API DE VOO AUTÔNOMO DE DRONE ORIENTADO POR MODELO BIM. Autonomous drone flight api guided by bim model[1]

MENEGOTTO, José Luis

Escola Politécnica da UFRJ, jlmenegotto@poli.ufrj.br

RESUMO

O artigo relata a implementação de uma aplicação programada para gerar voos autônomos com drones. Os trajetos são planejados utilizando como material de orientação os dados espaciais extraídos do modelo do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Rio de Janeiro. O modelo fornece às equipes de manutenção a segmentação semântica necessária para manter o histórico de imagens coletadas durante as vistorias do prédio real. As imagens são ordenadas e catalogadas, permanecendo associadas ao modelo. O percurso de cada voo é estruturado em WayPoints com atributos definidos de modo a estabelecer as coincidências semânticas. A rota do voo é preservada em arquivos do tipo *Keyhole Markup Language* , amplamente utilizados para marcação de mapas. O resultado do percurso pode ser visualizado em diversas aplicações de georreferenciamento ou simplesmente aberto em sistemas que permitam interface com estes arquivos. O sistema é pensado para estruturar o processo de acordo ao modelo Building-Input Relationship Output, proposto por Jiao (2024) ao qual sugere-se relacionar com ontologias de acordo ao paradigma de dados abertos e vinculados.

Palavras-chave: Modelagem semântica; UAS; drone; KML; BIM.

ABSTRACT

This article presents the development and deployment of an application designed to generate controlled drone flights for building inspections. These flights are planned using spatial data extracted from a digital model of the Technology Center at the Federal University of Rio de Janeiro, which serves as the primary reference. This model supports maintenance teams by providing semantic segmentation, ensuring accurate tracking and preservation of the images collected during real-world building inspections. Captured images are systematically organized, cataloged, and linked to the digital model. Each flight path is structured through WayPoints, with defined attributes intended to establish semantic correspondences between the model and the physical structure. Flight routes are stored in Keyhole Markup Language files, a widely used format for geographic visualization and annotation. These routes can be visualized in a variety of georeferencing tools or opened in software platforms that support integration. The system architecture adheres to the Building-Input-Relation-Output framework introduced by Jiao (2024). The alignment of Jiao's framework with ontology-based methods was proposed, in accordance with the principles of open and linked data.

Keywords: *Semantic modeling; Vant; Drone; KML, BIM.*

---

[1] MENEGOTTO, José Luis. API de voo autônomo de drone orientado por modelo BIM. *Autonomous drone flight API guided by BIM model*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2025, São Paulo. Anais... São Paulo: FAUUSP, 2025. p. 1-8. DOI 10.46421/sbqp.v9i.7528

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou simplesmente drones, vem sendo utilizada para realizar serviços de inspeção de ativos construídos por equipes de manutenção de infraestrutura predial (PEINADO et al. 2025). No Brasil, a Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC), o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2023) e a ANATEL utilizam a sigla UAS que em inglês significa "aeronaves não tripuladas". As três organizações vêm estabelecendo regulamentos e recomendações para o uso consciente destes equipamentos. Com câmera instalada no drone é possível capturar informações imagéticas com as quais se facilita a criação de um registro histórico e temporalmente ordenado das condições de um ativo construído, acumulando material de análise gerencial para tomar decisões de manutenção ao longo do ciclo de vida predial. A inspeção realizada por registros fotográficos ou por vídeos captados pelas câmeras facilita o processo de inspeção das fachadas, telhados e áreas externas prediais, além de permitir que técnicas de fotogrametria possam gerar nuvens de pontos usando o material fotográfico coletado no processo. Peinado et al. (2025) relatam uso de voos planejados, executados em forma manual durante a etapa de execução de obra. Embora os voos com drones possam ser realizados em modo manual, na literatura tem se destacado diversas abordagens sistemáticas para otimização de voos (ALTINSES et al, 2024)(PAN et al. 2025). Alguns pesquisadores têm investigado processos de manutenção e operação predial adotando abordagens sistemáticas (JIAO et al., 2024). Nesse sentido, a captura de grandes quantidades de imagens desvinculadas dos elementos originários, é um fator que dificulta o planejamento de processos sistemáticos relativos às operações de manutenção. Ao contrário, manter um vínculo que relacione as imagens e os objetos originais auxilia o processo de tomada de decisão. O objetivo do artigo é relatar as decisões conceptuais de uma aplicação (API) programada para planejar voos autônomos, utilizando como material orientador as informações espaciais extraídas do modelo BIM do ativo vistoriado. Para definir a técnica proposta foram levados em conta três aspectos:

