



---

### Planejamento e Segurança de Voo na Aviação Geral

Mayra Caroline Santos de Oliveira\*<sup>1</sup>, Ingrid Portilho da Silva<sup>2</sup>, Evandro José da Silva<sup>2</sup>, Daniel Nardelli Soares<sup>2</sup>, Deiler Lúcio Fonseca Mariano<sup>2</sup>, Rogéria De Arantes Gomes<sup>2</sup>

1. Universidade Federal de Alagoas
2. Instituto Tecnológico de Aeronáutica

\* Corresponding author e-mail address: mayra.oliveira@ctec.ufal.br

---

PAPER ID: 1240451

#### ABSTRACT

In general aviation, private pilots often need to conduct detailed pre-flight planning that involves route assessment, weather analysis, runway takeoff and landing checks, fuel calculation, and verification of operational parameters. Unlike commercial aviation, which relies on robust decision-support systems, most of these procedures in general aviation are carried out manually or with fragmented tools, increasing the likelihood of human error and requiring significant time and effort. This research presents the development of an application that consolidates this information and provides the pilot with an automatic evaluation of flight conditions, classifying whether they are safe or not. The methodology included gathering requirements based on the routine of private pilots, selecting essential data for operational safety (minimum runway distances, cruise speed, fuel consumption, weather, and route), and developing a functional prototype. Preliminary results show that the application is capable of reducing planning time and standardizing pre-flight checks, contributing to greater operational safety. The research also discusses limitations of the current prototype and presents future development paths, such as integration with real-time data.

**Keywords:** General aviation, operational safety, decision support, flight planning, private pilot.

#### AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão, primeiramente, aos pilotos privados que gentilmente participaram da pesquisa, compartilhando suas experiências e desafios no planejamento pré-voo, contribuindo diretamente para o desenvolvimento deste trabalho. Estendemos também um agradecimento especial ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), onde este aplicativo teve origem como projeto na disciplina de Infraestrutura Aeronáutica (IT-200), possibilitando um aprofundamento técnico e prático sobre o tema. Este trabalho também se beneficiou da colaboração de colegas que auxiliaram no desenvolvimento do protótipo e na condução da pesquisa, aos quais somos igualmente gratos.

#### DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Os autores declaram que o uso de ferramentas de inteligência artificial generativa foi restrito a atividades de apoio técnico, sem comprometer a originalidade, a análise e as conclusões apresentadas neste trabalho. Todas as informações obtidas por meio desses recursos foram cuidadosamente avaliadas e integradas ao estudo, assegurando o rigor metodológico e a integridade acadêmica. A ferramenta *Consensus* foi utilizada para automatizar a busca por artigos científicos, otimizando a pesquisa de referências relacionadas aos temas abordados. O *ChatGPT* foi empregado para revisão linguística e estrutural do texto, garantindo clareza e coesão. Já a ferramenta *Claude* foi utilizada para gerar um arquivo HTML com os resultados do formulário desenvolvido.

