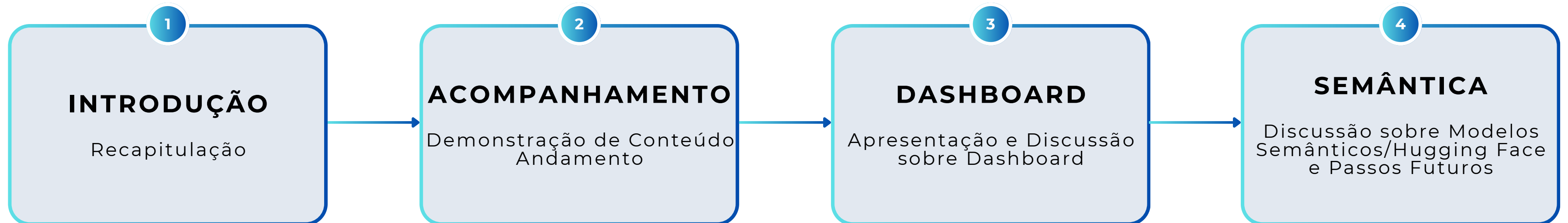


SOLUÇÕES PARA A INTEGRAÇÃO E GESTÃO DA MOBILIDADE AÉREA



21 / 01 / 2026





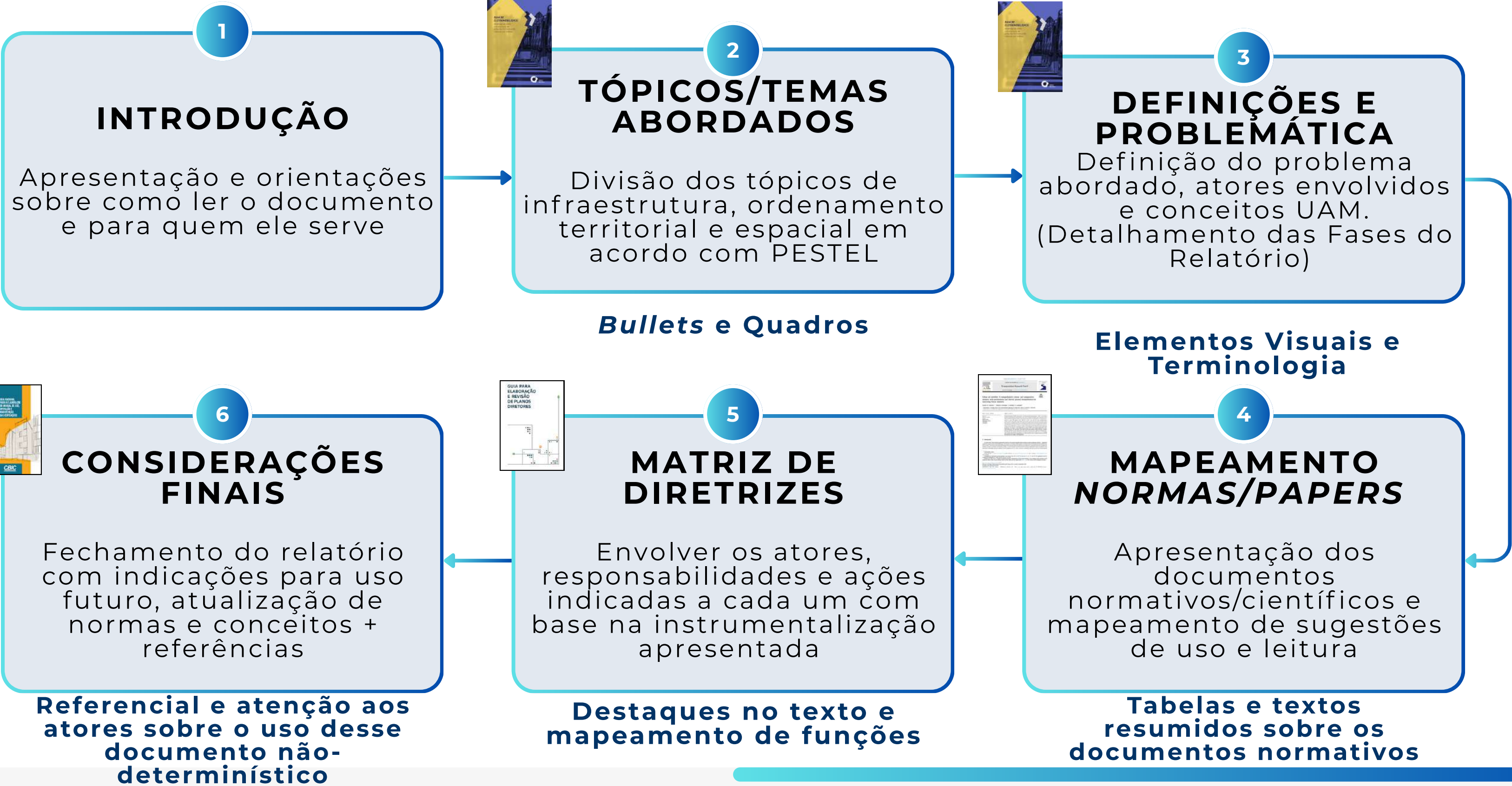
1

INTRODUÇÃO

Recapitulação

Produto II - Recapitulando







2

ACOMPANHAMENTO

Demonstração de Conteúdo e
Andamento



Etapa 1 – Leitura: Apresenta os tópicos fundamentais da UAM organizados segundo a matriz PESTEL (Political, Economic, Social, Technological, Environmental, Legal), define os conceitos-chave e identifica os atores envolvidos. Esta etapa estabelece o vocabulário comum e o marco teórico necessário para as discussões subsequentes.

Etapa 2 – Propostas: Realiza o mapeamento sistemático da documentação normativa e técnico-científica relevante, incluindo regulamentações da ANAC, DECEA, legislação urbanística municipal e estudos acadêmicos sobre UAM. Este levantamento identifica lacunas, sobreposições e oportunidades de harmonização regulatória.

Etapa 3 – Sistematização: Materializa a pesquisa na forma da Matriz de Diretrizes, que distribui responsabilidades entre os diferentes atores (federal, estadual, municipal, operadores privados, sociedade civil) e apresenta as ações indicadas com base nos instrumentos urbanísticos identificados nas etapas anteriores.



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 Secretaria de Aviação Civil (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 Mobilidade Urbana Aérea (GUAM)**, 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 Mobilidade Urbana Aérea (GUAM). 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.

1.1.3 Sistema de Destaques e Navegação

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