- Algoritmos de segmentação e integração semântica do modelo e do plano de voo.
- Sistema de gerenciamento de ativos usando o modelo denominado B*uilding-Input Relationship Output* (B-IRO) introduzido por Jiao et al. (2024).
- Estudo da relação do modelo B-IRO com a formulação de ontologias formalizadas em triples RDF (BERNERS-LEE, 2009) para a Web Semântica.

2 PRESUPOSTOS METODOLÓGICOS

O trabalho parte do pressuposto de que a geometria principal do prédio permanece estável ao longo da sua vida útil, portanto, é possível pensar que os voos programados podem ser catalogados para executar os movimentos de manutenção de maneira uniforme ao longo do ciclo de vida do ativo construído, evitando variações de posicionamento ocasionadas por voos controlados manualmente. Ou seja, uma vez ajustado o plano de voo, não haveria necessidade de modificá-lo. Apenas o produto imagético obtido será somado na linha de tempo histórica das operações de vistoria realizadas. Assim, todo o material coletado em cada voo irá configurando um acervo de informações relacionais renovado por acumulação. O

segundo pressuposto do trabalho considera recomendável que o conjunto de imagens não fique desvinculado dos objetos que lhe deram origem. Portanto, a sistematização planejada dos voos com a formulação de rotas controladas encontra nos modelos BIM uma fonte de informação espaço-temporal adequada. Em outras palavras, o modelo BIM de um edifício é utilizado como o direcionador do voo. Ele contém os marcos espaciais referenciais para o roteamento do voo, bem como o conjunto de parâmetros relevantes que foram associados ao prédio nas etapas de concepção, construção e operação. Esses parâmetros, que representam semanticamente o prédio, permitiriam sistematizar os aspectos temporais e lógicos envolvidos nos processos de operação e manutenção. A aplicação descrita foi programada em C# no ambiente .NET para rodar em Revit 2024. Ela permite planejar o traçado geométrico da rota do voo utilizando os dados espaciais e a semântica incorporada no modelo BIM do Centro de Tecnologia da UFRJ. Entre as possibilidades geométricas do roteamento do drone, foram programadas rotas lineares, perimetrais, em zigue-zague matricial, em zigue-zague sequencial e panorâmicas. Os parâmetros associados ao modelo são aproveitados para qualificar o voo (nomes de compartimentos, códigos das janelas, numeração dos pilares etc.). No modelo, cada componente construtivo é classificado de acordo com códigos significativos para a instituição e planejados pelas equipes técnicas de projeto e manutenção. Como se trata de um processo dinâmico, alguns parâmetros são novos e outros originados durante a época do projeto, na década de 1960. A posição espacial das instâncias dos objetos construtivos é usada para definir o ponto focal para a visada da câmera e/ou o ponto de posicionamento do drone. Para isso, cada posição espacial tem a sua coordenada cartesiana devidamente traduzida para sua coordenada geográfica de modo individualizado no sistema de referência geodésico WGS84, configurando os *WayPoints* da rota planejada e o posicionamento rotacional da câmera. Para converter a coordenada cartesiana de cada ponto individualizado para uma coordenada geográfica (Long, Lat) foi utilizada a biblioteca .NET CoordinateSharp. Os dados necessários solicitados para o gerenciamento do componente construtivo ou funcional (janela, coluna, compartimento, setor etc.) são lidos, reordenados e registrados como dados estendidos associados ao *WayPoint* correspondente no arquivo KML. A tecnologia de drones conta com uma grande variedade de modelos de aparelhos. A aplicação foi preparada para ordenar os dados de modo a que sejam lidos pelo aplicativo DJI Pilot para Android.