## 1 INTRODUÇÃO

A Aviação Geral (AG) exerce um papel fundamental no transporte aéreo, abrangendo desde voos privados e recreativos até táxi aéreo, serviços aeromédicos e instrução de voo. De acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC 91 (Agência Nacional de Aviação Civil, 2022), esse regulamento se aplica à operação de qualquer aeronave civil em território brasileiro, excetuando-se balões cativos, aeronaves enquadradas no RBAC nº 103 e aeronaves não tripuladas. Assim, no contexto normativo brasileiro, a Aviação Geral pode ser compreendida como o conjunto das operações civis que não se enquadram no transporte aéreo público regular, reunindo uma ampla diversidade de perfis e finalidades. Nos últimos anos, observa-se um crescimento consistente desse segmento no Brasil, impulsionado pela maior acessibilidade a aeronaves de pequeno porte, expansão de aeródromos regionais e fortalecimento do turismo interno (Agência Nacional de Aviação Civil, 2022). Dados do (CENIPA, 2023) evidenciam um contraste significativo em termos de segurança operacional: nos últimos 10 anos, a aviação regular registrou 12 acidentes e 42 incidentes graves, ao passo que a aviação privada contabilizou 765 acidentes e 344 incidentes graves. Esses números ilustram a maior exposição ao risco nesse segmento, associada, entre outros fatores, à ausência de sistemas integrados de apoio ao planejamento pré-voo. Parte desse cenário pode ser explicada pela ausência de sistemas integrados de apoio à decisão durante o planejamento pré-voo, atividade que, atualmente, é realizada de forma manual ou com o auxílio de planilhas, anotações e consultas a diferentes plataformas para coleta de informações como meteorologia, consumo de combustível, rotas, características de pistas e NOTAMs (ICAO). Esse processo fragmentado aumenta a exposição ao erro humano e demanda tempo significativo dos pilotos, que muitas vezes operam de forma individual. Considerando esse contexto, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um aplicativo para apoiar pilotos privados no planejamento pré-voo, oferecendo uma análise integrada das principais variáveis e indicando se as condições do voo estão seguras ou não. O artigo está estruturado em quatro seções principais: Seção 2 – Revisão de Literatura, que discute dados, normas e estudos técnicos sobre o tema; Seção 3 – Metodologia, detalhando o desenvolvimento do protótipo e a pesquisa aplicada junto a pilotos privados; Seção 4 – Resultados e Discussão, trazendo os achados e análise crítica; e Seção 5 – Conclusão.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A aviação geral (AG) corresponde à maior parte das operações aéreas no mundo, abrangendo desde aeronaves leves monomotoras até jatos executivos. No Brasil, dados da Agência Nacional de Aviação Civil (2022) e da General Aviation Manufacturers Association (GAMA) (2023) indicam crescimento contínuo da frota e das operações, acompanhado pelo aumento do número de aeródromos cadastrados. Esse cenário reforça a relevância da AG para a mobilidade aérea, mas também impõe o desafio de manter níveis adequados de segurança em um setor que não dispõe da mesma estrutura de apoio operacional da aviação comercial.

### 2.1 Crescimento da aviação geral e acidentes

Relatórios oficiais de segurança (CENIPA, 2023; NTSB, 2020) mostram que a AG concentra a maioria dos acidentes aeronáuticos, sendo grande parte relacionada a falhas no planejamento

pré-voos. Lopes et al. (2024) destacam que a ausência de ferramentas digitais integradas contribui para erros de julgamento e falhas de consciência situacional, sobretudo entre pilotos privados. Estudos do NTSB (2020) reforçam que causas recorrentes incluem falhas no cálculo de combustível, inadequação na análise de NOTAMs e avaliações meteorológicas insuficientes. Esses achados confirmam a relevância do planejamento pré-voos como barreira fundamental contra acidentes.

## 2.2 Normas e documentos técnicos

As responsabilidades do piloto em comando no planejamento pré-voos são claramente definidas em normas internacionais e nacionais, como o RBAC 91 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2017), o FAA AC 91-92 (Federal Aviation Administration (FAA), 2021) e o Doc 9966 da International Civil Aviation Organization (ICAO) (2016). Esses regulamentos determinam a obrigatoriedade de avaliar fatores como meteorologia, combustível, performance da aeronave e condições de pista antes de cada voo. No Brasil, o AIP Brasil (AISWEB) constitui a principal base de informações aeronáuticas, reunindo dados sobre aeródromos, cartas, NOTAMs e restrições de espaço aéreo, sendo considerado o “coração” do sistema de navegação aérea nacional.

## 2.3 Como os pilotos aprendem a planejar

Na formação inicial, os pilotos são instruídos a utilizar manuais e fluxos estabelecidos, como o *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge* (Federal Aviation Administration (FAA), 2016), que ensina cálculos de performance, checklists e tomadas de decisão. No entanto, estudos empíricos apontam que, na prática, pilotos recorrem a métodos informais e fragmentados, como planilhas pessoais, consultas a sites de meteorologia e aplicativos genéricos (Babb, 2016; Lopes et al., 2024). Psyllou et al. (2018) observaram que a familiaridade com rotas e a disponibilidade de ferramentas digitais influenciam diretamente a antecedência e a qualidade do planejamento.

