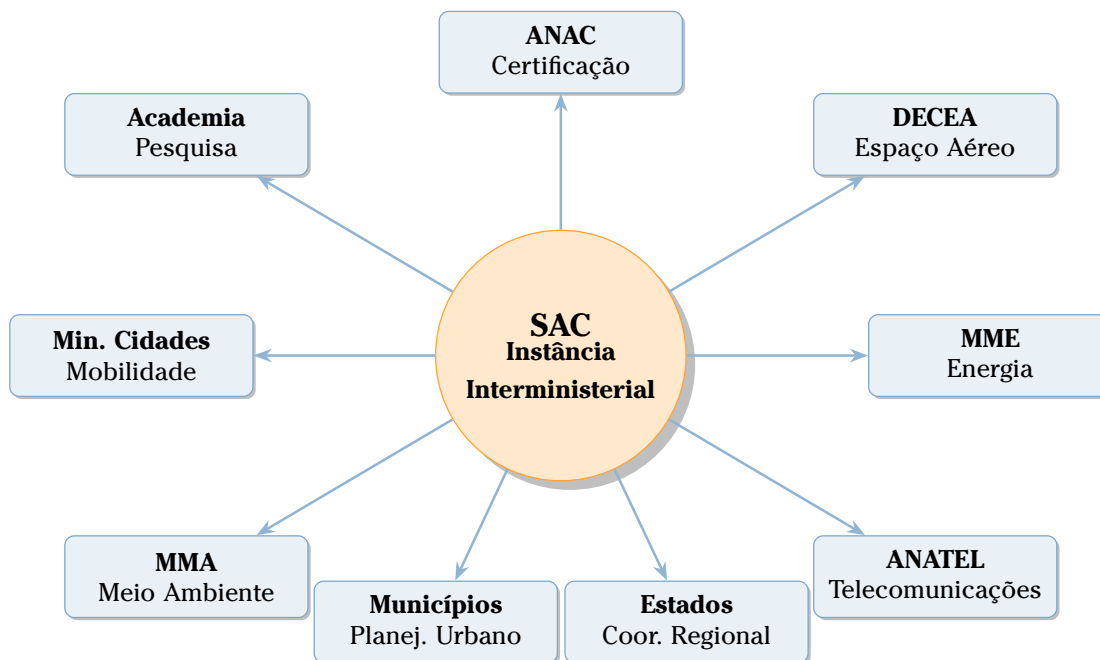


Figura 6.2: Ecossistema de governança interinstitucional proposto para a UAM e horizontes temporais do Plano Nacional.

No plano local, a seção indica instrumentos de governança aplicáveis aos municípios (DÍAZ-OLARIAGA, 2025). As medidas propostas incluem contrapartidas financeiras pelo uso de ativos públicos, estruturação de PPPs para infraestrutura terrestre, interfaces digitais de troca de dados em tempo real com provedores UAM e fóruns permanentes com lideranças comunitárias. Esse conjunto busca alinhar financiamento, gestão operacional e participação social em nível municipal.

No plano estadual, o texto propõe arranjos de governança metropolitana para UAM. A coordenação entre municípios limítrofes em uso do solo, integração modal e licenciamento ambiental reduz assimetrias regulatórias e aumenta consistência dos corredores regionais. Com isso, a escala metropolitana passa a atuar como nível intermediário de harmonização.

No licenciamento de vertiportos, recomenda-se incorporar **EIVs** com escopo ampliado. A avaliação deve incluir impactos acústicos, visuais, de tráfego terrestre, de valorização imobiliária e de segurança pública. Essa exigência integra critérios urbanísticos e operacionais no processo autorizativo.





## 6.8 Sustentabilidade Ambiental e Gestão de Riscos Ecológicos

No eixo ambiental, a proposta reúne medidas de licenciamento, monitoramento e mitigação de risco ecológico. O conjunto inclui: (i) avaliação de impactos ambientais para infraestrutura UAM (Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) quando aplicável, ou licenciamento simplificado pela Lei nº 15.190 (BRASIL, 2025)), com atenção ao risco aviário; (ii) uso de radares aviários com inteligência artificial para monitoramento de rotas de aves (VARNOUSFADERANI; SHIHAB; SCHOFIELD, 2024; VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025); (iii) sensores meteorológicos urbanos para protocolos *go/no-go*; e (iv) condicionamento de incentivos ao uso predominante de fontes renováveis. Com esse arranjo, o texto integra gestão ambiental e planejamento operacional.

No plano normativo, o texto indica articulação entre SAC, CONAMA e órgãos ambientais estaduais para elaboração de resoluções específicas de licenciamento da UAM. A medida reduz dependência de enquadramentos genéricos e aumenta previsibilidade regulatória para projetos de infraestrutura. Dessa forma, limita-se o risco de atraso decorrente de lacunas normativas ambientais.

O Quadro 6.11 consolida as ações ambientais listadas na seção. A organização em formato tabular permite visualizar frentes, descrição e referências de suporte. Assim, a síntese funciona como base de implementação e monitoramento.

Tabela 6.11: Ações ambientais prioritárias para a implementação da UAM.

Nº	Ação	Descrição	Referência
1	Licenciamento ambiental	EIA/RIMA ou simplificado conforme Lei nº 15.190	(BRASIL, 2025)
2	Monitoramento aviário	Radares com IA para detecção em tempo real de rotas de aves	(VARNOUSFADERANI; SHIHAB; SCHOFIELD, 2024)
3	Sensores meteorológicos	Estações de microclima nos vertipor- tos para protocolos <i>go/no-go</i>	—
4	Matriz energética limpa	Incentivos federais condicionados ao uso de fontes renováveis	—
5	Normativa dedicada	Resoluções CONAMA específicas para infraestrutura UAM	CONAMA, órgãos estaduais





## 6.9 Avanço Tecnológico: Comunicação, Navegação e Vigilância

O eixo tecnológico considera que a operação UAM depende de infraestrutura digital de CNS integrada. O texto propõe coordenação entre SAC, ANATEL, DECEA e provedores para: (i) mapear cânions urbanos e zonas de sombra GNSS; (ii) implantar redes de baixa latência (5G/Comunicações Móveis de 6ª Geração (6G)) em corredores de voo, conforme a Lei nº 13.116 (Congresso Nacional, 2015); (iii) adotar **RID** nas aeronaves urbanas; e (iv) aplicar protocolos de cibersegurança com criptografia, autenticação multifator e interoperabilidade. Com essas medidas, a arquitetura tecnológica combina conectividade, segurança operacional e integração institucional.

A comunicação *Vehicle-to-Vehicle Communication (V2V)* e *Vehicle-to-Infrastructure Communication (V2I)* é tratada como requisito para ambientes de maior densidade de tráfego. A literatura (AL-RUBAYE; TSOURDOS; NAMUDURI, 2023; SINHA et al., 2024) relaciona essa capacidade à coordenação operacional em tempo real. Por isso, a seção recomenda sua incorporação explícita na base normativa.

O Quadro 6.13 resume os requisitos de Comunicação, Navegação e Vigilância apresentados. A tabela organiza ações e coordenação institucional por tecnologia. Dessa forma, oferece referência operacional para implementação gradual.

Tabela 6.13: Requisitos tecnológicos de Comunicação, Navegação e Vigilância para a UAM.

Tecnologia	Ação Requerida	Coordenação
Mapeamento GNSS	Identificação de cânions urbanos e zonas de sombra como critério eliminatório	SAC, DECEA
Redes 5G/6G	Implantação de redes de baixa latência dedicadas a corredores de voo	ANATEL, Telecom
RID	Identificação remota digital obrigatória em todas as aeronaves urbanas	SAC, ANAC, Seg. Pública
Cibersegurança	Criptografia, autenticação multifator e arquiteturas interoperáveis	SAC, ANATEL
V2V / V2I	Comunicação veículo-a-veículo e veículo-a-infraestrutura normatizada	DECEA, ANAC

## 6.10 Viabilidade Econômica e Democratização do Acesso

A viabilidade econômica é apresentada como condição para transição da UAM da fase piloto para operação ampliada. O texto propõe: (i) pesquisas nacionais de preferência declarada para estimar disposição a pagar e calibrar tarifas; (ii) priorização





inicial de eixos de maior demanda (aeroportos, distritos financeiros e polos hospitalares); (iii) diretrizes para PPPs com contrapartida social, incluindo rotas subsidiadas; e (iv) mecanismos de captura de valorização imobiliária no entorno de vertiports. Em conjunto, essas medidas buscam compatibilizar sustentabilidade financeira e objetivos distributivos.

A integração com os demais modais é tratada como requisito de desenho sistêmico da política de mobilidade. A seção referencia plataformas **Mobility as a Service (MaaS)** e recomenda integração tarifária e física conforme ConOps CITYAM (CITYAM Project Team, 2024), com exigência mínima de integração informacional entre operadores UAM e sistemas públicos locais. Essa diretriz reduz isolamento operacional do modal e amplia interoperabilidade de serviço.

O Quadro 6.15 apresenta a síntese dos mecanismos econômicos discutidos. A tabela relaciona instrumentos, descrição e finalidade para apoio à decisão pública. Com isso, encerra-se a seção de viabilidade econômica com parâmetros objetivos de implementação.

Tabela 6.15: Mecanismos econômicos recomendados para viabilidade e democratização da UAM.

Mecanismo	Descrição	Finalidade
Pesquisas de preferência declarada	Mensurar disposição a pagar dos usuários brasileiros	Calibração tarifária
Eixos de alta demanda	Priorizar conexões aeroporto–centro, distritos financeiros, hospitais	Viabilidade operacional inicial
PPPs com contrapartida social	Rotas subsidiadas para bairros periféricos	Equidade de acesso
Captura de valorização imobiliária	Outorga onerosa, contribuições de melhoria no entorno	Financiamento de transporte público
MaaS	Integração tarifária e informacional com transporte público	Intermodalidade plena

### 6.11 Síntese: Agenda Estratégica para a SAC

Esta seção de síntese consolida as nove frentes de ação descritas no capítulo. O conjunto inclui: (1) atualização regulatória; (2) articulação federativa e capacitação





municipal; (3) gestão acústica; (4) planejamento territorial com *geofencing*; (5) infraestrutura energética; (6) infraestrutura física de vertiportos e rotas; (7) governança interinstitucional; (8) sustentabilidade ambiental; e (9) viabilidade econômica com ampliação de acesso. Em conjunto, as frentes funcionam como agenda integrada para implementação gradual da UAM.

A Figura 6.3 apresenta o roteiro de implementação organizado em três horizontes temporais. O diagrama associa etapas regulatórias, institucionais e operacionais ao período de execução. Dessa forma, a visualização complementa a síntese final do capítulo.

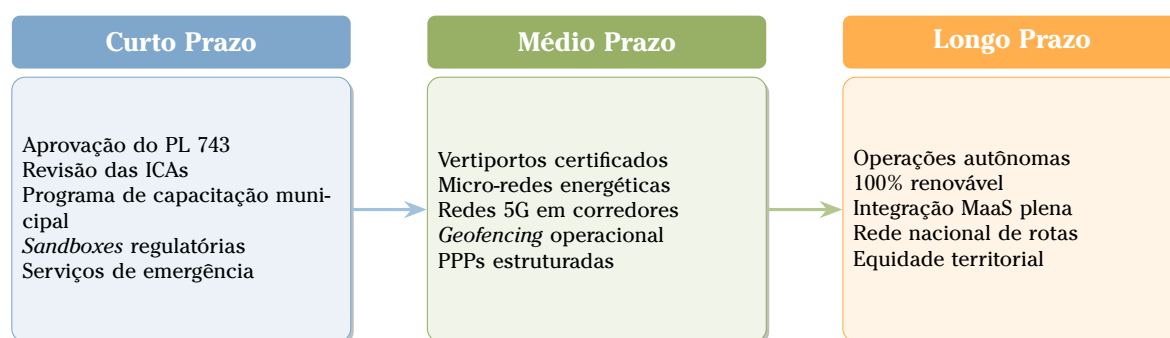


Figura 6.3: Roteiro estratégico de implementação da UAM no Brasil.

