

BENEFÍCIOS DO GLS E OS DESAFIOS DE SUA IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL

Anna Paula Bechepeche¹
Luiz Celso de Barros Neto²

RESUMO

A aviação civil atravessa um processo de modernização fundamentado no conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN), contexto no qual o *GBAS Landing System* (GLS) emerge como uma evolução tecnológica para as fases de aproximação e pouso. Entretanto, a implementação deste sistema no Brasil enfrenta um problema técnico crítico: a localização do país em região de baixa latitude, sujeita a irregularidades ionosféricas que comprometem a integridade do sinal GNSS, além de questionamentos sobre a viabilidade econômica de sistemas de ultra-precisão frente à climatologia local. O presente estudo justifica-se pela necessidade de otimizar a infraestrutura aeroportuária, visando a redução de custos de manutenção, a eficiência no consumo de combustível e a mitigação dos impactos ambientais. O objetivo principal foi analisar a viabilidade da adoção do GLS no cenário brasileiro, investigando seus benefícios operacionais em contraponto aos desafios técnicos e institucionais. Para tanto, adotou-se uma metodologia qualitativa de revisão bibliográfica e documental. Os resultados indicam que o GLS supera o *Instrument Landing System* (ILS) pela arquitetura centralizada, capaz de atender todas as pistas de um aeródromo com uma única estação. Conclui-se que a operação GLS Categoria I é viável no Brasil mediante o uso de modelos de ameaça ionosférica regionais, enquanto o alcance de categorias superiores depende de estratégias híbridas, como o uso de múltiplas constelações, exigindo adaptações regulatórias e investimentos assertivos.

Palavras-chave: GLS; Ionosfera; Aproximação de Precisão; GNSS.

¹ Graduada em Física pela Universidade Federal de Goiás (1988), mestre em Física pela Universidade de São Paulo (1991), doutora em Química pela Universidade Federal de São Carlos (1996). Professora efetiva na Pontifícia Universidade Católica de Goiás e na Universidade Estadual de Goiás. Possui experiência na área de Física, com ênfase em Física da Matéria Condensada.

E-mail: abechepeche@yahoo.com.br

BENEFITS OF GLS AND THE CHALLENGES OF ITS IMPLEMENTATION IN BRAZIL

ABSTRACT

Civil aviation is undergoing a modernization process based on the concept of Performance-Based Navigation (PBN), a context in which the GBAS Landing System (GLS) emerges as a technological evolution for the approach and landing phases. However, the implementation of this system in Brazil faces a critical technical problem: the country's location in a low-latitude region, subject to ionospheric irregularities that compromise the integrity of the GNSS signal, in addition to questions about the economic viability of ultra-precision systems in the face of local climatology. This study is justified by the need to optimize airport infrastructure, aiming at reducing maintenance costs, improving fuel efficiency, and mitigating environmental impacts. The main objective was to analyze the feasibility of adopting GLS in the Brazilian scenario, investigating its operational benefits in contrast to the technical and institutional challenges. To this end, a qualitative methodology of bibliographic and documentary review was adopted. The results indicate that GLS surpasses Instrument Landing System (ILS) due to its centralized architecture, capable of serving all runways of an aerodrome with a single station. It is concluded that Category I GLS operation is feasible in Brazil through the use of regional ionospheric threat models, while achieving higher categories depends on hybrid strategies, such as the use of multiple constellations, requiring regulatory adaptations and assertive investments.

Keywords: GLS; Ionosphere; Precision Approach; GNSS.

1 INTRODUÇÃO

O setor da aviação civil global tem passado por significativas transformações impulsionadas pela constante expansão tecnológica, um processo fundamental para garantir a continuidade do crescimento e maximizar a segurança operacional (Scussel, 2018). Dentro deste contexto de modernização, a Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) estabeleceu, desde os anos 80, o conceito *Communication, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management (CNS/ATM)*,

visando estruturar as bases para a aviação do futuro (Scussel, 2018; López-Lago et al., 2020). Essa reestruturação busca integrar avanços como o uso de satélites e sistemas de comunicação mais precisos para otimizar os procedimentos de voo (López-Lago et al., 2020).

Uma das ferramentas essenciais do conceito CNS/ATM e tida como prioridade pela ICAO é a Navegação Baseada em Performance, que utiliza os avanços tecnológicos para proporcionar voos mais curtos, rápidos, seguros, econômicos e menos poluentes (Scussel, 2018). Os benefícios da PBN são expressivos, demonstrando, em estudos de rotas nacionais, a possibilidade de economizar milhões de litros de combustível e evitar a emissão de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, quando comparada à navegação aérea convencional (Scussel, 2018).

Neste cenário de avanço tecnológico, os sistemas de auxílio à navegação para as fases críticas de aproximação e pouso evoluem continuamente, buscando aumentar a segurança, a eficiência e a acessibilidade aos aeroportos, especialmente em condições meteorológicas adversas (López-Lago et al., 2020). Historicamente dependente de equipamentos terrestres como o *Instrument Landing System* (ILS), a aviação moderna migra para soluções baseadas em satélite (Oliveira, Silva & Soares, 2020).

O *Ground-Based Augmentation System* (GBAS) surge como um sistema de navegação que se vale de estações *Global Navigation Satellite System* (GNSS) terrestre para fornecer correções que aprimoram a precisão e a integridade da navegação (Silva, 2020). Este sistema suporta o GLS, uma capacidade que tem sido implementada em aeronaves comerciais e testada com sucesso em diversos aeroportos internacionais (Murphy et al., 2006).

O GLS apresenta vantagens significativas em relação ao ILS, que é um sistema mais dispendioso e limitado, pois requer a instalação de equipamentos de radiofrequência dentro e fora do aeroporto para cada cabeceira de pista (Silva, 2020). Em contraste, o GBAS pode monitorar e oferecer serviço de aproximação e pouso para todas as pistas do aeroporto utilizando apenas uma estação de solo, o que confere maior flexibilidade operacional e econômica (Silva, 2020; Oliveira; Silva; Soares, 2020).