## 2.4 Fatores humanos e falhas

As falhas no planejamento pré-voos raramente decorrem apenas de desconhecimento técnico. Estudos indicam que fatores humanos — como fadiga, excesso de confiança, pressão de tempo, distrações e percepção incompleta de risco — têm papel central nos incidentes (Lopes et al., 2024; NTSB, 2020). Li et al. (2014) acrescentam que a fragmentação dos dados em múltiplas fontes aumenta a sobrecarga cognitiva, ampliando a chance de lapsos e erros de julgamento. Zhang et al. (2022) concluíram que atos inseguros de pilotos na AG não se originam apenas de falhas individuais, mas também de deficiências organizacionais e de supervisão. Isso mostra que a segurança depende tanto do piloto quanto do ecossistema de suporte, incluindo treinamentos, regulamentos e ferramentas tecnológicas.

## 2.5 Discussão crítica dos estudos recentes e ferramentas existentes

Pesquisas como a de McSorley et al. (2021) apontam que muitos pilotos consideram os briefings meteorológicos excessivamente complexos, reforçando a necessidade de ferramentas mais claras e visuais. Da mesma forma, Smith et al. (2021) identificaram que erros no cálculo

de combustível continuam sendo causas frequentes de incidentes na AG, evidenciando a centralidade dessa variável no planejamento.

No campo das soluções digitais, aplicativos como *ForeFlight*, *RocketRoute* e *SkyDemon* oferecem recursos avançados — como cartas digitais, integração meteorológica e logs automáticos de voo —, mas enfrentam limitações importantes: custo elevado (US\$ 120 dólares por ano), barreiras de idioma e falta de integração com bases oficiais brasileiras (ANAC, DECEA, AISWEB). Babb (2016) ressalta que esses fatores limitam a adoção em países fora dos principais mercados EUA-Europa.

Esse cenário contrasta com a aviação comercial, onde companhias utilizam *Flight Operations Systems* (FOS), softwares integrados que centralizam todas as variáveis operacionais de forma oficial e automatizada. Enquanto esses sistemas permitem decisões rápidas e baseadas em dados confiáveis, os pilotos da aviação geral seguem dependentes de métodos dispersos e manuais.

Nesse contexto, o protótipo desenvolvido neste trabalho se diferencia por ser adaptado à realidade brasileira, de baixo custo e com integração direta a dados oficiais (AISWEB, METAR, TAF). Diferente de ferramentas estrangeiras que priorizam operações IFR e internacionais, a proposta aqui apresentada busca simplificar o planejamento VFR doméstico, consolidando informações críticas em uma interface acessível e intuitiva.

### 3 METODOLOGIA

Esta pesquisa tem caráter aplicado, uma vez que busca propor e avaliar uma solução prática para apoiar pilotos privados no planejamento pré-voo da aviação geral (AG). Essa etapa é amplamente reconhecida como crítica para a segurança operacional, conforme estabelecido em normas internacionais e nacionais.

#### 3.1 Elaboração e estrutura do questionário

O instrumento de coleta de dados consistiu em um questionário online desenvolvido pela equipe do projeto, com a participação direta de dois pilotos privados, que auxiliaram na definição e no refinamento das questões. Essa colaboração foi essencial para garantir que o questionário refletisse a realidade operacional do piloto privado, contemplando variáveis realmente críticas no planejamento pré-voo.

A elaboração das perguntas foi embasada em documentos normativos e literatura especializada, como o RBAC 91 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2017), o FAA AC 91-92 (Federal Aviation Administration (FAA), 2021), e o *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge* (Federal Aviation Administration (FAA), 2016), além de estudos acadêmicos sobre falhas recorrentes no planejamento (Lopes et al., 2024; Li et al., 2014; Babb, 2016).

O questionário foi estruturado em quatro blocos principais:

1. **Perfil do piloto:** idade, tempo de experiência, horas médias mensais e categorias de aeronaves voadas (monomotor, bimotor, *type rating*).
2. **Rotina de planejamento:** tempo médio gasto no pré-voo, número de voos realizados mensalmente.
3. **Ferramentas e dificuldades:** métodos empregados (manual, planilhas, aplicativos), aplicativos já utilizados, dificuldades mais comuns (coleta dispersa de informações, mudanças de última hora, novos NOTAMs, alterações meteorológicas).