2.1 Os Percursos planejados

Para mapear o edifício, foram programadas geometrias de voo com diversas tipologias de movimento. Seguem listados os tipos de movimentos planejados até o momento:

- Percurso linear com a câmera olhando horizontalmente e perpendicular à linha do percurso.
- Percurso ziguezagueante e irregular com a câmera olhando para baixo.
- Percurso panorâmico de forma circular ou elíptica, com a câmera olhando para o exterior.
- Percurso panorâmico de forma circular ou elíptica, com a câmera olhando para o interior.

- Percurso de forma matricial com a câmera olhando para baixo.
- Percurso de forma perimetral com a câmera olhando para o interior.

Cada tipologia responde a um objetivo definido. Por exemplo, para mapear posições relativas a compartimentos do prédio, pode ser utilizado o percurso ziguezagueante irregular, buscando uma rota sequencial que passe sobre todos os compartimentos. Esse tipo de percurso é útil para utilizar antes do fechamento da laje em situação de obra ou para verificar situações anómalas em coberturas identificando os ambientes imediatamente abaixo da anomalia. Todos os voos partem de uma base posicionada em um setor do campus, livre de obstáculos como árvores ou redes elétricas aéreas. O voo é iniciado com um ascenso vertical, após o qual se dirige para posicionar-se no primeiro ponto de interesse (POI), realiza o percurso planejado na mesma cota e finaliza retornando ao ponto da base desde onde efetua o seu descenso. No momento, o drone muda de altitude somente para o despegue e aterrisagem, mas está em estudo um percurso no qual possa variar de altitude em qualquer ponto do seu trajeto.

2.2 Organização do arquivo KML

Arquivos do tipo *Keyhole Markup Language* (KML), permitem registrar dados geográficos em mapas digitais. KML tem uma semântica definida para os campos que marcam posições em mapas ou para poligonais abertas e fechadas utilizadas para traçar rotas ou delimitar áreas. O voo é gerado pelo aplicativo que faz a coleção e leitura dos objetos do modelo BIM e os ordena numa sequência de movimento. Cada posição do voo é registrada no arquivo KML, o qual incorpora três semânticas específicas:

1) A semântica do esquema de informação KML.
2) A semântica referente ao drone (neste trabalho, a do DJI).
3) A semântica definida no modelo BIM do ativo vistoriado.

Neste exemplo, a etiqueta <*Placemark*> corresponde à semântica de KML; o dado estendido <*mis:gimbalPitch*> ao do drone DJI; e, as descrições de Bloco: A e Tipo: WC 2845416 são valores semânticos associados ao objeto do modelo que definiu a posição do ponto do voo. Outros campos específicos são usados para registrar o tempo de voo ou diversos aspectos estilísticos, como cores e tipos de pontos e linhas, que ajudam a ter o registro gráfico e visualizar o comportamento da câmera ao longo do trajeto.

```
<Placemark>
  <name>Waypoint7</name>
  <visibility>1</visibility>
  <description>
Waypoint7
-----------------------------------
Órgão:     Universidade Federal do Rio de Janeiro
Unidade:   Centro de Tecnologia
Endereço: Av. Athos da Silveira Ramos 149
-----------------------------------
Azimut:    -57.82211
Heading:   32.18
```

Gimbal: -90
Angulo: 90

Bloco: A
Tipo: WC 2845416

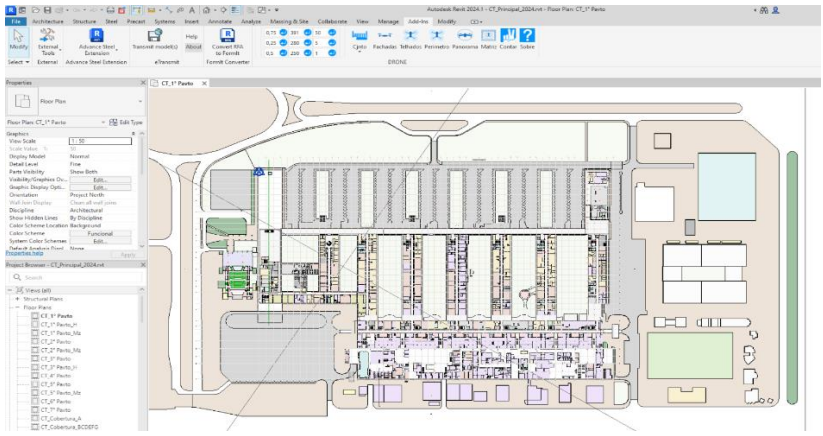
Altura voo: 50 m
Velocidade: 5 m/s
Distância: 212.08 m

Tempo: 0 min 42 seg.