- **VERMELHO – Destaque e Atenção:** Identifica pontos críticos, lacunas regulatórias, conflitos de competência ou aspectos que demandam atenção especial dos gestores municipais. São alertas sobre incompatibilidades potenciais ou riscos operacionais que devem ser endereçados prioritariamente.
- **VERDE – Sugestões e Exemplos Positivos:** Apresenta boas práticas internacionais, casos de sucesso na integração normativa ou soluções técnicas que se mostraram eficazes em contextos similares. São referências inspiradoras que podem ser adaptadas à realidade local.
- **AZUL – Conceitos e Itens Relevantes:** Sinaliza termos técnicos, definições conceituais ou elementos que requerem compreensão aprofundada para o acompanhamento adequado das discussões. Muitos desses termos estão detalhados no glossário ao final do documento.
- **PRETO – Definições e Termos do Glossário:** Termos técnicos apresentados em **negrito** ao longo do texto possuem definições completas no glossário (Anexo) e são essenciais para a compreensão precisa dos aspectos regulatórios e urbanísticos abordados.



2 Tópicos e Temas Abordados

Este capítulo apresenta a divisão dos tópicos de infraestrutura, ordenamento territorial e espacial que fundamentam a elaboração do Guia de Mobilidade Urbana Aérea (GUAM). A organização 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 PESTEL 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 deste capítulo foi adaptada da Análise PESTEL desenvolvida no Produto I do Projeto SigmaCity, que realizou o inventário sistemático das legislações que exercem 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, apresentando-os de forma estruturada para facilitar a compreensão dos gestores públicos e demais atores envolvidos.