4. **Percepção sobre ferramentas digitais:** variáveis consideradas essenciais para a segurança (meteorologia, combustível, pista, rota, NOTAMs), interesse no uso de um aplicativo integrador e espaço para sugestões livres.

Esta estrutura de questionário permitiu captar, de forma objetiva e segmentada, tanto informações quantitativas quanto qualitativas, possibilitando uma análise estatística descritiva e a identificação de padrões comportamentais relevantes entre diferentes perfis de pilotos da aviação geral.

## 3.2 Validação

O questionário passou por um processo de validação de conteúdo em duas etapas: primeiro, revisão por dois pilotos colaboradores; depois, pela equipe do ITA, assegurando alinhamento com normas e literatura técnica. Foi realizado também um pré-teste piloto em pequena escala, permitindo ajustes na redação e inclusão de espaço para comentários abertos.

## 3.3 Aplicação e análise dos dados

O questionário foi disponibilizado em julho de 2025 no *Google Forms* e divulgado em grupos de *WhatsApp* de pilotos privados, escolas de aviação e redes sociais. Foram obtidas 49 respostas válidas, analisadas em duas etapas:

1. Estatística descritiva (perfil da amostra, padrões de tempo de planejamento, categorias de aeronaves voadas e frequência de uso de aplicativos).
2. Análise cruzada e qualitativa (experiência  $\times$  tempo de planejamento e comentários livres).

Essa abordagem permitiu priorizar as variáveis mais críticas do planejamento pré-voos (meteorologia, combustível, condições de pista, rota e NOTAMs), além de mapear os benefícios percebidos de uma solução digital integrada, como redução do tempo de preparação, centralização das informações e maior clareza na tomada de decisão.

Para fins de transparência e replicabilidade, o questionário completo utilizado nesta pesquisa encontra-se disponível no repositório da aplicação.

## 4 RESULTADOS

A análise das 49 respostas ao questionário permitiu compreender de forma detalhada como os pilotos privados realizam o planejamento pré-voos na aviação geral, identificar variáveis priorizadas para decisão, mapear limitações do processo atual e estimar benefícios potenciais de uma ferramenta digital integrada. Além disso, foram levantados exemplos práticos de dificuldades relatadas pelos próprios pilotos, reforçando achados descritos na literatura.

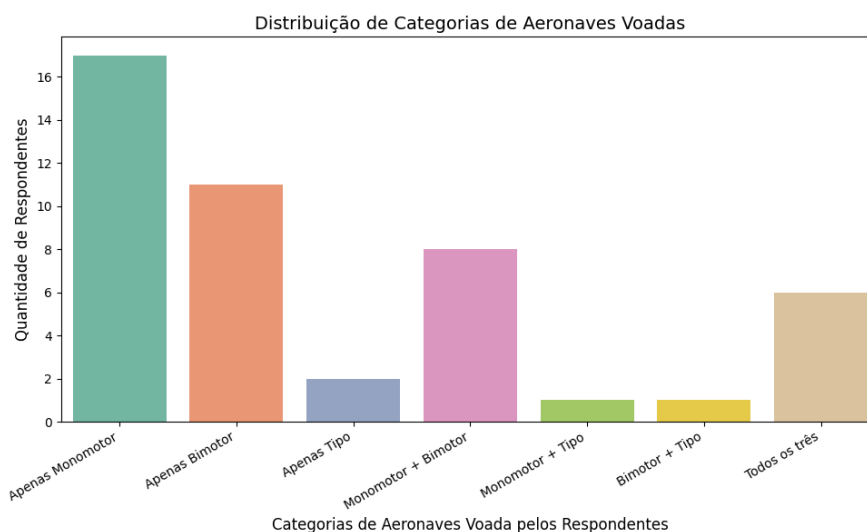
### 4.1 Resumo descritivo

Na amostra de 49 pilotos, a idade variou de 19 a 66 anos, e a experiência profissional de 1 a 32 anos. A atividade operacional oscilou entre 1 e 50 voos por mês, com 0 a 100 horas mensais de voos. Esses intervalos ilustram a heterogeneidade do perfil etário, da senioridade e da intensidade de operação do grupo.