Além disso, a tecnologia GLS demonstra capacidades avançadas que vão além da simples substituição do ILS, incluindo a utilização de múltiplas definições de aproximação para a mesma pista, ou seja, aproximações específicas para certas categorias de performance, suporte a cabeceiras deslocadas e a realização de aproximações curvas multissegmento, aproveitando o serviço de posicionamento GBAS (Murphy et al., 2006). Tal modernização de sistemas de aproximação está em curso globalmente, com instalações *CAT I* já operacionais ou em desenvolvimento em diversos países, incluindo o Brasil (Guenter; Dennis, 2015).

Contudo, a adoção e o desenvolvimento em larga escala do GLS no Brasil impõem desafios técnicos específicos, decorrentes de sua localização geográfica (Silva, 2020). O país, situado em região equatorial e de baixa latitude, enfrenta irregularidades na ionosfera que constituem a principal restrição para a disponibilidade do sistema, especialmente para aproximações de precisão de Categoria II/III (*CAT-II/III*) (Silva, 2020; Alhosban; Farkas, 2025).

A ionosfera é uma camada atmosférica sensível ao clima espacial, sendo afetada por radiação solar e cósmica, fenômenos que influenciam diretamente a integridade e a acurácia dos sistemas GNSS (Aguiar & Eberhardt, 2021). Estudos de simulação no Brasil confirmam que o aumento do gradiente ionosférico vertical pode levar a uma perda de integridade do serviço, superando os limites de alerta (Silva, 2020).

Pesquisas recentes indicam que, embora o atual GBAS de frequência única atenda aos padrões *GAST-C¹* globalmente, alcançar um desempenho superior exige estratégias híbridas que incorporem monitoramento em tempo real, sinais de múltiplas frequências e o desenvolvimento de modelos de ameaça específicos para a região (Pereira; Monico; Camargo, 2021; Alhosban; Farkas, 2025).

Paralelamente aos desafios técnicos, a plena operacionalidade do GLS em cenários complexos esbarra em significativas lacunas regulatórias globais. A literatura aponta que a estrutura normativa atual ainda não abarca os critérios necessários para a certificação de métodos avançados de mitigação ionosférica, especificamente aqueles que empregam estratégias híbridas, como o uso de múltiplas frequências e múltiplas constelações (Alhosban; Farkas, 2025).

¹GBAS Approach Service Type C.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 94-116, jan/fev. 2026.

Esse descompasso institucional impede que soluções tecnológicas já validadas em simulação sejam imediatamente aplicadas na aviação comercial, uma vez que a padronização dessas novas abordagens exige um esforço colaborativo inédito entre fabricantes e autoridades de aviação civil para definir requisitos de segurança aceitáveis para operações de alta precisão baseadas nestes novos paradigmas. (Alhosban; Farkas, 2025).

Adicionalmente, a questão da viabilidade do custo-benefício, notada em pesquisas sobre sistemas de precisão como o ILS CAT III no Brasil, deve ser considerada, dada a baixa frequência de condições meteorológicas extremas que demandam operações de alta precisão no país (Braga; Silva, 2019). Portanto, a implementação do GLS requer uma análise cuidadosa que equilibre os benefícios operacionais e a necessidade real com os custos de adaptação da infraestrutura (Braga; Silva, 2019).

Neste contexto, o presente artigo aborda os benefícios e desafios da implementação do GLS no Brasil, uma tecnologia moderna de auxílio à navegação para pousos de precisão. Busca-se, assim, responder: quais são os reais benefícios operacionais e os desafios técnicos e institucionais para a implementação em larga escala do GLS no contexto aeroportuário brasileiro?

O objetivo principal deste estudo é avaliar a viabilidade da adoção do GLS no Brasil e seus benefícios como um todo, identificando como ele pode otimizar os procedimentos de pouso e quais aeroportos seriam mais privilegiados. A pesquisa se justifica pela alta importância da fase de pouso e pelo potencial do GLS em reduzir mínimos de visibilidade enquanto supre diversas pistas e aeródromos, diminuindo arremetidas, economizando combustível e, conseqüentemente, aumentando a segurança e a eficiência operacional e ambiental da aviação civil.

Este artigo encontra-se estruturado inicialmente pela apresentação do assunto abordado, na introdução, seguido pela revisão teórica, onde diversas capilaridades do assunto são citadas e discutidas. Por conseguinte, é citada a metodologia, resultados e, por fim, a discussão, onde é apresentado em suma, os benefícios e desafios da implementação do GLS no Brasil.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 EVOLUÇÃO DA NAVEGAÇÃO AÉREA E O CONTEXTO DA PERFORMANCE-BASED NAVIGATION

A aviação civil, um dos setores de maior desenvolvimento global, tem vivenciado transformações significativas nas últimas décadas, impulsionadas pela constante expansão tecnológica (Scussel, 2018). Essa evolução é fundamental não apenas para sustentar o crescimento do tráfego aéreo, mas, primordialmente, para garantir a segurança e a eficiência das operações em um espaço aéreo cada vez mais congestionado (López-Lago *et al.*, 2020).

Para gerenciar essa complexidade crescente e estruturar as bases da aviação do futuro, a ICAO desenvolveu, no início dos anos 80, o conceito CNS/ATM (Scussel, 2018). Este conceito estabeleceu uma arquitetura de sistemas que se vale da tecnologia para otimizar os serviços de tráfego aéreo (López-Lago *et al.*, 2020).

Dentro da estratégia CNS/ATM, a PBN emergiu como uma ferramenta crucial e prioritária da ICAO para a modernização da gestão do espaço aéreo (Scussel, 2018). A PBN representa um conjunto de especificações de navegação que se baseia em avanços tecnológicos para aumentar a segurança e maximizar o espaço aéreo disponível (Scussel, 2018).

A transição para a PBN marca um distanciamento progressivo dos sistemas de navegação aérea convencionais, que, em sua maioria, não passavam por grandes atualizações há quase quarenta anos (López-Lago *et al.*, 2020). Auxílios terrestres como *Very High Frequency Omnidirectional Range* (VOR) e *Tactical Air Navigation* (TACAN) exigiam manutenção considerável e careciam do desempenho necessário para a navegação moderna (López-Lago *et al.*, 2020).

A PBN utiliza a capacidade dos modernos sistemas globais de navegação por satélite GNSS e de comunicação, permitindo o uso destes recursos em diversas fases do voo, desde as partidas de regras de voo por instrumentos

(*InstrumentFlightRules* - IFR) até as aproximações finais (López-Lago *et al.*, 2020). Essa tecnologia possibilita a otimização das trajetórias de voo, tornando-as mais diretas e flexíveis (Scussel, 2018).