O cruzamento das bases normativas brasileiras com as evidências científicas e os modelos internacionais revela que o Brasil já dispõe de um arcabouço jurídico-regulatório de partida robusto, mas predominantemente reativo e concebido para a aviação convencional. As lacunas identificadas, ausência de métricas psicoacústicas, falta de regulamentação energética específica para vertiportos, inexistência de protocolos de *geofencing* entre outras, não são intransponíveis, desde que a SAC assuma o papel de **articuladora central** do ecossistema, promovendo a convergência entre órgãos federais, municípios, academia e setor privado. A UAM não deve ser encarada como um desafio exclusivamente aeronáutico, mas como uma **política pública transversal de mobilidade, urbanismo e inovação tecnológica** que, se conduzida com planejamento estratégico e participação social, posicionará o Brasil entre os países pioneiros na implementação segura, sustentável e equitativa desse novo modal de transporte.





## 7 Ações Recomendadas aos Municípios para a Implementação da Mobilidade Aérea Urbana

Este capítulo reúne ações recomendadas aos municípios brasileiros para a implementação da UAM em seus territórios. O conteúdo foi estruturado a partir da análise integrada das matrizes temáticas de Ruído Aeronáutico, Integração Urbano-Social, Uso do Solo, Infraestrutura Energética, Infraestrutura Física, Governança e Regulação Urbana, Meio Ambiente e Sustentabilidade, Tecnologias de Suporte e Viabilidade Econômica, em conjunto com o diagnóstico comparativo dos sete municípios estudados, evidências científicas e referências internacionais. Como síntese de abertura, a Tabela 7.1 apresenta as nove frentes estratégicas adotadas neste capítulo.

Tabela 7.1: Síntese das nove frentes estratégicas de ação recomendadas aos municípios.

Nº	Frente Estratégica	Objetivo Central	Atores-Chave
1	Adaptação Normativa Local	Criar categorias urbanísticas específicas para vertiportos e eVTOL	Câmara Municipal, Prefeitura
2	Planejamento Territorial	Integrar vertiportos ao Plano Diretor e ao zoneamento	Prefeitura, Min. Cidades, SAC
3	Gestão Acústica Local	Definir parâmetros de ruído para eVTOL e implementar monitoramento	Prefeitura, CETESB/órgãos estaduais
4	Mobilidade e Intermodalidade	Integrar UAM ao Plano de Mobilidade Urbana	Prefeitura, operadores, ANAC
5	Infraest. Energética Local	Adequar a rede local e exigir padrões de segurança para recarga	Prefeitura, concessionárias, ANEEL
6	Infraest. Física e Licenciamento	Padronizar exigências construtivas e de segurança para vertiportos	Prefeitura, Corpo de Bombeiros
7	Governança Local e Participação	Criar estrutura transversal e promover consultas públicas	Prefeitura, sociedade civil
8	Sustentabilidade Ambiental	Conduzir licenciamento integrado e monitorar impactos ecológicos	Prefeitura, órgão ambiental estadual
9	Viabilidade Econômica Local	Estruturar contrapartidas, PPPs e captura de mais-valia urbana	Prefeitura, operadores, SAC





## 7.1 Adaptação Normativa Local: Zoneamento, Plano Diretor e Código de Obras

Neste eixo, a ação municipal incide sobre a criação de categorias urbanísticas específicas para vertiportos. O diagnóstico mostra que as sete cidades analisadas ainda enquadram esses equipamentos por analogia às normas de heliportos, com lacunas em parâmetros de gabarito, recuo, carga estrutural e ruído. Como resultado, a ausência de categorização expressa mantém incerteza jurídica para empreendedores e eleva a probabilidade de decisões divergentes entre órgãos municipais.

No plano normativo local, recomenda-se revisar as leis de zoneamento para incluir a categoria “vertiporto” como uso urbano autônomo. A revisão deve estabelecer parâmetros mínimos de: (i) afastamentos laterais e frontais compatíveis com superfícies de aproximação e decolagem; (ii) gabarito máximo das edificações vizinhas no raio de proteção; (iii) zonas de amortecimento em torno de equipamentos sensíveis (escolas, hospitais e áreas residenciais de alta densidade); e (iv) remissão expressa ao RBAC 155 (ANAC, 2024), ou à regulação análoga que venha a ser criada, como referência técnica. Com esse arranjo, reduz-se a dependência de interpretações por analogia e melhora-se a previsibilidade procedimental no licenciamento.

No âmbito do **Plano Diretor**, a inserção de PZPV e corredores aéreos como componentes do macrozoneamento municipal estabelece base territorial para expansão progressiva da UAM. Municípios em ciclo de revisão do Plano Diretor e aqueles submetidos ao prazo decenal do Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001) dispõem de oportunidade regulatória para incorporar esses parâmetros sem necessidade de legislação adicional. A Tabela 7.3 sintetiza as adaptações normativas priorizadas.





Tabela 7.3: Adaptações normativas locais prioritárias para UAM.

<b>Instrumento</b>	<b>Adaptação Recomendada</b>	<b>Referência</b>
Lei de Zoneamento	Criar categoria “vertiporto” com parâmetros de gabarito, recuo e carga estrutural	(ANAC, 2024; BRASIL, 2001)
Plano Diretor	Incluir PZPV, corredores aéreos e macrozoneamento UAM	Estatuto da Cidade
Código de Obras	Remeter ao RBAC 155 para cargas estruturais; incorporar requisitos de segurança de baterias	(ANAC, 2024; Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b)
Lei de Heliponto	Atualizar legislação existente para eVTOL (parâmetros acústicos, dimensões, frequência de operações)	(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b)
Código de Posturas	Definir horários de operação, limites de ruído locais e restrições de rotas sobre áreas sensíveis	(ALABI et al., 2025; TORIJA; CLARK, 2021)

Quanto ao ponto de partida regulatório, municípios com legislação específica de helipontos, como Porto Alegre (LC nº 770/2015 e LC nº 789/2016) e São Paulo (Lei nº 15.723/2013), já dispõem de base que pode ser adaptada sem revisão integral do ordenamento local. No caso de Curitiba, há diretriz expressa no Art. 46, XVI do Plano Diretor, que autoriza regulamentação municipal específica por decreto em articulação com órgãos federal e estadual. Esse desenho permite implementação mais célere sem alteração legislativa prévia e oferece referência prática para outros municípios.

No plano metropolitano e estratégico, o Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) previsto no Estatuto da Metrópole (Lei nº 13.089/2015) e os planos estratégicos metropolitanos funcionam como instrumentos de coordenação regional entre municípios, estabelecendo diretrizes comuns para uso do solo, corredores intermunicipais e compatibilização do planejamento territorial. Entre as regiões analisadas: (i) o Rio de Janeiro opera com Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado (PEDUI) aprovado; (ii) o Paraná concluiu o PDUI da Região Metropolitana de Curitiba; (iii) Minas Gerais possui estrutura de governança metropolitana vigente, com base nas Leis Complementares Estaduais nº 89/2006 e nº 107/2009; (iv) São Paulo mantém o Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana de São Paulo (PDUI-RMSP) em tramitação; (v) Santa Catarina mantém o PDUI da Região Metropolitana de Florianópolis em elaboração; e (vi) a Bahia ainda não apresenta instrumento metropolitano específico. Esse quadro não altera a competência municipal sobre o uso do solo, mas influencia a capacidade de coordenação intermunicipal para definição de corredores, harmonização de critérios locais e compatibilização entre planejamento territorial e licenciamento local da UAM.





## 7.2 Planejamento Territorial: Uso do Solo e Localização de Vertiportos

No planejamento territorial municipal, a implementação da UAM requer coordenação entre política aeronáutica federal e política urbana local. A seleção de sítios para vertiportos deve combinar critérios operacionais, como compatibilidade com OLS, afastamento de obstáculos e acessibilidade ao espaço aéreo, com critérios urbanísticos de equidade territorial e impacto de vizinhança (LIU et al., 2026; ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025). O uso de ferramentas geoespaciais de triagem multicriterial organiza essa etapa antes da aprovação de cada empreendimento, reduzindo retrabalho procedimental e contestações jurídicas posteriores (JIANG et al., 2024; YEDAVALLI; COHEN, 2022; ZELINSKI, 2020).

A abordagem de **Desenvolvimento Orientado ao Trânsito (TOD)** pode ser adotada como critério locacional para vertiportos em contexto urbano. A co-localização com terminais de transporte coletivo de alta capacidade, estações de metrô, terminais de *Bus Rapid Transit* (BRT) e terminais intermodais amplia a intermodalidade e tende a reduzir deslocamentos terrestres complementares. Em cidades com alta densidade de infraestrutura de transporte já instalada, essa diretriz apresenta condições mais favoráveis de aplicação no curto prazo.

No componente técnico-regulatório, a incorporação de **geofencing** ao planejamento local contribui para a gestão espacial da UAM. A definição municipal de zonas de exclusão permanente, como áreas de proteção ambiental, hospitais, escolas e locais de grande aglomeração, e de zonas de exclusão temporária, como eventos, obras e situações de emergência, deve ser compatibilizada com os sistemas de UTM operados pelo DECEA. Essa compatibilização mantém aderência aos ConOps da NASA (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020c) e do CITYAM (CITYAM Project Team, 2024). A Tabela 7.5 organiza os instrumentos de planejamento territorial disponíveis aos municípios para a inserção da UAM.





Tabela 7.5: Instrumentos municipais de planejamento territorial para UAM.

<b>Instrumento</b>	<b>Aplicação para UAM</b>	<b>Fundamento</b>
Análise multicriterial SIG	Triagem de parcelas compatíveis com operações UAM	(JIANG et al., 2024; YEDAVALLI; COHEN, 2022)
TOD	Localizar vertiportos em hubs de transporte existentes	(JIANG et al., 2024)
Zonas de amortecimento	<i>Buffers</i> de proteção em torno de equipamentos sensíveis	Boas práticas internacionais
Direito de laje	Viabilizar uso de coberturas para vertiportos em estruturas existentes	Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001)
Transferência do direito de construir	Preservar superfícies de aproximação em zonas consolidadas	Estatuto da Cidade
<i>Geofencing</i> municipal	Definir zonas de exclusão compatíveis com UTM/DECEA	(National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2020c)
Análise de equidade territorial	Evitar concentração em áreas de alta renda; avaliar efeitos imobiliários	(LIU et al., 2026; ROHRMEIER; WEI; ISON, 2025)

No tema da equidade territorial, a literatura aponta risco de ampliação de desigualdades quando vertiportos se concentram apenas em nós de alta renda (LIU et al., 2026). Para mitigar esse efeito, recomenda-se que os Planos de Mobilidade Urbana incluam análise prévia da distribuição espacial desses equipamentos. Com critérios de cobertura para zonas com maior déficit de conectividade, especialmente em municípios com alta fragmentação territorial, o planejamento ganha maior consistência distributiva.

### 7.3 Gestão Acústica Local e Aceitação Comunitária

Na dimensão acústica, o ruído de eVTOL influencia de forma direta a aceitação comunitária da UAM em escala local. As métricas convencionais de nível sonoro utilizadas no RBAC 161 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b) podem subestimar o incômodo associado a tonalidade, impulsividade e variações temporais rápidas dessas aeronaves (ALABI et al., 2025; TORIJA; CLARK, 2021). Nesse contexto, a atuação municipal complementa as diretrizes nacionais ao ajustar parâmetros às condições locais.

No desenho regulatório municipal, recomenda-se: (i) definir, nos Códigos de Posturas ou em decretos regulamentadores, limites de ruído específicos para operações de eVTOL junto a receptores sensíveis (uso residencial, hospitalar e educacional); (ii)





exigir, no licenciamento do uso do solo, laudo acústico com simulação de impacto para rotas propostas, incluindo métricas psicoacústicas de tonalidade e impulsividade; e (iii) implantar redes de monitoramento acústico em tempo real nas áreas de operação, com dados públicos em portal de transparência. Essas medidas articulam prevenção, controle e prestação de contas. Como resultado, o processo regulatório tende a ganhar rastreabilidade e maior previsibilidade para operadores e comunidades.