Dos 49 respondentes, 46 indicaram as categorias de aeronaves voadas entre monomotores, bimotores e aeronaves que exigem type rating. Essa diversidade de perfis contribuiu para análises cruzadas entre experiência, tipo de aeronave e tempo de planejamento.

## 4.2 Categorias de aeronaves voadas

Observou-se predominância de monomotores, operados por 65,3% dos respondentes. Mais da metade (53,1%) também declarou voar bimotores, enquanto apenas 20,4% possuem habilitação de tipo. A Figura 1 apresenta as distribuições por categorias, sendo que os respondentes podem marcar mais de uma categoria.



**Figura 1:** Distribuição das categorias de aeronaves voadas pelos respondentes.

A análise cruzada revelou que:

- 8 pilotos voam monomotor e bimotor, mas não aeronaves tipo, indicando progressão ainda restrita a classes convencionais.
- 6 pilotos acumularam habilitação para os três segmentos, sugerindo maior senioridade e diversidade operacional.

Esses dados confirmam que a maioria da amostra atua em aviões de menor complexidade, com um contingente reduzido avançando para equipamentos que exigem treinamento e qualificação específicos.

Na avaliação das variáveis críticas para a segurança do voo, os pilotos destacaram, por ordem de prioridade:

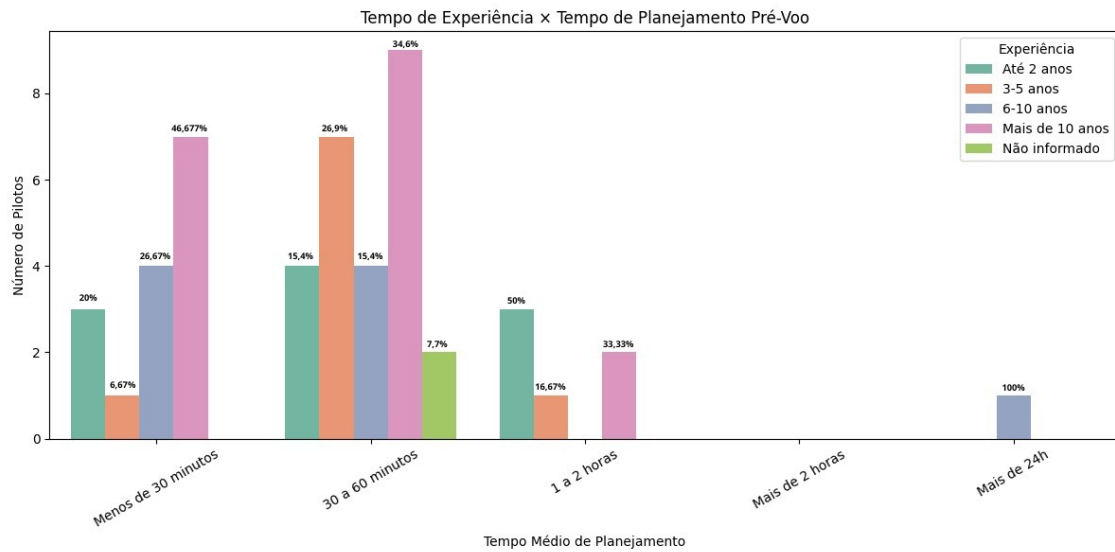
1. Meteorologia no local de partida e chegada;
2. Condições da pista (dimensões, tipo de pavimento e estado de conservação);
3. Consumo estimado de combustível (incluindo reservas);
4. Distância e tempo planejados de rota;
5. Atualização constante de NOTAMs.

Essas prioridades estão em consonância com normas oficiais como o RBAC 91 (Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), 2017) e o FAA AC 91-92 (Federal Aviation Administration (FAA), 2021), e confirmam achados de Lopes et al. (2024), que apontam esses elementos como pilares do planejamento seguro.