Estudos comparativos, analisando rotas PBN versus rotas convencionais, demonstraram que o novo conceito permite uma economia expressiva de combustível (Scussel, 2018). Por exemplo, na rota São Paulo/Congonhas - Rio de Janeiro/Santos Dumont, voando-se em trajetórias PBN diretas, a economia alcançaria aproximadamente 50 milhões de litros de combustível em um período de doze anos (Scussel, 2018).

Essa redução no consumo de combustível está diretamente ligada à diminuição da emissão de poluentes, o que posiciona a PBN como uma solução de alta relevância para as metas de redução de impacto ambiental na aviação (Scussel, 2018). No mesmo exemplo de rota nacional, a economia de combustível evitaria a emissão de cerca de 107 bilhões de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, ao longo de doze anos (Scussel, 2018).

Neste contexto, o GBAS atua como um sistema de acréscimo de sinal ao GNSS, sendo crucial para as aproximações de precisão e pouso (Silva, 2020). O GBAS é um componente-chave na evolução da navegação, atuando no suporte a novos sistemas como o GLS, que já está sendo incorporado em aeronaves e instalações aeroportuárias globalmente (Murphy *et al.*, 2006; Guenter & Dennis, 2015).

A implementação do GBAS *Category I* (CAT I) faz parte do plano *Next Gen* da *Federal Aviation Administration* (FAA) e do programa de modernização da ICAO, sendo que instalações já estão operacionais ou em desenvolvimento em diversos países, incluindo o Brasil (Guenter; Dennis, 2015). Esta demonstração de experiência operacional e a aprovação regulatória global reforçam a importância do GBAS no futuro da aviação (Murphy *et al.*, 2006).

O estudo do GLS insere-se diretamente no esforço global de modernização da aviação, representado pelo PBN, buscando a máxima eficiência e segurança operacional (López-Lago *et al.*, 2020). A análise de sua implementação no Brasil deve ponderar seus benefícios intrínsecos no contexto da aviação do futuro versus

os desafios específicos impostos pela infraestrutura e pelo ambiente geofísico nacional.

2.2 GROUND-BASED AUGMENTATION SYSTEM E OS BENEFÍCIOS OPERACIONAIS DO GBAS LANDING SYSTEM

O GBAS representa um avanço tecnológico crucial para os auxílios à navegação na aviação, sendo um sistema desenvolvido especificamente para auxiliar em aproximações de precisão e pouso de aeronaves (Silva, 2020). Essencialmente, o GBAS baseia-se em estações GNSS terrestres que fornecem correções de alta qualidade, visando melhorar a acurácia e, principalmente, a integridade da navegação por satélite (Silva, 2020).

A funcionalidade operacional do GBAS, quando utilizada para guiar a aeronave na fase final, é conhecida como GLS, e sua implementação tem sido verificada em diversos aeroportos globais, muitas vezes se tornando um substituto todo ILS (Silva, 2020). O GLS é um reflexo da evolução contínua dos sistemas de aproximação, que buscam maior confiabilidade e eficiência (Oliveira, Silva; Soares, 2020).

Uma das mais notáveis vantagens técnicas do GBAS/GLS reside na sua arquitetura de infraestrutura terrestre, a qual se demonstra significativamente mais eficiente do que a do ILS (Silva, 2020). O ILS exige a instalação de dispendiosos equipamentos de radiofrequência, tanto dentro quanto fora do aeroporto, *localizer* e *glide slope* (LOC & G/S) e só é capaz de cobrir uma única cabeceira de pista (Silva, 2020).

Em contraste, o GBAS apresenta uma solução de grande otimização logística, pois necessita de apenas uma estação de solo para monitorar e oferecer o serviço de aproximação e pouso (Silva, 2020). Essa única estação é capaz de servir simultaneamente até 48 aproximações, ou seja, a todas as pistas de um aeroporto, o que simplifica drasticamente a manutenção e a homologação do sistema (Silva, 2020; Oliveira, Silva & Soares, 2020).

Essa centralização de infraestrutura não apenas gera uma redução potencial nos custos de manutenção para os prestadores de serviço de navegação aérea (ANSPs), mas também se revela uma opção economicamente viável para

aeródromos regionais com volume de tráfego aéreo mais baixo (Oliveira, Silva; Soares, 2020). O custo-benefício, neste sentido, é notável quando comparado à necessidade de múltiplos sistemas ILS, como é possível evidenciar na Figura 1 a seguir (Oliveira; Silva; Soares, 2020).

Figura 1 – Comparação entre os preços de implementação e conservação entre ILS e GBAS

Custos de instalação ILS CAT I	Preço [€]	Custo de instalação GBAS Cat I	Preço [€]
Infraestrutura DME e ILS CAT I	336 000	Infraestrutura	500 000
Instalação e comissionamento	175 000	Instalação e comissionamento	120 000
Mão de obra	195 000	Mão de obra	44 000
Calibração	30 000	Certificação inicial de voo	30 000
Custo operacional (por ano)	79 000	Custo operacional (por ano)	43 000

Fonte: Adaptado, Universitat Politècnica de Catalunya, 2020.

Além da eficiência na infraestrutura, o GLS oferece capacidades operacionais avançadas que superam as limitações do ILS (Murphy et al., 2006). A tecnologia permite a definição e o uso de múltiplas aproximações para a mesma pista, o que confere maior flexibilidade e resiliência à gestão do tráfego aéreo em condições variadas (Murphy et al., 2006).

A capacidade de suportar cabeceiras deslocadas (*offset thresholds*) e de estender o serviço de aproximação a aeroportos próximos numa distância de até 23 milhas náuticas (42,5 quilômetros) também foi demonstrada pela *Boeing* durante os testes de certificação do *737NG*, ressaltando a versatilidade do GBAS (Murphy et al., 2006). Tais funcionalidades são essenciais para a otimização do espaço aéreo e a redução do ruído nas comunidades aeroportuárias (Guenter; Dennis, 2015).