No campo da participação social, a aceitação comunitária deve ser tratada como processo contínuo e não apenas como etapa prévia à instalação. Recomenda-se estruturar **fóruns permanentes de acompanhamento** com representantes de bairros adjacentes aos vertiportos, operadores e órgãos municipais. A adoção inicial de serviços de interesse coletivo, como transporte de órgãos, emergências médicas e apoio à defesa civil, tende a consolidar legitimidade social antes da expansão de rotas comerciais (BHADURI; CHOUDHURY, 2026; SUNITIYOSO et al., 2025); o Quadro 7.7 resume as ações desse eixo.

Tabela 7.7: Ações municipais para gestão acústica e aceitação social da UAM.

Nº	Ação	Descrição	Referência
1	Limites locais de ruído	Definir em Código de Posturas limites específicos por zona de uso para eVTOL	(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2024b; ALABI et al., 2025)
2	Laudo acústico no licenciamento	Exigir simulação de impacto acústico como condicionante do EIV	(TORIJA; CLARK, 2021)
3	Monitoramento em tempo real	Implantar rede de sensores com dados públicos no entorno dos vertiportos	Diretriz operacional municipal
4	Restrição de horários	Estabelecer janelas operacionais compatíveis com o uso do entorno	Código de Posturas
5	Consultas públicas estruturadas	Processos participativos antes da aprovação e com acompanhamento periódico	(BHADURI; CHOUDHURY, 2026; SUNITIYOSO et al., 2025)
6	Prioridade a serviços coletivos	Iniciar operações com emergências médicas e defesa civil	Diretriz de implementação gradual

## 7.4 Mobilidade Urbana e Integração Intermodal

No sistema municipal de mobilidade urbana, a integração da UAM é necessária para evitar configuração de serviço isolado e de alto custo unitário. Os Plano Municipal de Mobilidade Urbana Aérea (PlanMob) municipais, exigidos pela Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012) (BRASIL, 2012) para municípios com mais





de 20 mil habitantes, oferecem o instrumento institucional para incorporar a UAM ao conjunto de modais gerenciados localmente. Para esse fim, a revisão ou elaboração do PlanMob deve incluir: (i) análise de demanda para rotas de UAM, com identificação de pares origem-destino de maior complementaridade ao transporte coletivo; (ii) definição de interfaces físicas entre vertiportos e terminais de ônibus, metrô e ciclovias; e (iii) diretrizes tarifárias para integração com o sistema local de bilhetagem eletrônica.

Em termos de arquitetura tecnológica, plataformas de **MaaS** constituem referência para viabilizar essa integração (CITYAM Project Team, 2024). No curto prazo, recomenda-se exigir, como condicionante das autorizações de operação, integração informacional mínima entre operadores de UAM e sistemas públicos de informação ao usuário. No médio prazo, a integração tarifária plena, com bilhete único abrangendo transporte coletivo e UAM em serviços subsidiados, pode ser estruturada por meio de PPP com obrigação de serviço público.

A Figura 7.1 apresenta o modelo de articulação intermodal adotado, destacando os nós de conexão entre UAM e os demais modais gerenciados pelo município.

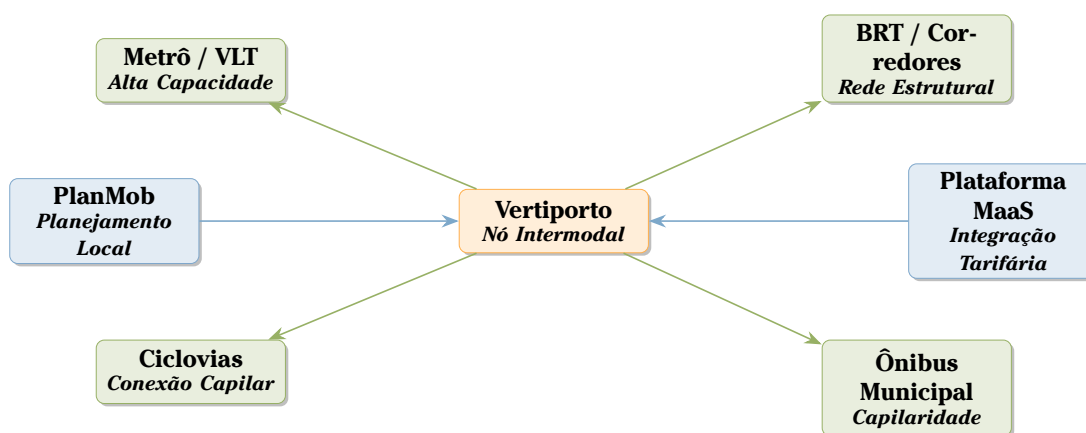


Figura 7.1: Modelo de integração intermodal municipal para a UAM.

### 7.5 Infraestrutura Energética Local e Segurança de Baterias

No eixo energético, a recarga de frotas de eVTOL gera demanda concentrada sobre a rede local de distribuição. A gestão desse impacto envolve responsabilidade compartilhada entre município, concessionária distribuidora e operador do vertiporto. Por esse motivo, recomenda-se que o licenciamento municipal exija, como condicionante técnica, **estudo de impacto de carga** validado pela concessionária antes da emissão do alvará de operação.





Na agenda de sustentabilidade, os municípios podem incentivar ou exigir, em editais de PPP para vertiportos em equipamentos públicos, a instalação de painéis fotovoltaicos e sistemas locais de armazenamento (*microgrid*), compatíveis com diretrizes de *smart charging* coordenadas pela ANEEL. Essa combinação reduz exposição à variação tarifária e apoia metas municipais de descarbonização. Com isso, a infraestrutura energética tende a operar com maior estabilidade econômica e ambiental.

No campo da **segurança contra incêndio para baterias de lítio**, permanece uma lacuna regulatória na esfera municipal. O diagnóstico identificou que as Instruções Técnicas dos Corpos de Bombeiros estaduais, incluindo a IT-31/2019 do CBPMESP (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2019), ainda não detalham protocolos específicos para *Thermal Runaway*, recarga rápida de alta potência e geometrias de plataforma multirrotores. Enquanto essas ITs não forem atualizadas, recomenda-se que municípios incorporem em seus Códigos de Obras e Posturas exigências mínimas baseadas no Alerta ANAC nº 001/2023 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b) e na literatura técnica (CHIODO et al., 2019; ZHAO et al., 2025); o Quadro 7.9 consolida as ações deste eixo.

Tabela 7.9: Ações municipais para infraestrutura energética e segurança de baterias em vertiportos.

Componente	Ação Municipal	Referência
Estudo de impacto de carga	Exigir como condicionante do alvará de operação	ANEEL, Concessionária
Microrredes e fotovoltaico	Incentivar/exigir em editais de PPP para vertiportos públicos	Metas de descarbonização
<i>Smart charging</i>	Definir janelas de recarga fora do pico no regulamento de operação	ANEEL
Segurança de baterias (Li-ion)	Exigir sistemas de supressão térmica e planos de emergência específicos	(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2023b; CHIODO et al., 2019)
Adequação dos Bombeiros	Solicitar ao Estado atualização das ITs para baterias de lítio e eVTOL	(Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2019; ZHAO et al., 2025)

## 7.6 Infraestrutura Física: Licenciamento Construtivo e Padrões de Segurança

Na infraestrutura física da UAM, a aprovação municipal de vertiportos funciona como ponto de controle local do processo. O licenciamento construtivo combina, de forma simultânea, análise urbanística do uso do solo, verificação de compatibilidade com





OLS e Zona de Proteção de Aeródromo (ZPA) do DECEA, e aprovação das instalações conforme normas de segurança contra incêndio do Corpo de Bombeiros. Para reduzir decisões contraditórias, recomenda-se instituir **fluxo de aprovação unificado** com rito integrado entre Secretaria de Urbanismo, Secretaria de Meio Ambiente e Corpo de Bombeiros, acompanhado de janela de resposta conjunta ao empreendedor.

No conteúdo técnico dos Códigos de Obras, recomenda-se incorporar remissão normativa, em caráter transitório, enquanto não houver regulamentação específica para vertiportos no âmbito municipal ou nacional. Tal abordagem permite, desde já, adotar critérios consolidados para: (i) dimensionamento mínimo de Área de Aproximação Final e Decolagem (FATO)/Área de Toque e Elevação Inicial (TLOF), conforme a maior aeronave prevista; (ii) definição das cargas estruturais da plataforma de pouso; e (iii) atendimento às exigências de auxílios visuais e iluminação noturna.

Essa remissão reduz ambiguidades interpretativas sem demandar alterações e assegura atualização técnica automática em caso de revisão da norma federal. A Tabela 7.11 sintetiza a solução proposta para o alinhamento entre a regulamentação federal e o Código de Obras municipal.

Tabela 7.11: Solução para o conflito entre RBAC federal e Código de Obras municipal.

Parâmetro	Solução Proposta	Instrumento
Cargas estruturais de plataforma	Remissão ao RBAC 155 como norma técnica de referência	Código de Obras
Dimensionamento FATO/TLOF	Incorporar tabelas do RBAC 155 como parâmetro mínimo	Código de Obras
Iluminação e auxílios visuais	Adotar padrões RBAC/ICA como condicionante da aprovação	Decreto regulamentador
Sistemas de supressão de incêndio	Exigir PLEM-H com protocolo específico para baterias Li-ion	Código de Obras / Bombeiros
Proteção perimetral	Definir gabarito de cercamento e redes de segurança	Código de Obras

No fluxo procedimental, a consulta prévia ao DECEA sobre compatibilidade com ZPA deve ser incorporada como etapa obrigatória da aprovação municipal. Recomenda-se formalizar esse procedimento por meio de **checklist bilateral DECEA–Município**, com critérios de análise e prazos de manifestação definidos. Em municípios situados em zonas de influência de aeroportos de grande movimento, como São Paulo (Congonhas), Rio de Janeiro (Santos Dumont) e Brasília, essa etapa deve ser tratada como condicionante inicial de viabilidade do sítio.





## 7.7 Governança Local e Participação Social

Na governança local da UAM, a coordenação transversal entre Secretarias de Transporte, Urbanismo, Meio Ambiente e Segurança Pública é necessária para reduzir fragmentação setorial. A experiência internacional mostra que municípios que apenas recebem normas federais tendem a registrar desalinhamento entre licenciamento urbanístico e requisitos operacionais do modal (CITYAM Project Team, 2024; DÍAZ-OLARIAGA, 2025). Diante disso, recomenda-se instituir **Grupo de Trabalho Municipal de UAM** com mandato permanente, composição intersecretarial e participação do setor privado e da academia.

No plano procedimental, o **EIV** pode operar como instrumento de integração da governança local. Para vertiportos, recomenda-se ampliar o escopo dos EIVs e incluir, além dos impactos urbanísticos tradicionais: (i) impacto acústico com métricas psicoacústicas; (ii) impacto visual e de luminosidade noturna; (iii) impacto sobre tráfego terrestre no entorno (acesso de passageiros e veículos de manutenção); (iv) efeitos sobre mercado imobiliário local; e (v) riscos à segurança pública, com protocolos de contingência. Essa ampliação reduz sobreposição de análises paralelas e consolida um rito de licenciamento mais coordenado.

**Ambientes regulatórios experimentais** (*sandboxes*) municipais constituem mecanismo para validação tecnológica e institucional. Em parceria com a ANAC (conforme Resolução nº 775 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2025)), municípios com estrutura técnica adequada podem sediar testes controlados de rotas e modelos operacionais antes da consolidação normativa nacional. O Quadro 7.13 organiza os instrumentos de governança local considerados neste capítulo.





Tabela 7.13: Instrumentos de governança municipal para a UAM.