### 4.3 Experiência do piloto e tempo médio de planejamento pré-vo

A análise cruzada dos dados sugere que pilotos mais experientes tendem a demandar menos tempo para o planejamento pré-vo, reflexo do maior domínio de procedimentos e familiaridade com rotas. Entretanto, verificaram-se exceções: pilotos experientes que operam diferentes categorias de aeronaves ou trajetos menos frequentes declararam gastar tempo semelhante ou até superior ao de pilotos menos experientes.

Esse resultado, evidenciado na figura 2, mostra que a complexidade operacional é tão relevante quanto a experiência ao estimar o tempo necessário para planejar um voo, conforme apontado por Lopes et al. (2024). Além disso, o fato de até mesmo pilotos experientes demandarem tempo considerável reforça que um protótipo digital integrador pode ser útil para todos os perfis de piloto, ao centralizar informações críticas e reduzir a carga cognitiva.



**Figura 2:** Distribuição do tempo médio de planejamento pré-vo por faixa de experiência dos pilotos.

### 4.4 Aplicativos utilizados, forma de funcionamento, custos

A pesquisa identificou que 67,3% dos pilotos já utilizam ferramentas digitais para apoiar o planejamento pré-vo, ainda que de forma fragmentada. Entre os aplicativos pagos, destacou-se o *ForeFlight*, utilizado principalmente por pilotos com experiência internacional. Sua robustez (cartas, meteorologia, logs automáticos) contrasta com o custo elevado, cerca de US\$ 120 anuais, considerado proibitivo por grande parte dos respondentes.

Outros aplicativos citados foram o *RocketRoute* e o *SkyDemon*, voltados ao mercado europeu e com limitações semelhantes de custo e contexto operacional. Já entre soluções

gratuitas ou parciais, os pilotos relataram usar *Google Maps*, aplicativos genéricos de meteorologia e o AISWEB para consultas manuais de NOTAMs e dados de pista.

Esses resultados confirmam a análise de Babb (2016), segundo a qual o custo elevado e a falta de adaptação local são barreiras à popularização das ferramentas digitais fora dos mercados centrais (EUA e Europa).

## 4.5 Insights dos comentários dos pilotos

Os comentários livres reforçaram achados importantes:

- **Carga cognitiva elevada:** pilotos destacaram a dificuldade de reunir e analisar grande volume de dados em rotas desconhecidas.
- **Falta de tempo:** apontaram problemas em atualizar informações de última hora, como novos NOTAMs ou mudanças meteorológicas.
- **Desejo de integração:** muitos expressaram interesse em uma ferramenta que reunisse meteorologia, dados de pista, consumo de combustível e NOTAMs em uma única interface.
- **Interface simples:** pediram foco em facilidade de uso, atuando como apoio, mas sem substituir o julgamento final do piloto.

Essas percepções qualitativas convergem com a literatura sobre fatores humanos, que alerta para os riscos da fragmentação de informações e da sobrecarga cognitiva (Li et al., 2014; Lopes et al., 2024). Além disso, conectam-se diretamente à proposta do protótipo desenvolvido, que busca centralizar dados oficiais (AISWEB, METAR e TAF) em uma interface única e intuitiva.

## 5 PROTÓTIPO DO APLICATIVO

Com base nas respostas obtidas na etapa anterior e nos comentários qualitativos, foi desenvolvido um protótipo inicial da aplicação *Flight Safety Decision*. O objetivo do sistema é fornecer ao piloto uma análise automatizada sobre a segurança das condições de voo, com base em dados operacionais, meteorológicos e regulatórios. Para isso, o piloto insere informações essenciais, como:

- Aeródromos de origem e destino;
- Distâncias mínimas de decolagem e pouso;
- Autonomia de combustível;
- Velocidade de cruzeiro;
- Peso estimado da aeronave.

A partir desses dados, o sistema avalia as condições do voo e retorna um diagnóstico indicando se elas são “seguras” ou “não seguras”, junto de justificativas técnicas baseadas nas informações obtidas.

A versão atual do sistema está disponível para testes no seguinte endereço:

<https://voodecision.streamlit.app/>

Para fins de transparência, replicabilidade e continuidade do desenvolvimento, o repositório público contendo o código-fonte, as perguntas do questionário descrito na metodologia e as instruções de uso está disponível em: <https://github.com/ingridportilho23/voodecision>.