A tecnologia GLS também se integra perfeitamente com a PBN, permitindo a execução de aproximações curvas multissegmento, utilizando o serviço de posicionamento GBAS e os requisitos de *Required Navigation Performance* (RNP)

(Murphy *et al.*, 2006). Isso potencializa a utilização de rotas PBN, resultando em voos mais curtos e eficientes (Scussel, 2018).

Adicionalmente, as demonstrações operacionais incluíram a orientação de aeronaves para decolagens em baixa visibilidade, orientação na fase de arremetida e a manutenção do desempenho de pouso em condições simuladas de falha da estação de solo (Murphy *et al.*, 2006). Essas capacidades contribuem diretamente para o aumento da segurança e da previsibilidade operacional (Murphy *et al.*, 2006).

O GBAS CAT I já está em uso para serviço público em grandes aeroportos internacionais, como *Newark Liberty International Airport* (EWR) e *George Bush Intercontinental Airport* (IAH), nos EUA, com companhias aéreas atingindo marcos de milhares de aproximações GLS (Guenter & Dennis, 2015). Esta experiência operacional inicial tem sido amplamente considerada excelente (Murphy *et al.*, 2006).

A implementação do GBAS é parte integrante da visão de futuro da aviação, incluída no *Aviation System Block Upgrade Program* (ASBU)² da ICAO, com fabricantes de aeronaves como *Boeing* e *Airbus* já entregando aeronaves com a capacidade GLS (Guenter; Dennis, 2015). Isso indica uma tendência de mercado e a necessidade de que os provedores de serviços de navegação se preparem para as novas capacidades (Murphy *et al.*, 2006).

A implementação do GBAS/GLS é vista como um meio de explorar o potencial de redução de ruído, de estabelecer caminhos de aproximação mais curtos e de estender o volume de serviço para além das capacidades do ILS (Guenter; Dennis, 2015). Essa capacidade de otimização contribui para a eficiência e para os benefícios ambientais associados à PBN (Scussel, 2018).

2.3 O DESAFIO IONOSFÉRICO: LIMITAÇÕES DO GBAS EM REGIÕES DE BAIXA LATITUDE (BRASIL)

Apesar dos benefícios operacionais e econômicos que o GBAS/GLS oferece, a sua implementação plena, especialmente no que tange às categorias de aproximação de maior precisão (CAT II/III), é confrontada por um obstáculo técnico

² O programa ASBU visa permitir que a aviação alcance a harmonização global, o aumento da capacidade e a melhoria da eficiência ambiental que o crescimento do tráfego aéreo moderno exige em todas as regiões do mundo.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 94-116, jan/fev. 2026.

significativo: o erro imprevisível de atraso ionosférico (Alhosban; Farkas, 2025). Este fenômeno geofísico emerge como a principal restrição para a disponibilidade e a integridade do sistema em certas regiões do planeta (Alhosban; Farkas, 2025).

A vulnerabilidade do sistema está enraizada na dependência do GBAS em relação aos sinais do GNSS, cujo desempenho é intrinsecamente afetado pelo meio eletrônico da ionosfera (Aguiar; Eberhardt, 2021). A ionosfera, por sua vez, é sensível a bombardeamentos de radiação solar e cósmica, que são fenômenos associados ao clima espacial (Aguiar & Eberhardt, 2021).

O desafio se torna particularmente agudo em regiões geográficas específicas (Silva, 2020). O Brasil, por estar situado em uma faixa equatorial e de baixa latitude (aproximadamente 20°N a 20°S), é suscetível a irregularidades ionosféricas que limitam a capacidade do GBAS de alcançar os rigorosos requisitos de desempenho estabelecidos nas normas da aviação civil (Silva, 2020).

A variabilidade da ionosfera é monitorada, no contexto do GBAS, por meio do parâmetro Sigma *Vertical Ionospheric Gradient* (σ_{vig}), que representa a incerteza do gradiente ionosférico vertical (Silva, 2020). A análise do comportamento desse parâmetro em cenários de variações ionosféricas é crucial para compreender sua influência sobre a disponibilidade na aproximação de precisão (Silva, 2020).

Pesquisas investigativas que simulam a performance do GBAS demonstram que a acurácia horizontal e vertical pode cumprir inicialmente o requisito de performance para aproximação de precisão CAT I (Silva, 2020). Contudo, a integridade do sistema é severamente comprometida sob condições ionosféricas desfavoráveis (Silva, 2020).

Especificamente, simulações realizadas utilizando o *software* PEGASUS EUROCONTROL mostraram que o aumento progressivo do valor de Sigma *Vertical Ionospheric Gradient* acarreta um risco significativo de perda de integridade e disponibilidade da componente vertical para a CAT-I (Silva, 2020). Isso ocorre devido à influência das mudanças de geometria dos satélites em conjunto com a perturbação ionosférica (Silva, 2020).

Em cenários com valores mais altos de Sigma *Vertical Ionospheric Gradient* (12, 16 e 20 mm/km), os níveis de proteção superaram os limites de alerta vertical (*Vertical Alert Limits* - VAL), resultando na perda de integridade do sistema (Silva,

2020). Esse resultado técnico prova que o ambiente ionosférico brasileiro é um fator limitante direto para a confiabilidade total do GBAS (Silva, 2020).

Apesar da dificuldade imposta pela ionosfera, o desempenho de *CAT-I* ainda é possível na região, desde que sejam aplicadas rigorosas restrições (Pereira, Monico & Camargo, 2021). No Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (SBGL), por exemplo, experimentos indicaram que a restrição a satélites com elevações entre 10° e 37° é necessária para atender aos requisitos de integridade durante a estação mais afetada (outono) (Pereira; Monico; Camargo, 2021).

O desenvolvimento de *softwares* capazes de determinar em tempo real o *Sigma Vertical Ionospheric Gradient* e calcular os Níveis de Proteção (*HPL/VPL*) é uma estratégia fundamental para refletir a condição ionosférica exata no momento da aproximação (Pereira; Monico; Camargo, 2021). Essas determinações permitem a triagem (*screening*) dos dados com base nos modelos de ameaça estabelecidos (Pereira; Monico; Camargo, 2021).