Instrumento	Descrição	Referência
GT Municipal de UAM	Grupo intersecretarial permanente com participação privada e acadêmica	(DÍAZ-OLARIAGA, 2025)
EIV ampliado	Incluir acústica, visual, tráfego terrestre, imobiliário e segurança pública	Estatuto da Cidade
<i>Sandbox</i> municipal	Testes controlados em parceria com ANAC antes da consolidação normativa	(Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2025)
Fórum comunitário	Consultas periódicas com representantes de bairros afetados	(BHADURI; CHOUDHURY, 2026)
Portal de transparência	Dados públicos de operações, ruído e licenciamento	Lei de Acesso à Informação
Protocolo Município-DECEA	Checklist bilateral para consulta de ZPAs no licenciamento	(Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2021)
MOU com órgão ambiental estadual	Harmonizar parâmetros de ruído e evitar decisões contraditórias	Diagnóstico institucional

## 7.8 Sustentabilidade Ambiental e Licenciamento Integrado

No eixo ambiental, os municípios atuam em articulação com órgãos estaduais de licenciamento e mantêm atribuições próprias nos procedimentos de EIV e nas normas de posturas locais. Nesse arranjo, recomenda-se celebrar Memorial de entendimento (MOU) entre Prefeitura e órgão ambiental estadual competente, como CETESB (SP), INEA (RJ), SEMAD (MG), IAT (PR), IMA-SC (SC) e INEMA (BA), para harmonizar parâmetros de ruído e impacto ambiental aplicáveis ao licenciamento de vertiportos. A formalização deve definir critérios vinculantes em cada esfera e prazo de resposta conjunta ao empreendedor, reduzindo risco de decisões conflitantes.

Na gestão de risco aviário, recomenda-se incluir no licenciamento ambiental local a exigência de **Plano de Gerenciamento do Risco Aviário (PGRA)** com identificação de espécies presentes, sazonalidade de rotas migratórias e medidas de mitigação. Para vertiportos de maior movimento, a adoção de radares aviários com inteligência artificial (VARNOUSFADERANI; SHIHAB; SCHOFIELD, 2024; VARNOUSFADERANI; SHIHAB, 2025) pode compor o monitoramento permanente. O Quadro 7.15 consolida as ações ambientais locais priorizadas.





Tabela 7.15: Ações ambientais municipais prioritárias para a implementação da UAM.

Nº	Ação	Descrição	Referência
1	MOU com órgão estadual	Harmonizar parâmetros de ruído e evitar decisões contraditórias	Diagnóstico institucional
2	EIV ampliado ambiental	Incorporar impacto acústico, visual e sobre biodiversidade urbana	Estatuto da Cidade
3	PGRA	Plano de gerenciamento do risco aviário como condicionante do licenciamento	(VARNOUSFADERANI; SHIHAB; SCHOFIELD, 2024)
4	Monitoramento meteorológico	Estações de microclima nos vertiportos para protocolos <i>go/no-go</i>	Diretriz técnica operacional
5	Arborização e compensação	Exigir compensação por supressão de vegetação no entorno dos vertiportos	Lei municipal de arborização
6	Energias renováveis	Exigir ou incentivar uso de energia limpa como condicionante do alvará	Metas de descarbonização

## 7.9 Viabilidade Econômica Local e Captura de Mais-Valia Urbana

Na dimensão econômica local, a sustentabilidade financeira da UAM depende de arranjos que distribuam custos e benefícios entre operadores, usuários e poder público municipal. Para esse objetivo, os municípios dispõem de instrumentos de captura de valor: (i) **outorga onerosa do direito de construir** e da mudança de uso em áreas com vertiportos, com receita destinada a melhorias no transporte coletivo local; (ii) **contribuição de melhoria** para proprietários beneficiados pela valorização imobiliária no entorno de vertiportos com infraestrutura pública; e (iii) **cobrança pela utilização de espaço aéreo municipal**, atualmente em discussão normativa, nos termos de futuro regulamento federal. A combinação desses instrumentos permite estruturar fontes locais de financiamento associadas à expansão da operação.

No âmbito das PPP, recomenda-se incluir em editais municipais cláusulas de contrapartida social mínima, como percentual de viagens subsidiadas para serviços de saúde e defesa civil e metas de expansão progressiva para áreas menos servidas. Na modelagem econômico-financeira, convém considerar subsídios cruzados, com rotas de maior demanda financiando cobertura de rotas de menor rentabilidade em zonas periféricas (LIU et al., 2026). Esse desenho contribui para compatibilizar equilíbrio contratual e ampliação territorial do serviço. A Tabela 7.17 consolida os mecanismos econômicos disponíveis aos municípios para viabilidade e democratização da UAM.





Tabela 7.17: Mecanismos econômicos municipais para viabilidade e democratização da UAM.

Mecanismo	Descrição	Finalidade
Outorga onerosa	Cobrança pelo direito de construir/usar vertiporto em zona urbana	Financiamento de transporte coletivo
Contribuição de melhoria	Captura de valorização imobiliária no entorno	Reinvestimento em infraestrutura pública
PPP com contrapartida social	Cláusulas de rotas subsidiadas e cobertura periférica	Equidade de acesso
Integração tarifária (MaaS)	Bilhete único integrando UAM ao transporte coletivo	Intermodalidade plena
Subsídio cruzado de rotas	Rotas de alta demanda financiam rotas de baixa rentabilidade	Ampliação da cobertura territorial
Estudo de preferência declarada	Mensurar disposição a pagar local para calibrar tarifas	Calibração de modelos tarifários

## 7.10 Síntese: Agenda Municipal para a UAM

Nesta síntese final, o capítulo consolida nove frentes de ação municipal para implementação gradual da UAM. O conjunto articula instrumentos normativos, urbanísticos, ambientais, tecnológicos e econômicos disponíveis à esfera local: (1) adaptação normativa local com categorias específicas no zoneamento e Código de Obras; (2) planejamento territorial com análise multicriterial e abordagem TOD; (3) gestão acústica com limites locais e monitoramento comunitário; (4) integração intermodal via PlanMob e plataformas MaaS; (5) infraestrutura energética com requisitos para baterias de lítio; (6) licenciamento construtivo unificado com remissão ao RBAC; (7) governança transversal com EIV ampliado e *sandbox* experimental; (8) licenciamento ambiental integrado com MOU estadual-municipal; e (9) viabilidade econômica com captura de mais-valia e PPPs com contrapartida social. A organização dessas frentes fornece referência operacional para planejamento, regulação e implantação.

A Figura 7.2 apresenta o roteiro de ação municipal em três horizontes temporais, com as frentes priorizadas em cada fase.



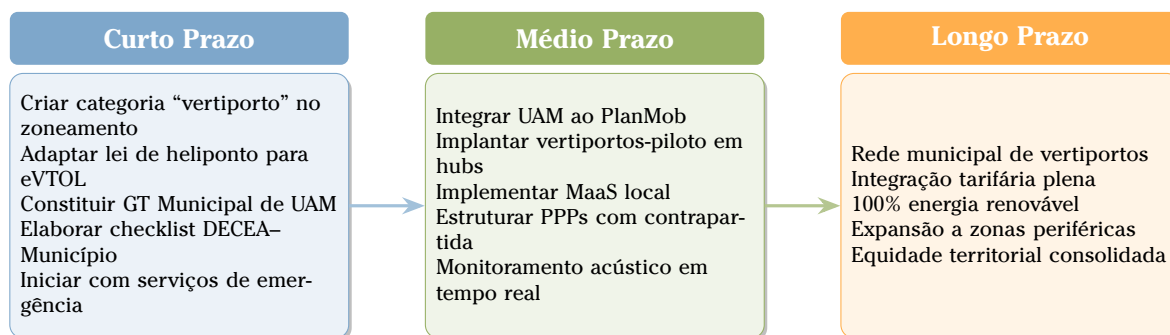


Figura 7.2: Roteiro estratégico municipal de implementação da UAM.

Por fim, o diagnóstico indica que municípios brasileiros dispõem, em diferentes níveis, de instrumentos urbanísticos, ambientais e de governança para absorver a UAM em seus territórios. Persistem lacunas como ausência de categorias normativas específicas, insuficiência de protocolos integrados de licenciamento, inexistência de parâmetros acústicos para eVTOL e carência de estruturas transversais de coordenação. Nesse cenário, a prioridade recai sobre **coordenação entre camadas de aprovação e atualização seletiva de instrumentos existentes**, em vez da criação integral de novos arcabouços, permitindo que municípios com atuação proativa estruturem condições para receber projetos de UAM com critérios de segurança operacional, sustentabilidade e equidade territorial.





## 8 Considerações Finais

O percurso metodológico percorrido neste relatório, da mineração terminológica do corpus normativo, passando pela análise bibliométrica de 4394 artigos científicos e pela extração assistida por LLMs de questões e diretrizes, até a avaliação multidimensional pelo *framework* PESTEL, permite, neste capítulo final, identificar com precisão onde o ecossistema regulatório e científico da UAM brasileiro é robusto e onde apresenta lacunas críticas que demandam ação imediata dos gestores públicos.

O Painel PESTEL (Capítulo 6), ao cruzar a cobertura de cada fator em três dimensões, a saber, base normativa brasileira, literatura científica internacional e diretrizes operacionais de organismos como NASA, FAA e EASA, revelou uma distribuição assimétrica. O fator **Tecnológico** e o fator **Social** apresentam a maior cobertura conjunta (63% das células possíveis), refletindo o consenso normativo e científico sobre a centralidade da inovação e da aceitação pública. Em contraposição, o fator **Econômico** registrou a menor cobertura de todo o corpus (30%), e o fator **Legal**, embora onipresente no normativo, praticamente desaparece na literatura científica, sinalizando que as normas brasileiras não estão sendo testadas criticamente pela comunidade acadêmica.

Esses resultados revelam que os maiores desafios para a implantação da UAM no Brasil não residem na ausência de regulação técnica, que existe e é abrangente, mas na **desconexão entre as três dimensões**: normas que não dialogam com a ciência, ciência que não alcança a regulação, e ambas operando sem os instrumentos econômicos necessários para que a UAM seja viável e equitativa. As seções a seguir detalham cada lacuna e apresentam recomendações práticas, ordenadas por urgência.

### 8.1 Lacuna Crítica: Fator Econômico

**Diagnóstico:** A viabilidade econômica da UAM é amplamente discutida na literatura científica recente com modelos sofisticados de demanda, precificação dinâmica e integração a plataformas MaaS. Contudo, o normativo brasileiro permanece silente quanto a instrumentos econômicos concretos. Apenas dois temas (Infraestrutura Energética e Viabilidade Econômica) mencionam aspectos financeiros, mas de forma





genérica — não há diretrizes sobre PPPs, regimes de concessão, subsídios cruzados, captura de valorização imobiliária ou tarifação social.

**Consequências:** Sem arcabouço econômico-regulatório, a UAM corre risco de: (i) não atrair investimentos privados por ausência de previsibilidade; (ii) consolidar-se como modal de elite por falta de políticas de acessibilidade tarifária; (iii) sobrecarregar orçamentos municipais com infraestrutura não remunerada.

### **Recomendações:**

1. Incluir capítulo econômico-financeiro específico nos Planos Diretores Municipais que contemplem UAM, estabelecendo: (a) modelagem de receitas (tarifas, arrendamento de lajes, taxas de pouso); (b) mecanismos de captura de valorização fundiária no entorno de vertiportos; (c) regime de contrapartidas para operadores privados.
2. Regulamentar PPPs para infraestrutura UAM mediante Lei Municipal específica, definindo indicadores de desempenho, cláusulas de reversão de ativos e garantias de universalização progressiva do serviço.
3. Criar Fundo Municipal UAM, com receitas vinculadas à compensação ambiental (TCRA) e destinação para subsídios tarifários em rotas socialmente estratégicas (ex.: conexão hospital-periferia).