2.8.4 Quadro-Síntese: Dimensão Legal

Tabela 2.6: Aspectos Legais Relevantes para o GUAM

Instrumento	Nor-	Escopo/Objeto	Interface com GUAM
Constituição	Fede-	Competências federativas, direitos fundamentais, ordem econômica	Define limites da autonomia municipal; garante direito à cidade sustentável
Código de Aeronáutica	Brasileiro	Regime jurídico da aviação civil, navegação aérea, infraestrutura aeroportuária	Estabelece competência federal sobre operação aérea; limita regulação municipal
RBACs (ANAC)		Certificação de aeronaves, operadores, manutenção; requisitos técnicos	Define requisitos técnicos mínimos que o município não pode flexibilizar
ICAs (DECEA)		Controle de tráfego aéreo, superfícies limitadoras, proteção de aeródromos	Impõe restrições de altura e uso do solo que devem ser incorporadas ao zoneamento
Estatuto da Cidade		Política urbana, função social da propriedade, instrumentos urbanísticos	Fornece instrumentos para gestão municipal da UAM (EIV, outorga onerosa, etc.)
Plano Diretor Municipal		Ordenamento territorial, zoneamento, índices construtivos	Incorpora restrições federais; define zonas aptas para vertiportos; regula impactos locais





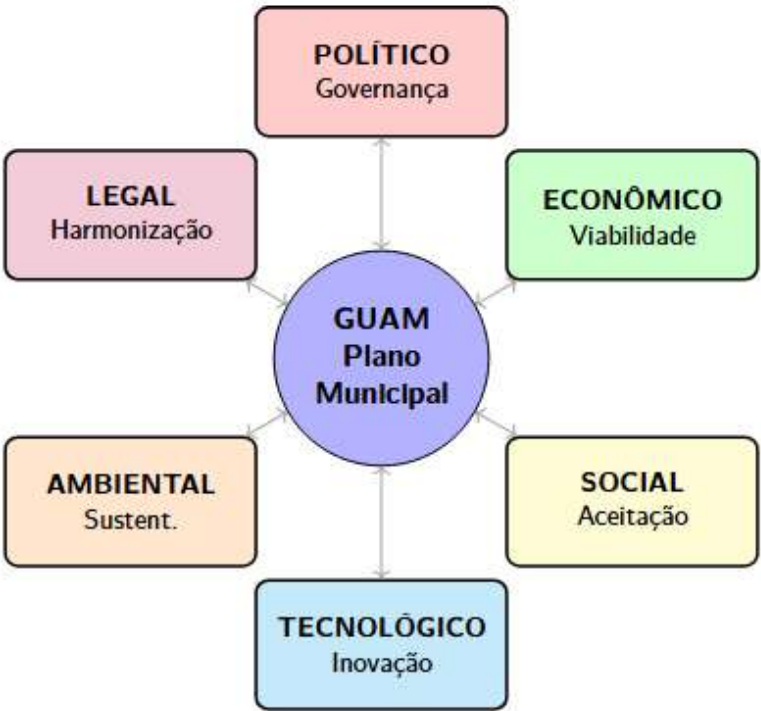
3.1 Problemáticas Municipais para Urban Air Mobility

Este capítulo apresenta as problemáticas específicas associadas a cada um dos 35 temas identificados como prioritários para regulação de Urban Air Mobility (UAM) no Brasil.

Para cada tema, são listadas problemáticas que municípios brasileiros podem enfrentar ao planejar a integração de operações de mobilidade aérea urbana em seu território. As problemáticas foram identificadas a partir de análise de frameworks internacionais implementados e adaptadas ao contexto jurídico-institucional brasileiro.