A pesquisa continua sendo relevante, pois investigar cenários de variações da ionosfera é essencial para compreender sua influência sobre a disponibilidade do serviço de aproximação de precisão com GBAS (Silva, 2020). Essa compreensão é o primeiro passo para a formulação de estratégias de mitigação eficazes no contexto nacional (Pereira; Monico; Camargo, 2021). Portanto, o desafio ionosférico não invalida o uso do GBAS, mas sim, exige o desenvolvimento e a implementação de modelos de ameaça ionosférica regionais para garantir que a segurança e a integridade do sistema sejam mantidas sob as condições tropicais (Alhosban; Farkas, 2025; Pereira; Monico; Camargo, 2021).

2.4 ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO, VIABILIDADE E BARREIRAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL

Para enfrentar o desafio da variabilidade ionosférica em regiões de baixa latitude, como o Brasil, a comunidade científica e as autoridades de aviação têm direcionado esforços para o desenvolvimento e a implementação de estratégias robustas de mitigação (Alhosban; Farkas, 2025). Tais estratégias são consideradas essenciais para alcançar a conformidade do GBAS com os requisitos de

desempenho para categorias de precisão mais elevadas (Pereira; Monico; Camargo, 2021).

Uma das abordagens cruciais envolve o desenvolvimento de modelos de ameaça ionosférica específicos e a determinação do gradiente ionosférico vertical em tempo real (Pereira; Monico; Camargo, 2021). Essa metodologia permite que o sistema reflita a condição ionosférica real durante a aproximação da aeronave e realize o *screening* dos dados com base em limiares predefinidos (Pereira; Monico; Camargo, 2021).

Estudos práticos realizados no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (SBGL) indicaram que é possível atender aos requisitos de integridade para CAT I, mesmo durante o outono – a estação mais afetada (Pereira, Monico & Camargo, 2021). Isso se torna viável mediante a aplicação de restrições operacionais estabelecidas por um modelo de ameaça ionosférica temporal desenvolvido para a região, como a exclusão de satélites com elevações específicas (Pereira; Monico; Camargo, 2021).

Além da monitorização em tempo real da ionosfera de frequência única, a integração de múltiplas constelações (*Dual Frequency Multi-Constellation* – DF/MC) de satélites representa uma estratégia promissora (Pereira; Monico; Camargo, 2021). A utilização do *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* (GLONASS) em conjunto com o GPS demonstrou a capacidade de otimizar a configuração geométrica, o que é um fator positivo para potencialmente atender aos requisitos de limite de alerta vertical e horizontal (*HAL/VAL*) para CAT III (Pereira; Monico; Camargo, 2021).

A pesquisa mais recente sobre a mitigação de erros ionosféricos aponta que, para alcançar categorias superiores (GAST-D/E/F, equivalentes a CAT II/III), são necessárias estratégias híbridas (Alhosban & Farkas, 2025). Essas estratégias incluem a combinação de monitoramento em tempo real, o uso de sinais de múltiplas frequências (como GPS L1/L5 e Galileo E1/E5) e a aplicação dos modelos de ameaça específicos para a região equatorial (Alhosban; Farkas, 2025).

A transição para métodos de dupla frequência e multi-constelação já demonstrou, em estudos de simulação, a capacidade de reduzir os erros ionosféricos residuais em 70% a 90%, o que indica a viabilidade técnica de alcançar

a conformidade para GAST-E (Alhosban; Farkas, 2025). Tais avanços, no entanto, ainda exigem a superação de lacunas regulatórias para a certificação dessas novas abordagens (Alhosban; Farkas, 2025).

Do ponto de vista institucional e regulatório, a implementação do GBAS/GLS no Brasil e no mundo enfrenta desafios que vão além do aspecto técnico (Guenter & Dennis, 2015). A certificação e a padronização de soluções avançadas, como as que utilizam múltiplos sinais e modelos de ameaça, demandam uma estreita colaboração entre a indústria e as autoridades de aviação (Alhosban; Farkas, 2025).

A experiência internacional demonstra que mesmo quando o GBAS é aprovado, a forma de sua adoção (federal ou não-federal) impõe desafios logísticos (Guenter; Dennis, 2015). No caso dos Estados Unidos, a aprovação de sistemas não federais exigiu que a FAA desenvolvesse capacidade interna para inspeção, monitoramento e treinamento de pessoal, mesmo na ausência de sistemas federais (Guenter; Dennis, 2015).

A introdução do GBAS no espaço aéreo exige que sejam endereçados aspectos operacionais, incluindo o processo de aprovação das companhias aéreas, o treinamento de pilotos e a percepção da comunidade de aviação sobre os benefícios, como a otimização de rotas e a redução de ruído (Guenter; Dennis, 2015). Questões como a interferência de radiofrequência (*RFI*), que já foi encontrada em estações GBAS, demandam mitigação técnica e procedimental para garantir a segurança da operação (Guenter; Dennis, 2015).

Pesquisas sobre a necessidade de sistemas de alta precisão, como o ILS CAT III, sugerem que a demanda operacional no Brasil pode não justificar o investimento, dado o número limitado de horas no ano que exigem esse tipo de operação (Braga; Silva, 2019). Esta perspectiva levanta a questão de se o investimento em tecnologia *ultra-high-end* no país oferece o retorno esperado em termos de custo-benefício (Braga; Silva, 2019).

Embora o GBAS ofereça vantagens claras sobre o ILS, especialmente em termos de custos de infraestrutura e flexibilidade (Silva, 2020), a decisão de implementação deve considerar o cenário político e econômico atual, incluindo a concessão e a privatização dos aeroportos (Braga & Silva, 2019). É necessário um estudo que equilibre a busca por maior segurança e eficiência com a real viabilidade

econômica para as companhias aéreas e os operadores aeroportuários (Braga; Silva, 2019).

Apesar dos desafios, a PBN, da qual o GBAS faz parte, traz inegáveis vantagens no que tange à eficiência do voo, economia de combustível e redução de emissões (Scussel, 2018). O potencial do GLS em suprir diversas pistas e aeródromos com uma única estação é um argumento forte em favor de sua implementação, especialmente em um país de dimensões continentais (Silva, 2020). Portanto, a viabilidade da adoção do GLS no Brasil é condicionada à capacidade de mitigar eficazmente os efeitos da ionosfera por meio de estratégias de multi-frequência e modelos regionais, bem como à superação das barreiras econômicas e regulatórias (Alhosban; Farkas, 2025; Braga; Silva, 2019). O sucesso dependerá de uma abordagem integrada que capitalize os benefícios globais do GLS, enquanto adapta o sistema às especificidades brasileiras.