## 8.2 Lacuna Normativo-Científica

**Diagnóstico:** Paradoxalmente, o fator mais presente no normativo (9/9 temas) é o menos estudado cientificamente (2/9 temas). A literatura internacional não está avaliando criticamente a *qualidade* e *adequação* das normas brasileiras (RBAC, ICAs, PCA) ao estado da arte em segurança, certificação acústica e gestão de riscos emergentes. Esta lacuna impede que o Brasil identifique desatualizações regulatórias, aprenda com benchmarks internacionais e corrija distorções normativas antes que se tornem barreiras operacionais.

**Consequências:** Normas desatualizadas podem: (i) impor requisitos técnicos obsoletos que encarecem desnecessariamente a operação; (ii) negligenciar riscos





emergentes (ex.: cibersegurança, falhas de IA embarcada); (iii) criar incompatibilidade com certificações internacionais, isolando o Brasil do mercado global de eVTOLs.

### Recomendações:

1. Fomentar linha de pesquisa específica sobre *análise de adequação regulatória*, mediante editais conjuntos ANAC-CNPq-FAPESP, priorizando estudos comparativos entre: (a) requisitos do RBAC 155 vs. EASA SC-VTOL; (b) métricas acústicas do RBAC 161 vs. propostas científicas de Torija et al. (2021) e Alabi et al. (2025); (c) superfícies de proteção do ICA 11-408 vs. conceitos de “terreno acústico virtual” da NASA.
2. Institucionalizar revisão quinquenal obrigatória das normas UAM, condicionada à apresentação de pareceres técnicos embasados em revisão sistemática da literatura científica dos últimos 5 anos.
3. Criar Grupo de Trabalho Científico-Regulatório permanente (com representantes de ANAC, DECEA, ITA, universidades e operadores) para traduzir achados científicos em propostas de atualização normativa.

## 8.3 Gap Tecnológico

**Diagnóstico:** O fator Tecnológico apresenta a maior cobertura científica (7/9 temas), refletindo o ritmo acelerado de inovação em IA para gerenciamento de tráfego, redes 5G/6G de ultra-baixa latência, comunicação V2V, baterias de estado sólido e sensores LiDAR. Contudo, a cobertura normativa é apenas moderada (4/9 temas), indicando que as regulações vigentes foram concebidas para tecnologias de helicópteros tradicionais e não contemplam adequadamente: (i) requisitos de cibersegurança para sistemas autônomos; (ii) protocolos de certificação de IA embarcada; (iii) padrões de interoperabilidade para UTM/U-Space; (iv) homologação de novos sistemas de propulsão elétrica distribuída.

**Consequências:** O descompasso tecnologia-regulação pode: (i) atrasar a entrada em operação de eVTOLs certificados internacionalmente mas não homologados no Brasil; (ii) obrigar operadores a adotarem sistemas redundantes obsoletos por exigência normativa, aumentando custos; (iii) inviabilizar testes de novos conceitos





operacionais (como voo autônomo urbano) por ausência de framework regulatório experimental.

### Recomendações:

1. Criar *Sandbox Regulatório UAM* — regime especial de experimentação que permita testes controlados de tecnologias emergentes (ex.: voo autônomo Nível 3/4, troca rápida de baterias, carregamento por indução) em áreas delimitadas, mediante waiver temporário de requisitos normativos incompatíveis, sujeito a monitoramento contínuo de segurança.
2. Estabelecer ciclo anual de atualização das ICAs tecnológicas (ICA 100-12, ICA 100-31), sincronizado com revisões da ICAO Annex 10 e atualizações do RTCA DO-377 (MOPS para DAA).
3. Desenvolver Guia Técnico ANAC específico para *Certificação de Sistemas Baseados em IA*, estabelecendo requisitos de: (a) explicabilidade de decisões autônomas; (b) validação de datasets de treinamento; (c) protocolos de monitoramento de drift de modelo; (d) requisitos de redundância para funções críticas de segurança.

## 8.4 Equilíbrio Positivo Social

**Diagnóstico:** O fator Social é o mais equilibrado entre as três dimensões (6 temas no normativo, 7 na ciência, 5 internacionalmente), refletindo consenso sobre a centralidade da aceitação comunitária para o sucesso da UAM. Tanto o Estatuto da Cidade (Brasil) quanto os CONOPs da NASA e estudos de Bhaduri et al. (2026) e Sunitiyoso et al. (2025) convergem em: (i) necessidade de processos participativos; (ii) mitigação proativa de intrusão visual/sonora; (iii) equidade na alocação espacial de infraestrutura; (iv) transparência de dados operacionais.

**Atenção Residual:** Apesar da cobertura adequada, persiste lacuna instrumental — faltam *ferramentas práticas* para operacionalizar a participação social. Audiências públicas tradicionais são insuficientes para captar a percepção comunitária sobre impactos tridimensionais (ruído, sombra, privacidade aérea).

### Recomendações:





1. Desenvolver *Plataforma Geoespacial Interativa de Engajamento Cidadão*, permitindo que a população visualize: (a) rotas aéreas propostas sobrepostas a áreas residenciais; (b) simulações de dispersão sonora em diferentes horários; (c) localização de vertiportos com raios de influência; (d) submissão geolocalizada de comentários e objeções.
2. Institucionalizar *Índice de Aceitação Social UAM* (IAS-UAM), calculado semestralmente via pesquisa amostral representativa, como pré-requisito para aprovação de novos vertiportos ou aumento de densidade de tráfego em corredores existentes.
3. Exigir, no EIV de vertiportos, a realização de *Oficinas de Visualização Imersiva* (usando realidade virtual para simular a experiência de sobrevoo) com moradores do entorno antes da aprovação final.

## 8.5 Convergência Ambiental

**Diagnóstico:** O fator Ambiental apresenta distribuição equilibrada (5 temas em cada dimensão), com forte presença do Código Florestal, Lei de Fauna (12.725/2012) e Resoluções CONAMA no normativo; estudos robustos de Liang (2025), Sabziyan (2024, 2025) e Vashi (2024) sobre emissões de ciclo de vida, gestão de colisão com fauna aviária e integração a fontes renováveis na ciência; e diretrizes da NASA/FAA sobre exclusão de áreas de conservação e protocolos climáticos nas referências internacionais.

**Lacuna Residual:** A integração operacional ainda é deficitária — falta conectividade entre: (i) sistemas de licenciamento ambiental municipal e aprovação aeronáutica federal; (ii) dados de microclima urbano e planejamento de rotas; (iii) inventários municipais de fauna e sistemas UTM de detecção e evasão (DAA).

### Recomendações:

1. Implementar *Licença Urbanístico-Ambiental Integrada* para vertiportos, unificando análises de impacto viário (municipal), ambiental (estadual/municipal) e aeronáutico (federal) em plataforma digital única, com prazos sincronizados.
2. Exigir que operadores UAM instalem *Rede de Sensores Meteorológicos de Alta Resolução* em vertiportos, alimentando banco de dados público municipal para modelagem de microclima urbano e previsão de rajadas em cânions.





3. Condicionar a aprovação de rotas aéreas à apresentação de *Estudo de Interferência em Fauna Aviária*, baseado em dados de radar ornitológico e sobreposição com rotas migratórias mapeadas por instituições como CEMAVE/ICMBio, com implementação obrigatória de protocolo de atraso de decolagem em eventos de alto risco.

## 8.6 Síntese e Implicações para o Gestor Municipal

A análise quantitativa PESTEL revela três padrões estruturais que devem orientar a estratégia municipal para UAM:

1. **Hipertrofia legal sem validação científica.** O arcabouço normativo brasileiro é extenso mas opera de forma relativamente isolada da fronteira científica. Municípios devem compensar esta lacuna mediante criação de comitês técnico-científicos locais que traduzam evidências recentes em ajustes de planos diretores e códigos de obras.
2. **Invisibilidade econômica no normativo.** A ausência de instrumentos regulatórios de viabilização econômica pode inviabilizar a implantação da UAM ou concentrá-la em nichos de altíssima renda. Municípios devem protagonizar a criação de marcos locais de PPP, subsídios e captura de valorização.
3. **Convergência socioambiental mas déficit instrumental.** Há consenso sobre a importância de aceitação social e sustentabilidade ambiental, mas faltam ferramentas práticas de operacionalização. A recomendação central é investir em plataformas digitais de engajamento cidadão, sensoriamento ambiental urbano e integração de dados.

A Tabela 8.1 sintetiza as prioridades de ação municipal derivadas da análise de lacunas:

A análise quantitativa PESTEL demonstra que a implementação bem-sucedida da UAM no Brasil depende menos da criação de novas normas federais e mais da capacidade municipal de: (i) traduzir diretrizes genéricas em instrumentos locais específicos; (ii) preencher lacunas normativas mediante legislação suplementar; (iii) institucionalizar processos de atualização regulatória baseados em evidência científica; (iv) criar ambiente de previsibilidade econômica que atraia investimento privado sem comprometer equidade social.





Tabela 8.1: Prioridades de ação municipal por fator PESTEL

<b>Fator</b>	<b>Urgência</b>	<b>Ação Prioritária</b>
Econômico	Crítica	Regulamentação de PPPs e criação de Fundo Municipal UAM
Legal	Alta	Institucionalização de GT Científico-Regulatório
Tecnológico	Alta	Criação de Sandbox Regulatório
Social	Média	Desenvolvimento de Plataforma Geoespacial de Engajamento
Ambiental	Média	Implementação de Licença Integrada
Político	Baixa	Consolidação de Consórcio Intermunicipal

Este relatório demonstra que a viabilidade da UAM pode desfrutar de uma gestão compartilhada entre as esferas federal e municipal. As diretrizes aqui propostas, fundamentadas no Guia de Planos Diretores, oferecem segurança jurídica para o município e clareza para os operadores privados.





## Bibliografia

ADAMIDIS, F. et al. Urban air mobility for airport access: Mode choice preferences and pricing considerations. **Transport Policy**, Elsevier BV, v. 171, p. 1025–1040, Sep 2025. ISSN 0967-070X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.07.027>>.

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Vertiportos e Possíveis Intervenções Regulatórias**. Brasília, DF, 2021. Regulatory guidance for vertiport design and operation in Brazil. Disponível em: <[https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aeroportos-e-aerodromos/arquivos/ApresentaoCafcomSegurana04nov21\\_Vertiportosepossveisintervenoesregulatrias\\_MariaPaulaMacedo.pdf](https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aeroportos-e-aerodromos/arquivos/ApresentaoCafcomSegurana04nov21_Vertiportosepossveisintervenoesregulatrias_MariaPaulaMacedo.pdf)>.

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Advanced Air Mobility – Panorama e Perspectivas - 2023**. Brasília, DF, 2023. Strategic assessment of AAM market and regulatory environment. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/centrais-de-contenido/publicacoes/publicacoes-arquivos/aam-panorama-2023.pdf>>.

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **ALERTA n° 001/2023 - Alerta aos Operadores de Aeródromos**. Brasília, DF: [s.n.], 2023. Diário Oficial da União. Alerta regulatório de segurança da ANAC. Disponível em: <[https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aeroportos-e-aerodromos/arquivos/ALERTAn001\\_2023InfraestruturaparapousoedecolagemdeaeronaveseVTOL.pdf](https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aeroportos-e-aerodromos/arquivos/ALERTAn001_2023InfraestruturaparapousoedecolagemdeaeronaveseVTOL.pdf)>.

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **IS 161 - Instrução Suplementar: Planos de Zoneamento de Ruído de Aeródromos - PZR**. Brasília, DF, 2024. Instruções suplementares para implementação do RBAC 161. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/ acesso-a-informacao/participacao-social/consultas-setoriais/consultas/2023/01/minuta-is-161-053a.pdf>>.

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBAC 161 - Emenda 04: Planos de Zoneamento de Ruído de Aeródromos**. Brasília, DF: [s.n.], 2024. Diário Oficial da União. Emenda 04 ao RBAC 161. Disponível em: <<https://pergamum.anac.gov.br/pergamum/vinculos/RBAC161EMD04.pdf>>.

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **RBAC 161 com Emendas e Correções**. Brasília, DF: [s.n.], 2024. Documentação Oficial. Versão consolidada com todas as emendas ao RBAC 161.