Data do Plano:08-08-2024 às 08:18 hs.

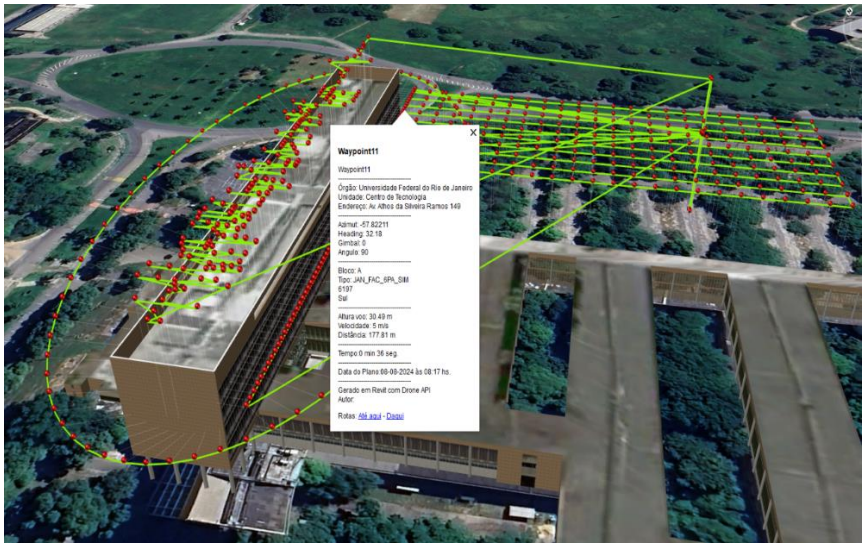
Gerado em Revit com Drone API
Autor: José Luis Menegotto
</description>
<styleUrl>#waypointStyle</styleUrl>
<mis:ExtendedData xmlns:mis="www.dji.com">
<mis:useWaylineAltitude>true</mis:useWaylineAltitude>
<mis:heading>32.18</mis:heading>
<mis:turnMode>Auto</mis:turnMode>
<mis:gimbalPitch>-90</mis:gimbalPitch>
<mis:useWaylineSpeed>true</mis:useWaylineSpeed>
<mis:speed>5</mis:speed>
<mis:useWaylineHeadingMode>false</mis:useWaylineHeadingMode>
<mis:useWaylinePointType>true</mis:useWaylinePointType>
<mis:pointType>LineStop</mis:pointType>
<mis:cornerRadius>0.2</mis:cornerRadius>
</mis:ExtendedData>
<Point>
<altitudeMode>relativeToGround</altitudeMode>
<coordinates>-43.2299172720101,-22.8585344758169,49.9999999999999</coordinates>
</Point>
</Placemark>

Figura 1 – Modelo BIM do CT – UFRJ.



Fonte: o autor.

Figura 2 – Alguns voos abertos em Google Earth.



Fonte: o autor.

Figura 3 – Interface do aplicativo.



Fonte: o autor.