3 METODOLOGIA

A fim de entender minuciosamente os detalhes do que está sendo investigado, selecionou-se uma metodologia qualitativa, com natureza exploratória e descritiva. Essa decisão possibilitou analisar não apenas os dados em si, mas também as intrincadas vantagens e os desafios que surgem ao implementar o GLS no contexto brasileiro.

Para obter e interpretar os dados, estabeleceu-se a pesquisa bibliográfica e documental como método essencial, visto que esse processo oferece a base teórica indispensável por meio de fontes primárias e secundárias da literatura científica e técnica sobre navegação de alta precisão. A escolha do material de pesquisa foi definida pela consulta a artigos, relatórios técnicos, normas nacionais e documentos da ICAO.

O foco da pesquisa documental permitiu delimitar o tema para identificar os elementos técnicos e operacionais do GBAS como precisão, confiabilidade e acessibilidade e fazer uma comparação da infraestrutura com o ILS. A prioridade na análise dos obstáculos, principalmente o impacto da variabilidade ionosférica em áreas de baixa latitude, foi determinada com base na verificação, em pesquisas

anteriores, de que esse fator é crucial para a segurança do sistema no ambiente brasileiro.

A organização metodológica finaliza-se incorporando uma análise comparativa dos custos e ganhos, passo considerado essencial para confirmar a praticidade operacional e financeira da adoção do GLS em larga escala no Brasil. Essa comparação foi planejada para mensurar o potencial de aprimoramento de aterrisagens e a diminuição no consumo de combustível, conectando as descobertas com a realidade das estruturas dos aeroportos brasileiros e as atuais concessões no país.

4 RESULTADOS

O desenvolvimento da análise concentrou-se inicialmente no estudo de caso do cenário brasileiro, caracterizado por sua localização em região de baixa latitude e pela influência de irregularidades ionosféricas. O estudo examinou como o aumento do gradiente ionosférico afeta a integridade do sistema GBAS, utilizando como base simulações e experimentos práticos realizados no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (SBGL). Nesse contexto específico, a investigação monitorou o comportamento do sistema sob diferentes valores do parâmetro *Sigma Vertical Ionospheric Gradient* para verificar os limites de integridade vertical e a disponibilidade de serviço para as categorias de aproximação (Silva, 2020).

A partir desse cenário de desenvolvimento e análise, os resultados obtidos indicaram, primeiramente, uma vulnerabilidade técnica crítica: nos cenários onde o gradiente ionosférico atingiu valores mais altos (12, 16 e 20 mm/km), houve perda de integridade do sistema, com os Níveis de Proteção superando os limites de alerta vertical, o que inviabilizaria a operação segura sem medidas corretivas (Silva, 2020).

Contudo, os resultados dos experimentos no SBGL demonstraram que é possível mitigar esses efeitos e cumprir os requisitos para a Categoria I (CAT I) mediante a aplicação de um modelo de ameaça ionosférica temporal desenvolvido para a região, que impõe restrições operacionais como a exclusão de satélites com determinadas elevações (Silva, 2020).

Avançando para a viabilidade de categorias de maior precisão (CAT III), os resultados apontaram que a abordagem de frequência única é insuficiente, mas a

utilização conjunta de múltiplas constelações (GPS e GLONASS) proporcionou uma melhor configuração geométrica. Essa estratégia híbrida mostrou-se promissora para atender aos rigorosos Limites de Alerta Horizontal e Vertical exigidos para operações de pouso com visibilidade zero (Oliveira; Silva; Soares, 2020).

Em termos de infraestrutura e operação, os resultados comparativos confirmaram a superioridade arquitetural do GLS sobre o sistema convencional. Ficou demonstrado que uma única estação de solo GBAS é capaz de oferecer serviço de aproximação para todas as cabeceiras de pista do aeroporto simultaneamente, eliminando a necessidade de instalar equipamentos complexos de radiofrequência para cada pista, como ocorre com o ILS. Essa otimização revelou-se um resultado chave para a viabilidade econômica, inclusive para aeródromos regionais com menor volume de tráfego (Guenter; Dennis, 2015).

Por fim, os resultados relacionados à eficiência operacional confirmaram o alinhamento do GLS com o conceito PBN. A análise de tráfego indicou que a adoção de rotas otimizadas por essa tecnologia resulta em voos mais curtos, com potencial de economia de aproximadamente 50 milhões de litros de combustível em rotas nacionais ao longo de doze anos, evitando a emissão de 107 bilhões de toneladas de CO₂. Não obstante, a análise de custo-benefício apontou que o investimento em sistemas de ultra-precisão (como equivalentes ao ILS CAT III) pode não ser economicamente justificável no Brasil, dada a baixa frequência anual de condições meteorológicas que exigem tal capacidade operacional (Scussel, 2018).

5 DISCUSSÃO

A transição da aviação para a PBN e a adoção de sistemas de auxílio como o GBAS/GLS é uma tendência global irreversível, impulsionada pelos benefícios de segurança, eficiência e sustentabilidade (Scussel, 2018; López-Lago *et al.*, 2020). O principal argumento em favor do GLS no Brasil é a sua superioridade arquitetural em relação ao ILS, pois o GBAS oferece serviço de aproximação de precisão para todas as pistas de um aeroporto com a instalação de apenas uma estação de solo (Silva, 2020).

Essa característica de infraestrutura única não apenas otimiza o uso do espaço aéreo, como também gera uma redução potencial nos custos de instalação e

manutenção, o que é um fator crucial para a modernização da aviação civil (Oliveira; Silva; Soares, 2020; Silva, 2020). A viabilidade técnica e econômica do GBAS, inclusive para aeródromos regionais com tráfego reduzido, sugere que o sistema pode ser uma ferramenta de democratização da segurança e da acessibilidade aeronáutica (Oliveira; Silva; Soares, 2020).

Os resultados globais reforçam que o GBAS/GLS é um sistema maduro e com desempenho comprovado, capaz de realizar aproximações complexas, como curvas multissegmento, e demonstrar capacidades operacionais avançadas, o que se alinha com as expectativas de eficiência do programa PBN (Murphy et al., 2006). A crescente equipagem de aeronaves com a funcionalidade GLS por fabricantes como Boeing e Airbus sinaliza que a demanda pelo serviço só aumentará, tornando a implementação nacional uma necessidade estratégica (Guenter; Dennis, 2015).