## 5.1 Arquitetura e Fontes de Dados

O protótipo foi implementado em Python utilizando o framework **Streamlit**, que permite a integração entre lógica de negócio e interface gráfica de forma eficiente. A arquitetura é do tipo **monolítica modularizada**, com as seguintes características:

- **Frontend e backend integrados:** toda a lógica de processamento e interface do usuário reside no mesmo código.
- **APIs externas:** o sistema consulta automaticamente dados das APIs da **REDEMET** (boletins METAR e TAF) e da **AISWEB/DECEA** (dados de pistas e NOTAMs).
- **Segurança:** as credenciais de acesso às APIs são armazenadas de forma segura no ambiente de deploy (Streamlit Cloud), por meio de variáveis protegidas (`st.secrets`).

## 5.2 Interface do Protótipo

A interface foi projetada para ser clara, funcional e responsiva, de modo que pilotos consigam realizar a checagem mesmo sob restrições de tempo. A Figura 3 apresenta duas telas principais do sistema:



(a) Tela de entrada de dados do voo pelo piloto.



(b) Diagnóstico de segurança do voo com análise das pistas.

**Figura 3:** Protótipo *Flight Safety Decision*: entrada de dados e resultado da avaliação.

Após o envio dos dados, o sistema exibe informações complementares que auxiliam na decisão:

- Diagnóstico de segurança com base nas normas do RBAC 91;

- Condições meteorológicas da origem e destino, extraídas de METAR e TAF;
- Disponibilidade e comprimento das pistas dos aeródromos;
- NOTAMs com avisos operacionais relevantes.

### 5.3 Condições Meteorológicas

As condições meteorológicas são automaticamente recuperadas dos boletins METAR e TAF para os aeródromos informados. As Figuras 4a e 4b apresentam essas informações de forma visualmente destacada:



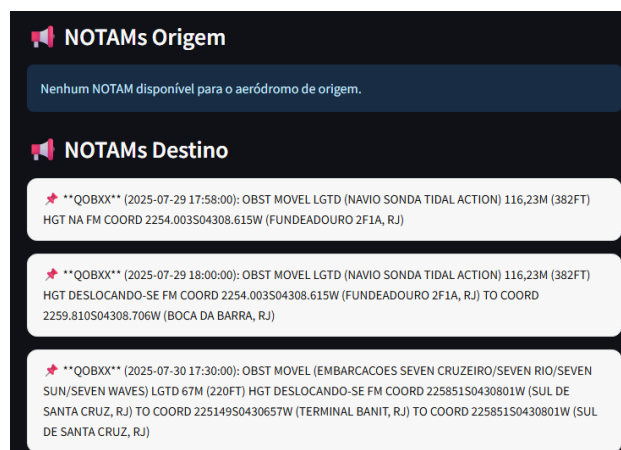
(a) Boletim METAR/TAF da origem: visibilidade, vento, teto, entre outros.

(b) Boletim METAR/TAF do destino: condições previstas para pouso.

**Figura 4:** Condições meteorológicas extraídas dos boletins METAR e TAF.

### 5.4 NOTAMs Relevantes

O sistema também exibe os NOTAMs válidos para origem e destino, permitindo ao piloto identificar alertas que possam comprometer a operação (ex.: pistas interditadas, obras, obstáculos). A Figura 5 mostra a exibição dos NOTAMs organizados por localidade:



**Figura 5:** Exibição dos NOTAMs de origem e destino organizados por aeródromo.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho partiu da constatação de que, ao contrário da aviação comercial — na qual tripulações contam com sistemas robustos e integrados de despacho operacional (FOS) — os pilotos privados da aviação geral ainda dependem de planilhas, consultas manuais e múltiplas plataformas dispersas para realizar o planejamento pré-voos. Essa lacuna aumenta a carga cognitiva, favorece lapsos de julgamento e pode comprometer a segurança operacional.

Como contribuição, foi desenvolvido um protótipo de aplicativo que consolida, em uma interface simples e intuitiva, dados essenciais como rota planejada, cálculo de combustível, condições de pista e informações oficiais em tempo real do AISWEB, METAR e TAF, gerando automaticamente uma análise sobre se a condição do voo está “segura” ou “não segura”.