Como utilizar este capítulo

1. Identifique qual(is) tema(s) é(são) relevante(s) para seu município
2. Revise as problemáticas listadas para aquele tema
3. Selecione aquelas que se aplicam à realidade local
4. Identifique os instrumentos urbanísticos aplicáveis



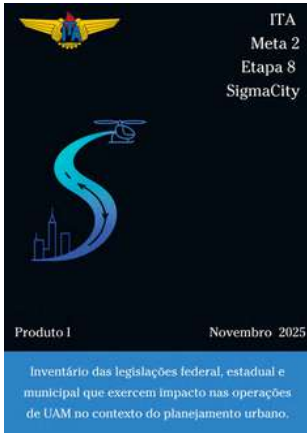
Tema
Problemática
Palavras-chave
Literatura
Fator PESTEL
Documentos Internacionais
Documentos Jurídicos

Produto II - Demonstração de Conteúdo e Avanços



Tema	Ruído Aeronáutico	Acessibilidade	Uso do Solo	Infraestrutura
Problemática	Ruído dos eVTOLs influencia na aceitação da UAM	Garantia de acesso à UAM, evitando modal elitizado	Integração no planejamento urbano existente. Uso restrito	Vertiportos e infraestrutura de suporte
Palavras-chave	Ruído, aceitação, decibéis, noise, acceptance, decibels	Acessibilidade, equidade, accessibility, equity	Uso de solo, zoneamento, land use, zoning	Localização, facility location, recarga, charging
Literatura	Pak et al. (2024)	Goyal et al. (2021)	Ison, David (2023)	Bulusu et al. (2021)
Fator PESTEL	S, A, L	E, S	S, A, L	E, T, L
Documentos Internacionais	U-Space CONOPS	NASA UAM Maturity Level Framework	ICAO Annex 14, U-Space Blueprint	EASA SC-VTOL, FAA Engineering Brief 105
Documentos Jurídicos	RBAC 161	Lei 10.257/2001	Estatuto das Cidades, Lei 6.766/1979	RBAC 155, Lei 7.565/1986





Tema (Palavras-chave em inglês)	Fatores PESTEL
Ruído Aeronáutico (noise, acceptance, decibels)	S, A, L
Acessibilidade (accessibility, equity)	E, S
Uso do Solo (land use, zoning)	S, A, L
Infraestrutura (facility location, charging)	E, T, L
Energia (facility location, charging)	E, T, L

TEMA	QUESTÕES TÉCNICAS
T1	Q01 – Quais são os níveis máximos de ruído aceitáveis para operações de eVTOL em áreas urbanas (dB DNL)?
Ruído	Q02 – Qual metodologia de medição de ruído aeronáutico deve ser aplicada para vertiportos (DNL, Leq, Lmax, Lden)?
	Q03 – Como delimitar curvas de ruído (noise contours) ao redor de vertiportos para zoneamento de compatibilidade acústica?
	Q04 – Quais usos do solo são compatíveis/incompatíveis em cada faixa de ruído (residencial, escolas, hospitais, comércio, industrial)?
	Q05 – Quais horários de operação são recomendados para minimizar impacto acústico em zonas residenciais?
	Q06 – Quais distâncias mínimas devem ser mantidas entre vertiportos e usos sensíveis a ruído (escolas primárias, hospitais, asilos, bibliotecas)?
	Q07 – Qual frequência operacional máxima (operações/hora) é recomendada para controle de ruído cumulativo em zonas residenciais?
	Q08 – Quais requisitos de monitoramento contínuo de ruído devem ser exigidos de operadores de vertiportos (equipamentos, periodicidade, relatórios)?
	Q09 – Como deve ser elaborado e atualizado o Plano de Zoneamento de Ruído (PZR) para vertiportos?

3.1 T1 - Ruído Aeronáutico (Aeronautical Noise)

Por que devo me preocupar com ruído aeronáutico de eVTOL no meu município?

O ruído é identificado consistentemente como a segunda maior barreira para aceitação social de UAM, ficando atrás apenas de questões de segurança. Park et al. (2024), em pesquisa sobre aceitação pública de air taxis na Coreia do Sul, identificaram que 83% dos cidadãos europeus demonstram interesse em UAM, mas o ruído permanece como preocupação crítica conforme relatórios da EASA.