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Resolução n.º 775, de 5 de agosto de 2025**: Institui o ambiente regulatório experimental (sandbox regulatório). Brasília, DF: [s.n.], 2025. Diário Oficial da União. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2025/resolucao-775#:~:text=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20n%C2%BA%20775%2C%20DE%205,1he%20foi%20outorgada%20pelo%20art.>>





Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). **Artatel nº 915 de 01 de fevereiro de 2024**. Brasília, DF: [s.n.], 2024. Diário Oficial da União. Regulamentação ANATEL para comunicações aeronáuticas. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2024/1920-ato-915>>.

AHN, B.; HWANG, H.-Y. Design Criteria and Accommodating Capacity Analysis of Vertiports for Urban Air Mobility and Its Application at Gimpo Airport in Korea. **Applied Sciences**, MDPI AG, v. 12, n. 12, p. 6077, Jun 2022. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/app12126077>>.

AHUJA, V. et al. On the prediction of noise generated by urban air mobility (uam) vehicles. II. Implementation of the Farassat F1A formulation into a modern surface-vorticity panel solver. **Physics of Fluids**, AIP Publishing, v. 34, n. 11, Nov 2022. ISSN 1089-7666. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/5.0105002>>.

AL-RUBAYE, S.; TSOURDOS, A.; NAMUDURI, K. Advanced Air Mobility Operation and Infrastructure for Sustainable Connected eVTOL Vehicle. **Drones**, MDPI AG, v. 7, n. 5, p. 319, May 2023. ISSN 2504-446X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/drone7050319>>.

ALABI, B. N. T. et al. Breaking the Sound Barrier: Investigating Noise Challenges in the Development of Advanced Air Mobility. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, SAGE Publications, Dec 2025. ISSN 2169-4052. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/03611981251393207>>.

ANAC. **RBAC nº 155 – Helipontos**. Brasília, 2024. Emenda nº 01. Disponível em: <<https://pergamum.anac.gov.br/pergamum/vinculos/RBAC155EMD01.pdf>>.

ANAC. **RBAC nº 135 – Operações de serviço de transporte aéreo com aviões com configuração máxima certificada de até 19 assentos para passageiros e capacidade máxima de carga paga de até 3.400 kg (7.500 lb) ou helicópteros**. Brasília, 2025. Emenda nº 15. Disponível em: <<https://pergamum.anac.gov.br/pergamum/vinculos/RBAC135EMD15.pdf>>.

ANDRENACCI, N.; RAGONA, R.; GENOVESE, A. Evaluation of the Instantaneous Power Demand of an Electric Charging Station in an Urban Scenario. **Energies**, MDPI AG, v. 13, n. 11, p. 2715, May 2020. ISSN 1996-1073. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/en13112715>>.

ANDRENACCI, N.; RAGONA, R.; VALENTI, G. A demand-side approach to the optimal deployment of electric vehicle charging stations in metropolitan areas. **Applied Energy**, Elsevier BV, v. 182, p. 39–46, Nov 2016. ISSN 0306-2619. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.137>>.

ANSARI, S. et al. Urban Air Mobility—A 6G Use Case? **Frontiers in Communications and Networks**, Frontiers Media SA, v. 2, Aug 2021. ISSN 2673-530X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/frcmn.2021.729767>>.

ARAGHIZADEH, M. S. et al. Aeroacoustic investigation of side-by-side urban air mobility aircraft in full configuration with ground effect. **Physics of Fluids**, AIP Publishing, v. 36, n. 8, Aug 2024. ISSN 1089-7666. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1063/5.0221902>>.





ARYENDU, I. et al. Communication Systems for Autonomous eVTOL: Regulatory Challenges, Emerging Technologies, and Future Directions. **IEEE Open Journal of the Communications Society**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 6, p. 9206–9228, 2025. ISSN 2644-125X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/ojcoms.2025.3623085>>.

ASMER, L. et al. A city-centric approach to estimate and evaluate global Urban Air Mobility demand. **CEAS Aeronautical Journal**, Springer Science and Business Media LLC, v. 16, n. 3, p. 697–712, Jun 2024. ISSN 1869-5590. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s13272-024-00742-w>>.

BHADURI, E.; CHOUDHURY, C. F. Shifting skies: A cross-country investigation of evolution of public perception toward urban air mobility through Twitter (X) discourse. **Journal of Air Transport Management**, Elsevier BV, v. 132, p. 102950, Apr 2026. ISSN 0969-6997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102950>>.

BIAN, H. et al. Assessment of UAM and drone noise impact on the environment based on virtual flights. **Aerospace Science and Technology**, Elsevier BV, v. 118, p. 106996, Nov 2021. ISSN 1270-9638. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ast.2021.106996>>.

BRASIL. **Lei n.º 7.565, de 19 de dezembro de 1986**: Dispõe sobre o código brasileiro de aeronáutica. Brasília, DF: [s.n.], 1986. Diário Oficial da União. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7565.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7565.htm)>.

BRASIL. **Lei n.º 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade)**. Brasília, 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm)>.

BRASIL. **Lei n.º 11.182, de 27 de setembro de 2005**. Brasília, 2005. Cria a Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/Lei/L11182.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11182.htm)>.

BRASIL. **Lei n.º 12.587, de 3 de janeiro de 2012**: Institui as diretrizes da política nacional de mobilidade urbana. Brasília, DF: [s.n.], 2012. Diário Oficial da União. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm)>.

Brasil. **Lei n.º 12.725/2012 - Controle da fauna nas imediações de aeródromos**. 2012. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12725.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12725.htm)>.

BRASIL. **Lei n.º 15.190, de 22 de agosto de 2025**. Brasília, 2025. Dispõe sobre o licenciamento ambiental e dá outras providências. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2025/lei-15190-8-agosto-2025-797833-publicacaooriginal-176089-pl.html>>.

BRASIL - Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei n.º 743/2025**. Brasília, 2025. Dispõe sobre a Mobilidade Aérea Urbana e Avançada no Brasil. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/167437/pdf>>.





BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional; GIZ; Instituto Pólis. **Guia para Elaboração e Revisão de Planos Diretores**. 4. ed. Brasília: MDR/GIZ, 2022. Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável.

BRUNELLI, M.; DITTA, C. C.; POSTORINO, M. N. New infrastructures for Urban Air Mobility systems: A systematic review on vertiport location and capacity. **Journal of Air Transport Management**, Elsevier BV, v. 112, p. 102460, Sep 2023. ISSN 0969-6997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102460>>.

CHAE, M. et al. Potential market based policy considerations for urban air mobility. **Journal of Air Transport Management**, Elsevier BV, v. 119, p. 102654, Aug 2024. ISSN 0969-6997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102654>>.

CHIODO, E. et al. A Probabilistic Approach to Assess the Requirements of an Ultra-Fast PEV Charging Station in Extra-Urban Contexts. In: **2019 AEIT International Annual Conference (AEIT)**. IEEE, 2019. p. 1–6. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.23919/aeit.2019.8893357>>.

CITYAM Project Team. **Development of a Geospatial Decision Support Tool for UAM Landing and Launch Site Location Planning**. Europe, 2024. Ferramenta geoespacial para seleção ótima de locais de pouso e decolagem em UAM. Disponível em: <<https://www.cityam.aero>>.

Congresso Nacional. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 - Parcelamento do Solo Urbano**. 1979. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6766.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm)>.

Congresso Nacional. **Lei nº 13.116, de 20 de abril de 2015**. 2015. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/l13116.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13116.htm)>.

Congresso Nacional. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 - Código Florestal**. 2022. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Brasília, 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Brasília, 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.

COPPOLA, P.; FABIIS, F. D.; SILVESTRI, F. Urban Air Mobility (UAM): Airport shuttles or city-taxis? **Transport Policy**, Elsevier BV, v. 150, p. 24–34, May 2024. ISSN 0967-070X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.03.003>>.

Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. **Instrução Técnica nº 31/2019 – Segurança contra incêndio para heliponto e heliporto**. 2019. Publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, Seção I, Suplementos, p. 177, de 9 de abril de 2019. Portaria nº CCB-002/810/19. Substitui a IT nº 31/2018. Aplica-se a todas as edificações e áreas de risco que possuam helipontos ou heliportos. Disponível em: <<https://guiasegci.com.br/legislacoes/it-31-2019-heliponto-e-heliporto/>>.





Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). **ICA 11-408 - Restrições aos Objetos Projetados no Espaço Aéreo**. [S.l.], 2020. Disponível em: <[https://ipdsa.org.br/dados/link/434/arquivo/ICA%2011-408%20-%20Restri\\_\\_\\_es%20aos%20objetos%20projetados%20no%20espa\\_o%20a\\_reo.pdf](https://ipdsa.org.br/dados/link/434/arquivo/ICA%2011-408%20-%20Restri___es%20aos%20objetos%20projetados%20no%20espa_o%20a_reo.pdf)>.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). **ICA 11-3 - Processos da Área de Aerodromos (AGA) no Âmbito do COMAER**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://static.decea.mil.br/publicacoes/files/2021/1648735302-ica-11-3-processos-da-area-de-aerodromos-aga-no-ambito-do-comaer.pdf>>.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). **ICA 100-12 - Procedimentos para o Serviço de Tráfego Aéreo**. Rio de Janeiro, RJ, 2024. Procedimentos para serviço de tráfego aéreo.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). **ICA 100-31 - Código de Tráfego Aéreo**. Rio de Janeiro, RJ, 2024. Normas técnicas para o tráfego aéreo.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). **ICA 63-19 - Normas para Funcionamento de Serviços de Navegação Aérea**. Rio de Janeiro, RJ, 2024. Normas para navegação aérea.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). **PCA 351-7 - Procedimentos para Controle de Aproximação por Instrumentos**. [S.l.], 2024. Disponível em: <<https://static.decea.mil.br/publicacoes/files/2024/1732506864-pca-351-7-2024.pdf>>.

DO, H. et al. Cellular Connectivity for Advanced Air Mobility: Use Cases and Beamforming Approaches. **IEEE Communications Standards Magazine**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 8, n. 1, p. 65–71, Mar 2024. ISSN 2471-2833. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/mcomstd.0007.2200069>>.

DÍAZ-OLARIAGA, O. Lineamientos de política pública para la movilidad aérea urbana. **Gestión y política pública**, Centro de Investigación y Docencia Económicas AC, División de Administración, v. 34, n. 1, p. 105–140, 2025.

EHRHARDT, N.; HORLACHER, P. H.; STRAUBINGER, A. Innovation strategies for non-existent markets - Profiting from urban air mobility. **Journal of Air Transport Management**, Elsevier BV, v. 118, p. 102601, Jul 2024. ISSN 0969-6997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102601>>.

FARAZI, N. P.; ZOU, B. Planning electric vertical takeoff and landing aircraft (evtol)-based package delivery with community noise impact considerations. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Elsevier BV, v. 189, p. 103661, Sep 2024. ISSN 1366-5545. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2024.103661>>.

Federal Aviation Administration. **Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operations v1.0**. [S.l.], 2020. Versão inicial do ConOps de UAM da FAA. Disponível em: <[https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/Urban\\_Air\\_Mobility\\_ConOps\\_v1.0\\_Final.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/Urban_Air_Mobility_ConOps_v1.0_Final.pdf)>.

Federal Aviation Administration. **Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operations v2.0**. [S.l.], 2023. Acessado em: Dez. 2025. Disponível em: <[https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/Urban%20Air%20Mobility%20%28UAM%29%20Concept%20of%20Operations%202.0\\_0.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/Urban%20Air%20Mobility%20%28UAM%29%20Concept%20of%20Operations%202.0_0.pdf)>.





Federal Aviation Administration (FAA). **Conceptual Operations Plan for Low-Altitude Airspace Operations (Low-Altitude ConOps)**. Washington, D.C., USA, 2020. FAA ConOps version 1.0 para operações em baixa altitude. Disponível em: <[https://www.faa.gov/uas/advanced\\_operations/conops/](https://www.faa.gov/uas/advanced_operations/conops/)>.