A implantação do GLS é, portanto, diretamente correlacionada aos ganhos de eficiência e aos benefícios ambientais almejados pela ICAO (Scussel, 2018). A capacidade de voar rotas mais curtas e diretas, utilizando a precisão do GBAS, resulta em economia significativa de combustível e na mitigação da emissão de CO₂ (Scussel, 2018). Tais ganhos justificam o investimento na tecnologia sob a perspectiva de responsabilidade corporativa e ambiental (Scussel, 2018).

Contudo, a discussão sobre a implementação do GLS no Brasil não pode negligenciar o desafio ionosférico, que se manifesta como o principal fator limitante para a disponibilidade e a integridade de aproximações de maior precisão (Alhosban; Farkas, 2025). A localização do país em uma região de baixa latitude torna o sistema particularmente vulnerável às irregularidades da ionosfera, comprometendo os requisitos de desempenho (Silva, 2020).

A simulação que demonstra a perda de integridade vertical (superando os limites de alerta) com o aumento do *Sigma Vertical Ionospheric Gradient* é um resultado crítico que deve pautar qualquer plano de implementação (Silva, 2020). Isso indica que, sem medidas de mitigação adequadas, o GBAS pode não ser capaz de fornecer o serviço de alta precisão de forma contínua e segura nas condições ambientais brasileiras mais adversas (Silva, 2020).

Essa vulnerabilidade é agravada pela dependência do GNSS em relação ao equilíbrio geomagnético e ao meio eletrônico da ionosfera, que é suscetível ao clima

espacial (Aguiar & Eberhardt, 2021). A incerteza na previsão desses fenômenos e a baixa conscientização sobre seus impactos exigem um esforço contínuo em monitoramento e pesquisa no país (Aguiar; Eberhardt, 2021).

A solução para o desafio ionosférico passa necessariamente pelo desenvolvimento de modelos de ameaça ionosférica temporais específicos para a região brasileira, conforme sugerido pelos estudos no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (SBGL) (Pereira; Monico; Camargo, 2021). O sucesso em atender aos requisitos de CAT I no SBGL, aplicando restrições operacionais baseadas em modelos regionais, comprova a eficácia dessa abordagem local (Pereira; Monico; Camargo, 2021).

Além dos modelos regionais, a discussão aponta para a inevitabilidade da transição para estratégias híbridas que combinem multi-constelação (GPS e GLONASS) e, futuramente, múltiplas frequências (L1/L5), a fim de obter uma melhor geometria e reduzir os erros residuais, visando o alcance de CAT-III (Pereira; Monico; Camargo, 2021; Alhosban; Farkas, 2025). Apesar do potencial técnico de alcançar categorias mais altas com o uso de múltiplas frequências, as barreiras regulatórias globais na certificação desses métodos avançados representam um desafio institucional a ser superado (Alhosban; Farkas, 2025). A cooperação entre a indústria e as autoridades de aviação é fundamental para padronizar e validar essas soluções (Alhosba; Farkas, 2025).

Paralelamente aos desafios técnicos, o fator da viabilidade econômica deve ser ponderado (Braga; Silva, 2019). A discussão deve considerar que a implementação de sistemas de *ultra-precisão* no Brasil, como o ILS CAT III, já foi questionada quanto ao seu custo-benefício, dada a baixa incidência de condições meteorológicas que demandam tais operações (Braga; Silva, 2019). Portanto, a decisão de implementação em larga escala do GLS deve ser fundamentada em uma análise de risco-benefício que avalie se a frequência de condições meteorológicas adversas realmente justifica o custo de adaptação e manutenção, especialmente no contexto de concessões aeroportuárias (Braga e Silva, 2019).

A experiência internacional também oferece lições sobre os desafios institucionais na gestão de sistemas não federais (Guenter; Dennis, 2015). O Brasil, ao implementar o GBAS, deve estar preparado com pessoal treinado e

procedimentos claros para inspeção e monitoramento, garantindo a segurança mesmo em um cenário de adoção não uniforme (Guenter; Dennis, 2015). O GLS é a tecnologia de auxílio à navegação mais avançada e eficiente, com benefícios operacionais claros (Silva, 2020; Murphy et al., 2006). Contudo, a sua plena viabilidade no Brasil exige a resolução do desafio ionosférico por meio de modelos regionais e a adoção de estratégias híbridas, além de uma análise econômica cuidadosa que valide o investimento frente à necessidade operacional (Alhosban; Farkas, 2025; Braga; Silva, 2019).

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da adoção do GLS no Brasil e seus benefícios, identificando os desafios técnicos e institucionais para sua implementação em larga escala. Conclui-se que o GLS/GBAS é inquestionavelmente a evolução natural e mais eficiente dos sistemas de aproximação de precisão, necessitando maior atenção das entidades nacionais para sua implementação, pois o mesmo oferece vantagens operacionais e econômicas significativas, como o atendimento a múltiplas pistas com uma única estação de solo, simplificando a infraestrutura e a manutenção em comparação com o ILS (Silva, 2020; Oliveira; Silva; Soares, 2020).

Os benefícios do GLS se alinham diretamente com a estratégia de modernização PBN, proporcionando ganhos de eficiência que se traduzem em rotas mais curtas, economia substancial de combustível e redução na emissão de dióxido de carbono (CO₂), o que contribui para a sustentabilidade e eficiência operacional da aviação civil brasileira (Scussel, 2018). As capacidades de flexibilidade operacional, como as aproximações curvas e as múltiplas definições de aproximação, também reforçam o potencial do sistema para otimizar os procedimentos de pouso (Murphy et al., 2006).

A solução para mitigar o erro ionosférico, e assim garantir a integridade e disponibilidade, passa pela adoção de estratégias híbridas e regionais (Alhosban; Farkas, 2025). O sucesso em atender aos requisitos de CAT I em aeroportos nacionais, através da aplicação de um modelo de ameaça ionosférica temporal desenvolvido localmente e da utilização de múltiplas constelações

(GPS/GLONASS), indica que o GBAS é operacionalmente viável no Brasil, desde que sejam aplicadas as devidas restrições e adaptações técnicas (Pereira; Monico; Camargo, 2021).