Tabela 5.1: Consolidado de Documentos Legislativos Brasileiros e Diretrizes por Tema

TEMA	DOCUMENTOS	DIRETRIZES
T1 - RUÍDO AERONÁUTICO		
T1	RBAC 161 - Planos de Zoneamento de Ruído de Aeródromos (ANAC)	• Métrica DNL (Day-Night Level) • Curvas de Ruído • Obrigatoriedade de PZR • Cooperação com Municípios • Envio Anual do PZR • Compatibilidade de Uso do Solo por Faixa de Ruído • Comissão de Gerenciamento de Ruído Aeronáutico (CGRA) • Sistemas de Monitoramento de Ruído
T2 - ACESSIBILIDADE E EQUIDADE		
T2	Lei 10.257/2001 - Estatuto da Cidade	• Direito a Cidades Sustentáveis (Art. 2º, I) • Planejamento Integrado de Transporte Urbano (Art. 41, § 2º) • Plano de Rotas Acessíveis (Art. 41, § 3º) • Estudo de Impacto de Vizinhança - EIV (Art. 36-37) • Análise de Mobilidade Urbana e Demanda por Transporte Público no EIV
T2	Lei 12.587/2012 - Política Nacional de Mobilidade Urbana	• Objetivo de Integração entre Diferentes Modos de Transporte (Art. 1º) • Acessibilidade Universal (Art. 3º, III) • Reduzir Desigualdades e Promover Inclusão Social (Art. 7º, I) • Promover Acesso a Serviços Básicos e Equipamentos Sociais (Art. 7º, II) • Direito à Informação sobre Modos de Interação com Outros Modais (Art. 14, III)

A elaboração do PZR é estabelecida como obrigatória para determinados aeródromos, devendo haver cooperação institucional entre os operadores aeroportuários e as administrações municipais no processo de planejamento e implementação. O regulamento prevê ainda que os planos devem ser enviados periodicamente à ANAC para acompanhamento e fiscalização, garantindo a conformidade com os padrões estabelecidos.

Um aspecto das diretrizes é a definição de compatibilidade entre os usos do solo urbano e as diferentes faixas de exposição ao ruído aeronáutico, orientando o ordenamento territorial no entorno dos aeródromos e vertiportos. Para gestão efetiva dessas questões, a normativa prevê a constituição de uma Comissão de Gerenciamento de Ruído Aeronáutico (CGRA), envolvendo os diversos stakeholders interessados na gestão do impacto acústico das operações aéreas.

Por fim, as diretrizes estabelecem a necessidade de implementação de Sistemas de Monitoramento de Ruído, permitindo o acompanhamento contínuo dos níveis sonoros e a verificação da conformidade com os limites estabelecidos nas curvas de zoneamento. Embora o RBAC 161 tenha sido desenvolvido para aeródromos de aviação convencional, seus princípios e metodologias constituem referência fundamental para adaptação e aplicação no contexto de vertiportos e operações UAM, especialmente quanto à cooperação município-operador e ao estabelecimento de zonas de compatibilidade de uso do solo.





3

DASHBOARD

Apresentação e Discussão sobre
Dashboard



Estudos para Aviação de Hoje e do Amanhã

Explore os produtos desenvolvidos pelo projeto SigmaCity em parceria com a Secretaria de Aviação Civil (SAC) e o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

PRODUTOS

I

DISPONÍVEL

Inventário das legislações que exercem impacto nas operações de UAM (envolvendo eVTOL) no contexto do planejamento urbano

Dashboard Interativo

Documento Completo

Entrega: Novembro 2025

II

EM ANDAMENTO

Relatório de diretrizes e parâmetros normativos no âmbito da UAM com os requisitos legais estabelecidos

Documento Completo

Previsão: Março 2026

III

EM DESENVOLVIMENTO

Relatório abordando uma revisão da literatura sobre metodologias utilizadas de integração de vertiportos em cenários urbanos

Documento Completo

Previsão: 2026

IV

EM DESENVOLVIMENTO

Manual que propõe uma metodologia nacional para a seleção estratégica de locais e integração de vertiportos aos sistemas municipais de mobilidade

Documento Completo

Previsão: 2026



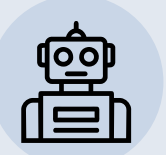
4

SEMÂNTICA

Discussão sobre Modelos
Semânticos/Hugging Face e Passos
Futuros

Hugging Face & Direito

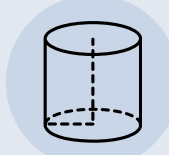
Plataforma colaborativa para utilização de recursos para o processamento de linguagem jurídica



MODELOS

Legal-BERT (PT/EN):
Compreensão semântica de petições e normas.