Federal Aviation Administration (FAA). **Unmanned Aircraft Systems Traffic Management (UTM) Conceptual Operations Plan**. Washington, D.C., USA, 2020. FAA ConOps v2 para gerenciamento de tráfego de aeronaves não tripuladas. Disponível em: <[https://www.faa.gov/uas/advanced\\_operations/traffic\\_management/](https://www.faa.gov/uas/advanced_operations/traffic_management/)>.

Federal Aviation Administration (FAA); National Renewable Energy Laboratory (NREL). **Vertiport Electrical Infrastructure Study: Requirements and Considerations**. Washington, D.C., USA, 2023. Estudo sobre requisitos de infraestrutura elétrica para vertiportos.

Federal Aviation Administration (FAA) and Industry Partners. **Conceptual Operations Plan for Urban Air Mobility with Passenger-Carrying Aircraft**. Washington, D.C., USA, 2020. Plano operacional conceitual para operações de UAM com transporte de passageiros.

FILHO, J. **Python para Linguística de Corpus: Guia Prático**. Independently Published, 2021. ISBN 9798589797800. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=gKoqzgeEACAAJ>>.

GAO, Z.; PORCAYO, A.; CLARKE, J.-P. Developing virtual acoustic terrain for Urban Air Mobility trajectory planning. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, Elsevier BV, v. 120, p. 103794, Jul 2023. ISSN 1361-9209. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2023.103794>>.

GOYAL, R. et al. Advanced Air Mobility: Demand Analysis and Market Potential of the Airport Shuttle and Air Taxi Markets. **Sustainability**, MDPI AG, v. 13, n. 13, p. 7421, Jul 2021. ISSN 2071-1050. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su13137421>>.

JEONG, J.; SO, M.; HWANG, H.-Y. Selection of Vertiports Using K-Means Algorithm and Noise Analyses for Urban Air Mobility (UAM) in the Seoul Metropolitan Area. **Applied Sciences**, MDPI AG, v. 11, n. 12, p. 5729, Jun 2021. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/app11125729>>.

JIANG, X. et al. Simulation-Based Optimization for Vertiport Location Selection: A Surrogate Model With Machine Learning Method. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, SAGE Publications, v. 2679, n. 2, p. 2099–2110, Sep 2024. ISSN 2169-4052. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/03611981241277755>>.

JIANG, Y. et al. Vertiport location for eVTOL considering multidimensional demand of urban air mobility: An application in Beijing. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier BV, v. 192, p. 104353, Feb 2025. ISSN 0965-8564. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2024.104353>>.

JIN, Y.; MA, J. A Strategy-Aware LLM-Based Framework for Vertiport Site Selection in Urban Air Mobility with Ground Transportation Integration. **Smart**





**Cities**, MDPI AG, v. 8, n. 6, p. 202, Nov 2025. ISSN 2624-6511. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/smartcities8060202>>.

KIM, J.-H.; KIM, C.-H. Demand power with EV charging schemes considering actual data. **Journal of International Council on Electrical Engineering**, Informa UK Limited, v. 6, n. 1, p. 235–241, Jan 2016. ISSN 2234-8972. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/22348972.2016.1254080>>.

KIM, S.; YEO, J.; KWON, Y. Understanding determinants of willingness to pay for airport shuttle service of urban air mobility. **Research in Transportation Business & Management**, Elsevier BV, v. 62, p. 101444, Oct 2025. ISSN 2210-5395. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2025.101444>>.

KO, S. et al. Measuring public willingness to pay for Urban Air Mobility: A national contingent valuation study in South Korea. **Transport Policy**, Elsevier BV, v. 179, p. 104007, Apr 2026. ISSN 0967-070X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2026.104007>>.

LEE, S.; CHO, N. Optimal Location of Urban Air Mobility (UAM) Vertiport Using a Three-Stage Geospatial Analysis Framework. **Future Transportation**, MDPI AG, v. 5, n. 2, p. 58, May 2025. ISSN 2673-7590. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/futuretransp5020058>>.

LI, X. Repurposing Existing Infrastructure for Urban Air Mobility: A Scenario Analysis in Southern California. **Drones**, MDPI AG, v. 7, n. 1, p. 37, Jan 2023. ISSN 2504-446X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/drones7010037>>.

LI, X.; DANG, A.; CHEN, M. Green, safe, and Cost-Effective? An integrated structural analysis of public acceptance of urban air mobility. **Transport Policy**, Elsevier BV, v. 173, p. 103795, Nov 2025. ISSN 0967-070X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.103795>>.

LIANG, Y.; ZHANG, W.; LI, C. Assessing the Deployment of Electric Aircraft from Energy, Environmental, and Economic Perspectives. **Sustainability**, MDPI AG, v. 17, n. 12, p. 5453, Jun 2025. ISSN 2071-1050. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su17125453>>.

LIU, R. et al. Transit oriented development under the influence of urban air mobility: A public transit-based vertiport siting method. **Journal of Air Transport Management**, Elsevier BV, v. 133, p. 102962, May 2026. ISSN 0969-6997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2025.102962>>.

LIU, T. et al. Ultrafast charging of energy-dense lithium-ion batteries for urban air mobility. **eTransportation**, Elsevier BV, v. 7, p. 100103, Feb 2021. ISSN 2590-1168. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.etrans.2021.100103>>.

LONG, Q. et al. Demand analysis in urban air mobility: A literature review. **Journal of Air Transport Management**, Elsevier BV, v. 112, p. 102436, Sep 2023. ISSN 0969-6997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102436>>.





MACIAS, J. E. et al. An integrated vertiport placement model considering vehicle sizing and queuing: A case study in London. **Journal of Air Transport Management**, Elsevier BV, v. 113, p. 102486, Oct 2023. ISSN 0969-6997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102486>>.

MAVRAJ, G. et al. A Systematic Review of Ground-Based Infrastructure for the Innovative Urban Air Mobility. **Transactions on Aerospace Research**, Walter de Gruyter GmbH, v. 2022, n. 4, p. 1–17, Dec 2022. ISSN 2545-2835. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2478/tar-2022-0019>>.

Ministério das Cidades. **Guia para Elaboração e Revisão de Planos Diretores**. Brasília, DF, 2004.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Advanced Air Mobility (AAM) Research Strategy**. Washington, DC, 2020. Research and Development Strategy for Advanced Air Mobility. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/aeronautics/advanced-air-mobility>>.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Technical Management of Advanced Air Mobility Initiatives**. Washington, D.C., USA, 2020. Gerenciamento técnico de iniciativas de mobilidade aérea.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Technical Management of Advanced Air Mobility Operations**. Hampton, VA, 2020. Guidance document for technical aspects of AAM operations.

NETO, E. C. P. et al. Towards Planning Urban Air Mobility (UAM) Landing Trajectories in Emergencies. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, Springer Science and Business Media LLC, v. 111, n. 1, Jan 2025. ISSN 1573-0409. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10846-024-02213-0>>.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, Springer, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.

REICHE, C.; COHEN, A. P.; FERNANDO, C. An Initial Assessment of the Potential Weather Barriers of Urban Air Mobility. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 22, n. 9, p. 6018–6027, Sep 2021. ISSN 1558-0016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/tits.2020.3048364>>.

RIMJHA, M.; TRANI, A. Urban Air Mobility: Factors Affecting Vertiport Capacity. In: **2021 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS)**. IEEE, 2021. p. 1–14. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/icns52807.2021.9441631>>.

ROHRMEIER, K.; WEI, W.; ISON, D. Decoding the Vertiport: Planning for Urban Air Mobility. **Journal of Planning Literature**, SAGE Publications, v. 41, n. 1, p. 24–34, Feb 2025. ISSN 1552-6593. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/08854122251314481>>.





SAFWAT, N. E.-D. et al. Urban Air Mobility Communication Performance Considering Cochannel Interference. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 60, n. 4, p. 5089–5100, Aug 2024. ISSN 2371-9877. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/taes.2024.3386150>>.

SCHADE, S. et al. Psychoacoustic evaluation of different fan designs for an urban air mobility vehicle with distributed propulsion system. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Acoustical Society of America (ASA), v. 157, n. 3, p. 2150–2167, Mar 2025. ISSN 1520-8524. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1121/10.0036228>>.

SINHA, P. et al. Wireless Connectivity and Localization for Advanced Air Mobility Services. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 39, n. 11, p. 4–14, Nov 2024. ISSN 1557-959X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/maes.2024.3437293>>.

SONG, K. Optimal Vertiport Airspace and Approach Control Strategy for Urban Air Mobility (UAM). **Sustainability**, MDPI AG, v. 15, n. 1, p. 437, Dec 2022. ISSN 2071-1050. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su15010437>>.

STRAUBINGER, A.; VERHOEF, E.; GROOT, H. L. de. Will urban air mobility fly? The efficiency and distributional impacts of UAM in different urban spatial structures. **SSRN Electronic Journal**, Elsevier BV, 2021. ISSN 1556-5068. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3792457>>.

SUNITIYOSO, Y. et al. Public acceptance of urban air mobility: A study on factors influencing adoption. **Sustainable Futures**, Elsevier BV, v. 10, p. 100980, Dec 2025. ISSN 2666-1888. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100980>>.

TORIJA, A. J.; CLARK, C. A Psychoacoustic Approach to Building Knowledge about Human Response to Noise of Unmanned Aerial Vehicles. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, MDPI AG, v. 18, n. 2, p. 682, Jan 2021. ISSN 1660-4601. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18020682>>.

TUCHEN, S. Multimodal Transportation Operational Scenario And Conceptual Data Model For Integration With UAM. In: **2020 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS)**. IEEE, 2020. p. 2C1–1–2C1–15. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/icns50378.2020.9223002>>.

VARNOUSFADERANI, E. S.; SHIHAB, S. A. Bird Strikes in Aviation: A Systematic Review for Informing Future Directions. **Aerospace Science and Technology**, Elsevier BV, 2025. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5141362>>.

VARNOUSFADERANI, E. S.; SHIHAB, S. A. M.; SCHOFIELD, C. Safe to Takeoff: Strategic Deconfliction with Bird Flight Track Predictions to Prevent Bird Strikes With Aircraft. In: **AIAA AVIATION FORUM AND ASCEND 2024**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2024. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2514/6.2024-4083>>.

VASHI, S. J. et al. Refined Analysis of CO2 Emissions in Urban Air Mobility Networks. In: **AIAA AVIATION FORUM AND ASCEND 2024**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2024. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2514/6.2024-3727>>.





VOLAKAKIS, V. et al. Demand Assessment and Integration Feasibility Analysis for Advanced and Urban Air Mobility in Illinois. **Applied Sciences**, MDPI AG, v. 15, n. 22, p. 11901, Nov 2025. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/app152211901>>.

WANNIARACHCHI, S. T.; TURAU, V. A Study on the Influence of 5G Network planning on communication in Urban Air Mobility. In: **2023 IEEE 24th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)**. IEEE, 2023. p. 394–399. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/wowmom57956.2023.00070>>.

WHITWORTH, H.; AL-RUBAYE, S.; TSOURDOS, A. Urban Air Mobility Link Budget Analysis in 5G Communication Systems. In: **2023 IEEE 24th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)**. IEEE, 2023. p. 400–406. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/wowmom57956.2023.00071>>.

WU, H. et al. A sustainable multi-objective framework for multi-phased, capacitated vertiport siting with land use integration. **Communications in Transportation Research**, Elsevier BV, v. 5, p. 100186, Dec 2025. ISSN 2772-4247. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.commtr.2025.100186>>.

WU, Z.; ZHANG, Y. Integrated Network Design and Demand Forecast for On-Demand Urban Air Mobility. **Engineering**, Elsevier BV, v. 7, n. 4, p. 473–487, Apr 2021. ISSN 2095-8099. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eng.2020.11.007>>.

