

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA E LIDERANÇA  
FACULDADE DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**ALLAN CASADO, LEANDRO CUSTÓDIO, MATEUS ALMEIDA, MELYSSA ROJAS,  
MOISÉS CAZÉ, PEDRO SILVA, YASMIN VITÓRIA R. JESUS**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PLANEJAMENTO DE ROTA DE VOO EM BAIXA  
ALTITUDE**

**SÃO PAULO  
2023**

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	03
2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	05
3. TRABALHOS RELACIONADOS .....	06
4. DESCRIÇÃO DA ESTRATÉGIA ADOTADA PARA RESOLVER O PROBLEMA .....	08
5. ANÁLISE DA COMPLEXIDADE DA SOLUÇÃO PROPOSTA .....	09

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de realização de voos em baixa altitude de modo a aumentar a cobertura oferece variados tipos de riscos, os quais englobam: colisão com o solo (CFIT); exposição ao inimigo; áreas propensas a interceptação de radares, além de regiões densamente povoadas. Para Dorsett e Wyskida (1985), "a capacidade dos modernos sistemas de defesa aérea forçou as aeronaves militares a utilizar voos de baixa altitude para evitar a detecção e aumentar a capacidade de sobrevivência". Conforme o avanço tecnológico, novas táticas e estratégias são cada vez mais demandadas por parte da aviação militar. Desse modo, "a forma da trajetória deve conseguir garantir um voo seguro em condições mínimas de tempo e consumo de energia considerando as limitações de colisão do terreno" (KOSARI et al., 2018).

A construção de uma trajetória de voo de referência é a etapa mais importante e, "à medida que as missões requerem voos em baixa altitude, sobrevoar principalmente em terrenos acidentados é consideravelmente mais desafiador e requer conhecimento prévio de elevação do terreno" (CAMPOS et al., ano). Esses aspectos aumentam a necessidade da implementação de ferramentas de controle que assegurem a segurança e eficiência para esse tipo de voo, englobando o planejamento de condução da aeronave em devidas localidades a serem percorridas e o seu potencial de voo.

Tendo em vista essa necessidade, enquanto houver a implementação de tecnologias auxiliares que contornam trajetos que evadam restrições, o levantamento próximo ao solo coleta detalhes que não são visíveis ao sobrevoar em altitudes mais elevadas (MELITA et al., 2020). No entanto, a sua ausência reforça as ameaças presentes em voos de baixa altitude, de modo que represente resultados abaixo do desejado e não aproveite feições geográficas vantajosas para a otimização do percurso. A seleção de uma rota de voo baixo que uma aeronave adere pode ser usada a favor da penetração na cobertura de defesa aérea, enquanto, ao mesmo tempo minimiza a exposição e abate (DORSETT; WYSKIDA, 1985). Visto que essa seleção, com o auxílio de uma ferramenta específica de controle de voo, possibilita uma missão finalizada com segurança.

Os bancos de dados orientados a grafos se configuram como uma solução promissora para lidar com os desafios de planejamento e controle de voos em baixa altitude. Tais bancos de dados possuem grande potencial para lidar com informações espaciais, como a elevação do terreno e outras características geográficas que são relevantes para o planejamento de rotas de voo. De acordo com Melita et al. (2020), a utilização desses bancos de dados é capaz de representar, de maneira eficiente e intuitiva, dados geoespaciais complexos, permitindo que informações críticas sejam integradas e utilizadas para apoiar a tomada de decisões no processo de planejamento de rotas de voo.

Ademais, os bancos de dados orientados a grafos podem ser utilizados para modelar as redes de defesa aérea, permitindo que informações sobre as áreas que são propensas a interceptação de radares e outros riscos sejam integradas ao processo de planejamento de rotas. Segundo Kosari et al. (2018), a utilização de bancos de dados orientados a grafos é capaz de permitir o fácil acesso e integração das informações relativas à rede de defesa aérea com as informações geoespaciais pertinentes ao planejamento de rotas de voo.

De acordo com Campos et al. (2016), a utilização de tecnologias de banco de dados capazes de lidar com informações geoespaciais é fundamental para assegurar um voo seguro e eficiente em condições mínimas de tempo e consumo de energia, considerando as limitações de colisão do terreno e outros riscos associados aos voos de baixa altitude. Destarte, a utilização de bancos de dados orientados a grafos pode contribuir de maneira significativa para o planejamento e controle de voos em baixa altitude, permitindo que as informações espaciais e de rede sejam integradas de forma eficiente e utilizadas para apoiar a tomada de decisões no processo de planejamento de rotas.

KIRBY, C. E. et al. *Sample Records Low-Altitude Helicopter Fligh*. Disponível em: <https://www.science.gov/topicpages/l/low-altitude+helicopter+fligh>. Acesso em: 16 fev. 2023.

MARCHETTI, M. et al. *An Integrated GIS and Remote Sensing Approach for Coastal Zone Management Using Low-Altitude Helicopter Imagery*. *ISPRS International*

*Journal of Geo-Information*, v. 8, n. 6, p. 289, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/8/6/289>. Acesso em: 16 fev. 2023.

NORSWORTHY, G. D. *Low altitude helicopter electromagnetic surveying. Journal of Geochemical Exploration*, v. 25, n. 1-3, p. 543-553, 1986. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0307904X85901258>. Acesso em: 16 fev. 2023.

CARRERA, P. M. et al. *Comparative Study of Forest Attributes Estimation from Low-Altitude Aerial Photography and Unmanned Aerial Vehicle Data*. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 73, n. 1, p. 329-339, 2021. Disponível em: [http://old.scielo.br/scielo.php?pid=S2175-91462021000100329&script=sci\\_arttext](http://old.scielo.br/scielo.php?pid=S2175-91462021000100329&script=sci_arttext). Acesso em: 16 fev. 2023.

MCLEOD, R. et al. *Low-Altitude Helicopter Flights Over the Kilauea Volcano During the 2008–2018 Eruptions: A Decade of Observations. Frontiers in Earth Science*, v. 5, p. 117, 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5191052/>. Acesso em: 16 fev. 2023.

QIAN, Y. et al. *Low-Altitude Helicopter-Based Mobile Mapping System*. In: 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2018. p. 3291-3296. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8581149>. Acesso em: 16 fev. 2023.