Jurema-7B & Legislinho: LLMs adaptáveis e guias para legislação brasileira.



DATASETS

Pile-of-law: Textos administrativos e tribunais para treinar embeddings.

Essenciais para criar sistemas de busca semântica robustos.



COMUNIDADE

HFforLegal: Hub dedicado a NLP jurídico.

Troca de conhecimentos, acesso a “assistentes” prontos e prompts especializados.

Como Funciona?

O mecanismo do modelo:

Tokenização & Contexto:

- Conversão de texto em tokens numéricos
- Mecanismo de Atenção: diferencia contexto ("pena" como sanção vs. "pena" como pássaro)

Pré-treino:

- Modelo lê milhões de textos jurídicos
- Aprende estrutura da linguagem e vocabulário legal
- Cria representações semânticas (embeddings)

Fine-tuning (Especialização):

- Refinamento com exemplos específicos (ex: classificar tipos de normas, extrair requisitos técnicos)
- Adaptação para tarefas específicas

Possibilidades e Aplicações

- **Classificação & Similaridade:** Identificação automática de categorias jurídicas (lei, decreto, portaria) e comparação entre fragmentos de normas e detecção de inconsistências.
- **Automação inteligente:** Sumarização de seções normativas complexas e sistemas de QA (Perguntas e respostas).
- **Busca semântica:** Uso de *Embeddings* para encontrar documentos pelo sentido, superando a busca por palavras-chave.
- **Documentos extensos:** Técnicas de *Long Context* (como Longformer) para análise completa de leis longas.

Possibilidades e Aplicações

Análise Regulatória:

- Extração de fatores PESTEL de documentos normativos
- Identificação de impactos políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais

Integração em Python

Zero-Shot Classification

Para separar documentos em temas que o usuário definiu, a técnica de Zero-Shot pode ser utilizada.

Biblioteca Transformers: A ferramenta padrão da Hugging Face para carregar modelos prontos.

Sem treinamento extra: O usuário apenas passa a lista de “palavras-chave” ou temas, e o modelo calcula probabilidade estatística.

```
from transformers import pipeline

# 1. Carregar Pipeline (Modelo Multilíngue)
classifier =
pipeline("zero-shot-classification",

                                model="MoritzLaurer/mDeB
ERTa ... ")

# 2. Definir Documento e Seus Temas
doc = "O contrato prevê multa rescisória..."
temas = ["Trabalhista", "Imobiliário",
"Penal"]

# 3. Classificar
resultado = classifier(doc, temas)
print(resultado['labels'][0]) # Output:
"Imobiliário"
```

Integração em Python

Zero-Shot Classification

A base do Zero-Shot é um modelo treinado em *Natural Language Inference*, que é uma tarefa de determinar a relação lógica entre duas sentença:

- **Premissa:** A aeronave deve operar apenas em condições específicas
- **Hipótese:** Este texto trata de requisitos operacionais
- **Relação:** Entailment (a premissa implica a hipótese)

O modelo foi treinado em milhões de pares (premissa, hipótese, relação), aprendendo a entender implicações semânticas



Integração em Python

Zero-Shot Classification

Na prática, funciona da seguinte forma:

- Classifica os documentos em todas as taxonomias
- Trabalha com base nos fatores PESTEL, definições de palavras-chave definidas e tema
- Atribui uma pontuação final de 0-1, indexando categorias em que um documento jurídico pertence dentro da classificação PESTEL

```
from transformers import pipeline

classifier = pipeline("zero-shot-classification",
                      model="MoritzLaurer/mDeBERTa-v3-base-xnli-multilingual-nli-2mil7")

# Artigo real da RBAC 94
artigo = """
Art. 15. O aerodromo civil deve ser registrado no orgao regional da ANAC
antes do inicio de suas operacoes. O requerimento deve incluir:
I - projeto de sinalizacao horizontal e vertical;
II - estudo aeronautico;
III - comprovacao de regularidade fundiaria.
"""

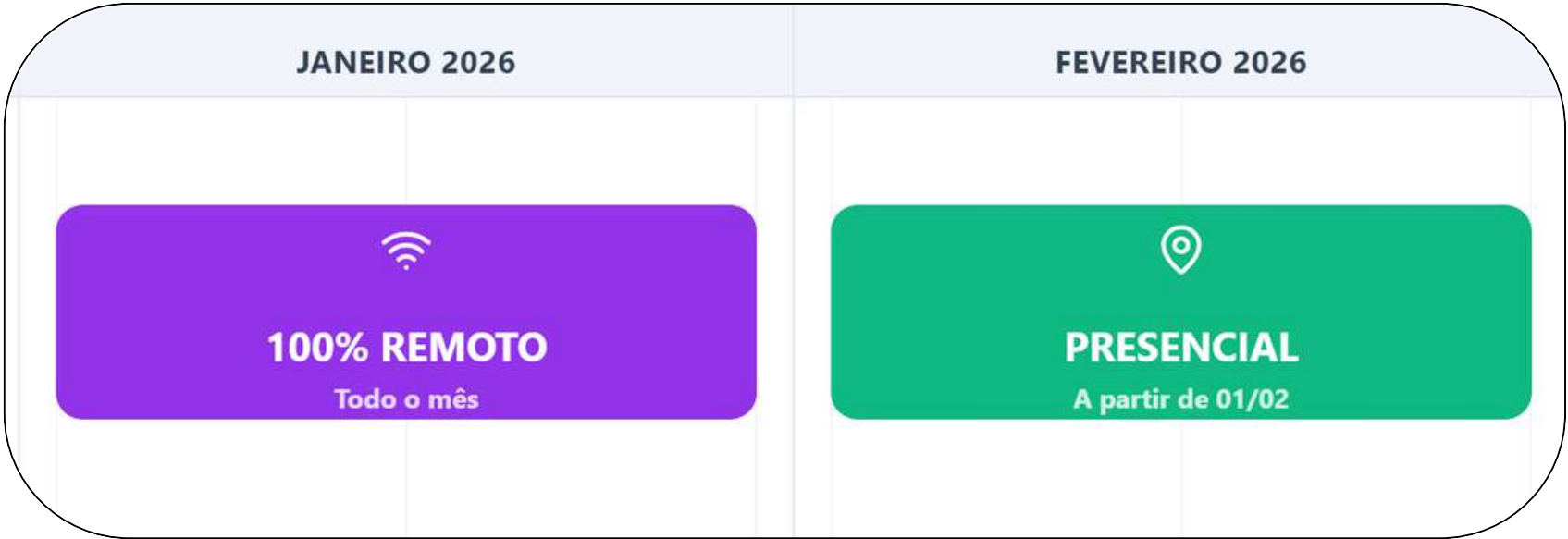
# Categorias PESTEL
resultado = classifier(artigo,
                      candidate_labels=[
                          "Politico",
                          "Economico",
                          "Social",
                          "Tecnologico",
                          "Ambiental",
                          "Legal"
                      ],
                      multi_label=False) # Apenas 1 categoria

print(resultado)
```



Cronograma e Sequência de Atividades

- 1. Transcrição de conteúdo do Produto II para R markdown (Podemos deixar para uma atividade futura? Foco agora seria o relatório);
- 2. Hugging Face?
- 3. Cont. Desenvolvimento do **Cap. 2** com foco nos **Temas** encontrados na literatura;
- 4. Cont. Desenvolvimento do **Cap. 3** com foco na definição das **Questões técnicas** envolvendo UAM;
- 5. Cont. Desenvolvimento do **Cap. 4 - Matriz de Diretrizes**
- 6. **Cont.** Desenvolvimento do **Dashboard do PII**



Próxima reunião: **04/02** de forma presencial?



Perguntas ou Sugestões?

Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres

LabGETA - Laboratório de Gestão do Espaço e Transporte Aéreo
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - **ITA**

Website: www.sigma.ita.br

Website: www.labgeta.ita.br

E-mail: guterres@ita.br