Do ponto de vista econômico e institucional, o projeto ressalta que a implementação do GLS deve ser acompanhada de uma análise de custo-benefício que pondere a real necessidade de sistemas de ultra-precisão frente às condições meteorológicas predominantes no país, evitando o investimento excessivo em um sistema que pode não ser totalmente aproveitado em termos de frequência operacional (Braga; Silva, 2019). A superação de lacunas regulatórias e a preparação institucional para a gestão de sistemas de acréscimo de sinal são etapas críticas (Guenther; Dennis, 2015; Alhosban; Farkas, 2025).

Em última análise, a adoção do GLS no Brasil é um passo essencial para a modernização da infraestrutura aérea e para o aumento da segurança e eficiência, devendo ser mais profundamente pesquisado, estudado e comentado em âmbito nacional. Contudo, a sua implementação em larga escala deve ser cautelosa, focando inicialmente na consolidação das capacidades de CAT I através de modelos de mitigação regional e preparando a infraestrutura para a futura transição para sistemas de multi-frequência, garantindo assim que o avanço tecnológico seja seguro, economicamente justificável e sustentável (Pereira; Monico; Camargo, 2021; Alhosban; Farkas, 2025).

ISSN 2763-7697

REFERÊNCIAS

AGUIAR, João Pedro Souza; EBERHARDT, Dario. O futuro da confiabilidade da navegação aérea dependente do clima espacial. **Revista da UNIFA**, v. 34, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/unifa/images/revista/pdf/v34n2/futuro.pdf>. Acesso em: 05 out. 2025

ALHOSBAN, Ahmad; FARKAS, Tibor. Analyzing Ionosphere Delay Error in GBAS Landing System (GLS) Type D/F– Systematic and Comprehensive Review. **Journal of Communications**, v. 20, n. 5, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/361944640_Assessing_Availability_of_GNSS-GBAS_Landing_Systems_in_GAST-DF_Performance. Acesso em: 04 out. 2025

BRAGA, Lucas Cunha; SILVA, Tammyse Araújo da Silva. ILS CAT III no Brasil: custo-benefício de instalação no Brasil. **Cadernos de Educação Tecnologia e Sociedade**, v. 12, n. 1, p. 14-23, 2019. Disponível em:

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 94-116, jan/fev. 2026.

https://www.researchgate.net/publication/339937057_ILS_CAT_III_NO_BRASIL_CUSTO-BENEFICIO_DE_INSTALACAO_NO_BRASIL. Acesso em: 12 set. 2025

GUENTER, Dieter; DENNIS, Joseph. Initial operational experience with CAT I ground based augmentation system (GBAS). In: **2015 Integrated Communication, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)**. IEEE, 2015. p. S1-1-S1-14. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/331955689_GROUND_BASED_AUGMENTATION_SYSTEM_GBAS. Acesso em: 15 set. 2025.

LOBATO, A.D. **Navegação Aérea Descomplicada 2ª Parte**. Belo Horizonte: Edição do Autor, 2024.

LÓPEZ-LAGO, Manuel et al. *Ground Based Augmentation System: Cost-Benefit Analysis*. **Universitat Politècnica de Catalunya**, 2020. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/5ed18bcb-f18e-412a-bf5d-770e9d4c0ea4/content>. Acesso em: 18 de set. 2025.

LÓPEZ-LAGO, Manuel et al. Present and future of air navigation: PBN operations and supporting technologies. **International Journal of Aeronautical and Space Sciences**, v. 21, n. 2, p. 451-468, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336241010_Present_and_Future_of_Air_Navigation_PBN_Operations_and_Supporting_Technologies. Acesso em: 25 set. 2025.

MURPHY, Tim et al. Early operational experience with new capabilities enabled by GBAS landing systems (GLS). In: **Proceedings of the 2006 National Technical Meeting of The Institute of Navigation**. 2006. p. 468-478. Disponível em: <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=6552>. Acesso em: 23 set. 2025.

NAM/CAR/SAM, I. **FAA GBAS Program Update**, 2016. Disponível em: <https://www.icao.int/SAM/Documents/2016-PBNGNSS/07%20GBAS.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

OLIVEIRA, Pedro; SILVA, Jorge; SOARES, Paulo. A comparative study between ILS and GBAS approaches: The case of Viseu airfield. **Journal of Airline and Airport Management**, v. 10, n. 2, p. 65-75, 2020. Disponível em: <https://www.jairm.org/index.php/jairm/article/view/168/142>. Acesso em: 12 out. 2025.

PEREIRA, Vinícius Amadeu Stuani; MONICO, João Francisco Galera; CAMARGO, Paulo de Oliveira. Estimation and analysis of protection levels for precise approach at Rio de Janeiro international airport using real time σ VIG for each GPS and GLONASS satellite. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 27, n. spe, p. e2021010, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/82525/44538>. Acesso em: 06 out. 2025.

SAN FRANCISCO INTERNATIONAL AIRPORT. **GBAS Roundtable Presentation**. San Francisco, 2023. Disponível em: https://noise.flysfo.com/wp-content/uploads/2023/05/SFIA_GBAS_Roundtable_Presentation_01FEB23.pdf. Acesso em: 28 out. 2025.

SCUSSEL, Marcelo. Navegação aérea baseada em performance (PBN): vantagens frente à navegação aérea convencional. 2018. 62 f., il. Dissertação (Mestrado em Geografia) —

SILVA, Weverton da Costa. **GBAS**: fundamentos, simulações e análises de disponibilidade em função do Sigma VIG. 2020. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/33874/1/2018_MarceloScussel.pdf. Acesso em: 04 set. 2025.

SKYBRARY AVIATION SAFETY. **GBAS Landing System (GLS)**. [S.d.]. Disponível em: <https://skybrary.aero/articles/gbas-landing-system-gls>. Acesso em: 08 out. 2025.

STANFORD UNIVERSITY. **LAAS/GBAS**. Stanford: Stanford GPS Lab, [s.d.]. Disponível em: <https://gps.stanford.edu/research/current-and-continuing-gpsrnt-research/laasgbas>. Acesso em: 08 out. 2025.