YAN, Y.; WANG, K.; QU, X. Urban air mobility (UAM) and ground transportation integration: A survey. **Frontiers of Engineering Management**, Springer Science and Business Media LLC, v. 11, n. 4, p. 734–758, Jun 2024. ISSN 2096-0255. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s42524-024-0298-0>>.

YAO, E. et al. The role of technology belief, perceived risk and initial trust in users' acceptance of urban air mobility: An empirical case in China. **Multimodal Transportation**, Elsevier BV, v. 3, n. 4, p. 100169, Dec 2024. ISSN 2772-5863. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.multra.2024.100169>>.

YEDAVALLI, P.; COHEN, A. Planning Land Use Constrained Networks of Urban Air Mobility Infrastructure in the San Francisco Bay Area. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, SAGE Publications, v. 2676, n. 7, p. 106–116, Mar 2022. ISSN 2169-4052. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/03611981221076839>>.

YOO, J.; CHOE, Y.; RIM, S.-i. Risk Perceptions Using Urban and Advanced Air Mobility (UAM/AAM) by Applying a Mixed Method Approach. **Sustainability**, MDPI AG, v. 14, n. 24, p. 16338, Dec 2022. ISSN 2071-1050. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su142416338>>.

YUNUS, F. et al. Efficient prediction of urban air mobility noise in a vertiport environment. **Aerospace Science and Technology**, Elsevier BV, v. 139, p. 108410, Aug 2023. ISSN 1270-9638. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ast.2023.108410>>.





ZELINSKI, S. Operational Analysis of Vertiport Surface Topology. In: **2020 AIAA/IEEE 39th Digital Avionics Systems Conference (DASC)**. IEEE, 2020. p. 1–10. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/dasc50938.2020.9256794>>.

ZENG, T. et al. Performance Analysis of Aircraft-to-Ground Communication Networks in Urban Air Mobility (UAM). In: **2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)**. IEEE, 2021. p. 1–6. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/globe-com46510.2021.9685135>>.

ZENG, T. et al. Wireless-Enabled Asynchronous Federated Fourier Neural Network for Turbulence Prediction in Urban Air Mobility (UAM). **IEEE Transactions on Wireless Communications**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 22, n. 11, p. 7902–7916, Nov 2023. ISSN 1558-2248. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/twc.2023.3257132>>.

ZHAO, J. et al. UAV Operations and Vertiport Capacity Evaluation with a Mixed-Reality Digital Twin for Future Urban Air Mobility Viability. **Drones**, MDPI AG, v. 9, n. 9, p. 621, Sep 2025. ISSN 2504-446X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/drones9090621>>.

ZHAO, Y.; FENG, T. Strategic integration of vertiport planning in multimodal transportation for urban air mobility: A case study in Beijing, China. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 467, p. 142988, Aug 2024. ISSN 0959-6526. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142988>>.





## APÊNDICE A – Prompt para Definição de Temas

### Prompt de Definição de Temas para Análise UAM

**CONTEXTO E PERSONA:** Atue como um Especialista em Regulação Aeronáutica e Compliance. Sua tarefa é analisar TODOS os documentos regulatórios em conjunto com o arquivo temas\_UAM.txt para identificar requisitos técnicos e legais estritos.

**O TEMA DE ANÁLISE É:** {TEMA}

**OBJETIVO DA ANÁLISE:** Estou elaborando um Guia Técnico para Prefeituras sobre Mobilidade Aérea Urbana (UAM). Eu preciso identificar quais documentos contêm “Diretrizes Ativas” sobre o tema acima.

**Definição de Diretriz Ativa:** Não quero apenas menções ao tema. Quero trechos que tragam obrigações, proibições, ou requisitos, recomendações, sugestões, indicações, etc.

#### **REGRAS DE FILTRAGEM (CRÍTICO):**

**Consulta de Definição:** Antes de analisar as leis, leia a definição exata do tema escolhido no arquivo temas\_UAM.txt assim extraindo a Diretrizes Ativas referente a essa definição.

**Filtro de Exclusividade:** Utilize as definições dos outros temas (T1 a T9) contidas no arquivo temas\_UAM.txt como critérios de exclusão. Se uma diretriz encontrada nos documentos se encaixar melhor na definição de um tema diferente do escolhido, ignore-a.

#### **FORMATO DE SAÍDA OBRIGATÓRIO:**

**Parte 1: Matriz de Rastreabilidade (Tabela)** – Crie uma tabela Markdown com as colunas: Documento Fonte, Seção/Artigo, Tipo de Diretriz, O que a norma diz (Resumo Técnico).

**Parte 2: Detalhamento de Dimensionamentos e Valores** – Liste em bullet points todos os números, medidas, pesos ou limites específicos encontrados para o tema.





## APÊNDICE B – Prompt para Extração de Problemáticas

### Prompt de Extração de Problemáticas (Questões Técnicas)

#### PARÂMETROS:

TEMA: {TEMA}

DESCRIÇÃO: {Definição do tema conforme arquivo temas\_UAM.txt}

**TAREFA:** Atue como Consultor Técnico em Regulação e Planejamento Urbano com experiência em comunicação para públicos não técnicos. Gere um relatório técnico em LaTeX analisando EXAUSTIVAMENTE 100% dos documentos anexados. O público-alvo são gestores municipais sem formação aeronáutica.

**ARQUIVO DE REFERÊNCIA (NÃO É FONTE):** O arquivo “temas\_UAM.txt” serve APENAS para consultar as definições dos temas. Ele NÃO deve ser citado no texto nem considerado como documento fonte de informações.

**DEFINIÇÃO DE CONTEÚDO RELEVANTE:** Considere apenas trechos que contenham pelo menos um dos seguintes elementos: obrigações (o que DEVE ser feito), proibições (o que NÃO PODE ser feito), requisitos mandatórios (condições para aprovação/operação), metodologias de cálculo ou monitoramento, lacunas regulatórias identificadas, recomendações, sugestões, indicações.

#### REGRAS CRÍTICAS (OBRIGATÓRIO):

- **Filtro de Exclusividade:** Use as definições dos outros temas (T1–T9) para excluir informações. Se um dado se encaixar melhor em outro tema, ignore-o.
- **Cobertura Total:** Analise TODOS os arquivos anexos, EXCETO o arquivo temas\_UAM.txt.
- **Tratamento de Arquivos:** Remova .pdf e substitua espaços por \_ (ex: Norma ISO.pdf vira \cite{Norma\_ISO}).

#### ESTRUTURA DO OUTPUT:

**PARTE 1: TEXTO DESCRITIVO CORRIDO** – Elabore texto dissertativo, fluido e acessível que sintetize as informações dos documentos sobre o TEMA. Linguagem acessível, conexão lógica entre conceitos, citações com \cite{}, tom técnico e neutro.





**PARTE 2: TABELA DE QUESTÕES PARA O GESTOR** – Gere tabela LaTeX com 5 a 10 questões técnicas (Q01–Q10) que um gestor público deve formular. Perguntas derivadas de obrigações, lacunas e requisitos encontrados. SEM valores numéricos específicos. SEM citações dentro da tabela.





## APÊNDICE C – Prompt para Consolidação de Problemáticas

### Prompt de Consolidação de Problemáticas

#### PARÂMETROS:

TEMA: {TEMA}

**ENTRADAS:** Você receberá até 3 blocos de texto em LaTeX, cada um gerado a partir de uma categoria de fontes diferente:

- **BLOCO 1 (ARTIGOS):** Texto gerado a partir de artigos científicos. [OBRIGATÓRIO]
- **BLOCO 2 (LEGISLAÇÃO):** Texto gerado a partir de leis, normas e resoluções. [OBRIGATÓRIO]
- **BLOCO 3 (CONOPS):** Texto gerado a partir de documentos de Conceito de Operações. [OPCIONAL]

**TAREFA:** Consolide os blocos de entrada em UM ÚNICO texto coeso em LaTeX. O público-alvo são gestores municipais sem formação aeronáutica.

#### REGRAS DE CONSOLIDAÇÃO DO TEXTO:

1. **Fusão Inteligente:** Identifique sobreposições e UNIFIQUE-as. NÃO repita informações. Preserve TODAS as citações.
2. **Estrutura Narrativa:** Reorganize seguindo fluxo lógico (Contexto → Requisitos → Regulação → Monitoramento → Lacunas).
3. **Preservação de Citações:** TODAS as citações `\cite{}` devem ser mantidas. Agrupe quando fundir informações.
4. **Sem Redundância:** Elimine repetições. Mantenha a explicação mais completa.
5. **Extensão:** Texto consolidado MAIS CURTO que a soma dos blocos, mas MAIS LONGO que qualquer bloco isolado.

#### REGRAS DE CONSOLIDAÇÃO DA TABELA:





1. Unifique TODAS as questões em UMA ÚNICA tabela final.
2. Elimine duplicatas semânticas, fundindo em questões mais abrangentes.
3. Quantidade final: 8 a 15 questões (Q01–Q15).
4. SEM citações dentro da tabela. SEM valores numéricos específicos.





## APÊNDICE D – Prompt para Extração de Diretrizes

### Prompt de Extração de Diretrizes

#### PARÂMETROS:

TEMA: {TEMA}

DESCRIÇÃO: {Definição do tema conforme arquivo temas\_UAM.txt}

QUESTÕES: {Lista de questões Q01–Q15 previamente consolidadas}

**TAREFA:** Atue como Especialista em Regulação Aeronáutica. Gere relatório técnico em LaTeX analisando EXAUSTIVAMENTE 100% dos documentos anexados. Público-alvo: gestores municipais sem formação aeronáutica.

**DEFINIÇÃO DE DIRETRIZ:** Trechos contendo: obrigações, proibições, requisitos mandatórios, metodologias de cálculo/monitoramento, lacunas regulatórias, recomendações, sugestões, indicações.

**FORMATO DAS DIRETRIZES:** Transforme cada diretriz em recomendação genérica e acessível, SEM valores numéricos. Inicie com “Recomenda-se” ou “Deve-se considerar”. Use expressões como “conforme normas vigentes”. Se responder a alguma questão, indique entre parênteses (ex: Q01).

#### REGRAS CRÍTICAS:

- **Filtro de Exclusividade:** Use definições dos outros temas como exclusão.
- **Cobertura Total:** Liste TODOS os arquivos na Tabela 1.
- **Tratamento de Arquivos:** Remova .pdf, substitua espaços por \_.

#### ETAPAS DE EXECUÇÃO:

1. **Introdução e Metodologia:** Parágrafo introdutório + citação da string de busca.
2. **Tabela 1 – Documentos Analisados:** Lista completa de fontes com descrição.
3. **Texto de Transição:** 2–3 linhas introduzindo as diretrizes.
4. **Tabela 2 – Matriz de Diretrizes:** Documento + Diretriz vinculada a questões.





## APÊNDICE E – Prompt para Consolidação de Diretrizes

### Prompt de Consolidação Final de Diretrizes

#### PARÂMETROS:

TEMA: {TEMA}

**ENTRADAS:** Blocos de diretrizes extraídas de:

- Artigos científicos
- Legislação e normas regulatórias
- Documentos de Conceito de Operações (ConOps)

**TAREFA:** Consolidar TODAS as diretrizes em uma matriz única e coesa, vinculada às questões técnicas previamente definidas.

#### REGRAS DE CONSOLIDAÇÃO:

1. **Eliminação de Duplicatas:** Diretrizes semanticamente equivalentes devem ser fundidas.
2. **Preservação de Fontes:** Manter todas as citações `\cite{}` das fontes originais.
3. **Vinculação a Questões:** Cada diretriz deve indicar, quando aplicável, qual(is) questão(ões) responde (Q01, Q02, etc.).
4. **Linguagem Acessível:** Manter tom técnico, neutro, sem jargões inexplicados.
5. **Formato Genérico:** SEM valores numéricos específicos. Usar “conforme normas vigentes”.

#### ESTRUTURA DE SAÍDA:

Tabela LaTeX consolidada com colunas: Documento Fonte | Diretriz (com indicação de questão respondida).

Ordenação por relevância temática, agrupando diretrizes complementares de diferentes fontes.