A pesquisa aplicada junto a 49 pilotos privados demonstrou alta aceitação da proposta: mais de 75% afirmaram que certamente utilizariam a ferramenta, e outros 20% responderam “talvez”. Entre os benefícios mais destacados estão a redução do tempo de preparação, a centralização das informações críticas em um único local e a maior clareza para a tomada de decisão.

Apesar desses resultados promissores, reconhecem-se algumas limitações: o protótipo ainda não foi validado em operações reais; não houve avaliação estatística do impacto direto na redução do tempo de planejamento ou na mitigação de falhas; e a interface gráfica demanda ajustes adicionais a partir de feedback de pilotos em diferentes perfis e cenários operacionais.

Como trabalhos futuros, pretende-se:

1. Realizar testes em campo, validando a confiabilidade e a usabilidade do aplicativo em operações reais;
2. Coletar dados quantitativos sobre a redução efetiva do tempo de planejamento e impacto na qualidade das decisões;
3. Aprimorar a interface para torná-la mais responsiva e adaptada a diferentes perfis de voo;
4. Explorar novas funcionalidades, como alertas automáticos de combustível insuficiente, sugestão de rotas alternativas em caso de NOTAMs restritivos e integração com regulamentações nacionais e internacionais.

Com esses avanços, espera-se que o aplicativo contribua para aproximar o nível de suporte ao planejamento pré-voos na aviação geral daquele já alcançado na aviação comercial, promovendo maior eficiência operacional e mitigando riscos associados a falhas humanas.

## Referências

- CENIPA (2023). Relatório anual sipaer 2023. centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos. Relatório técnico, CENIPA, Brasília.
- Agência Nacional de Aviação Civil (2022). Anuário do transporte aéreo 2022. Relatório técnico, Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/>. Acesso em: 2025-07-20.
- Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (2017). Rbac 91 – regras gerais de operação. Relatório técnico, Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília.

- Babb, M. (2016). Vfr flight planning with paper charts versus electronic charts. Disponível em: <https://repository.fit.edu/ijas/vol1/iss2/2>. Acesso em: 2025-07-22.
- Federal Aviation Administration (FAA) (2016). *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*. FAA, Washington, DC.
- Federal Aviation Administration (FAA) (2021). Advisory circular 91-92 – preflight planning, preflight briefing, and inflight monitoring. Relatório técnico, FAA, Washington, DC.
- General Aviation Manufacturers Association (GAMA) (2023). General aviation statistical databook. Relatório técnico, GAMA.
- International Civil Aviation Organization (ICAO) (2016). *Doc 9966 – Manual on Flight Planning*. ICAO, Montreal.
- Li, W., Xu, C., Zhang, S., & Zhang, J. (2014). The application of aeronautical decision-making support systems for improving pilots' performance in flight operations. *The Scientific World Journal*, páginas 1–10. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/571081>. Acesso em: 2025-07-20.
- Lopes, J., Neves, J., & Aparicio, M. (2024). Key insights from preflight planning for safety improvement in general aviation: A systematic literature review. *Applied Sciences*, 14(9).
- McSorley, R., Brown, S., & Knott, P. (2021). Pilot perceptions of pre-flight weather briefings in general aviation. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 8(4). DOI: 10.15394/ijaaa.2021.1604.
- NTSB (2020). Accident database e synopses. Relatório técnico, National Transportation Safety Board, Washington, DC.
- Psyllou, P., Karakostas, A., & Alexopoulos, C. (2018). Flight planning practices and human factors in european general aviation. *Aviation Psychology and Applied Human Factors*, 8(2):76–85. DOI: 10.1027/2192-0923/a000146.
- Smith, J., Taylor, H., & Morris, B. (2021). Fuel mismanagement in general aviation: a human factors perspective. *Journal of Safety Research*, 77:210–219. DOI: 10.1016/j.jsr.2021.02.008.
- Zhang, Y., Wang, H., Li, J., & Xu, C. (2022). General aviation accidents in china: Human factors analysis using hfacs framework (1996–2021). *Safety Science*, 155:105–122. DOI: 10.1016/j.ssci.2022.105122.