3 MODELAGEM SEMÂNTICA

O aplicativo apresentado é dependente da semântica definida durante a modelagem BIM do ativo vistoriado. Não é uma situação inusual que faltem definições semânticas no modelo BIM do edifício. A situação é compreensível, uma vez que alguns movimentos necessários, como mudar de altitude ao longo do trajeto para vistoriar telhados contíguos, não são evidentes durante os processos de modelagem iniciais. Nesse sentido, se destaca a necessidade de contar com ferramentas que integrem diversas fontes de significados semânticos para situações morfológicas particulares. Conceitualmente, o trabalho pretende continuar integrando o processo com ontologias no domínio formal. Ele é aderente ao modelo B-IRO e, uma vez que a estrutura de triples RDF segue um padrão similar ao IRO (*Input, Relationship, Output*), é possível integrar o modelo B-IRO introduzido por Jiao (JIAO et al., 2024) com ontologias formadas por triples. Os voos planejados foram cadastrados em ontologias específicas no domínio da manutenção, considerando a formação de uma base de conhecimentos incremental das vistorias realizadas com o drone. O processo é realizado pelo construtor ontológico (Menegotto, 2023) para o qual foi ampliado o conjunto de classes, propriedades de objetos e dados e produzidos as instâncias ontológicas que representam os fatos e situações concretas das vistorias, em formatos OWL e TTL. Cada voo realizado é cadastrado num arquivo Excel especificamente formatado para a criação automática da ontologia, que posteriormente é publicada numa plataforma de web-semântica. A seguir, se ilustra

duas instâncias ontológicas escritas como recursos RDF e formatadas em sintaxe Turtle, representando um plano de voo cadastrado e um voo realizado:

```
bim:Plano02  rdf:type  owl:NamedIndividual , bim:Voo.Plano ;
    bim:é.drone    bim:DJI001 ;
    bim:descrição    "É um plano de voo planejado para drone Mavic 2" ;
    bim:descrição    "É um voo de drone autônomo sobre o CT da UFRJ"  .
bim:Voo2  rdf:type  owl:NamedIndividual , bim:Voo.Autônomo ;
    bim:é.drone    bim:DJI001 ;
    bim:é.voo.realizado    bim:Plano02 ;
    bim:é.data    bim:Data02 ;
    bim:descrição    "É um voo de drone autônomo realizado sobre o CT da UFRJ" ;
    bim:formato.kml    "VG_CT_Principal_2024_CT_Telhado_A_A_2024_08_08_08_18.kml" ;
    bim:é.pertencente.a    bim:Bancolma02  .
```

CONCLUSÕES

O trabalho tenta dar resposta a uma das dificuldades apontadas por Peinado et. al. (2025) acerca da falta de integração de tecnologias da indústria 4.0. A aplicação visa a integração de diversas tecnologias digitais aplicadas ao gerenciamento de ativos construídos, desde as fases iniciais do ciclo de vida. Se o modelo BIM é concebido durante o projeto, a fase de construção pode se beneficiar de voos planejados a partir da semântica proposta nessa etapa inicial. Futuramente, as equipes de manutenção se beneficiarão do histórico imagético, ao tempo que irão incrementando o histórico predial por acumulação de novos fatos vistoriados, dentro de uma ordem semântica e sistemática que irá evoluindo no decorrer do ciclo de vida. Uma observação importante diz respeito à precisão do posicionamento geográfico do modelo BIM. Posicionamentos ou rotações geográficas imprecisas podem ocasionar voos perigosos que levem a comprometer a integridade do drone, de elementos da edificação ou, ainda mais grave, à integridade física das pessoas. A ANAC, a DECEA (2023) e a ANATEL publicam regulamentações que devem ser observadas para realizar voos seguros. Algumas dizem respeito às distâncias mínimas de separação entre os drones e as edificações. O aplicativo ainda não tem definido um vínculo programado para acessar automaticamente os valores estipulados pelas regulamentações. Os valores de distâncias de afastamento, os raios e alturas de voo devem ser preenchidos pelo usuário nos campos da interface (Fig.3), respeitando as regulamentações de segurança. Observamos que em voos planejados e autônomos, a distância de afastamento da edificação adequada pode não ser suficiente se a rotação inicial de modelagem for imprecisa. Por isso, a etapa de calibração do posicionamento e a definição da rotação geográfica do modelo BIM utilizado como a fonte de dados devem ser consideradas tarefas críticas e fundamentais, mesmo que o modelo já tenha sido posicionado e geolocalizado previamente. Uma variação angular de poucos graus pode causar problemas, alterando o paralelismo entre o trajeto do drone e a superfície da fachada, especialmente em voos sobre fachadas longas. É importante salientar que, para que a integração das diversas tecnologias possa ter maior chance de sucesso, permitindo um desenvolvimento contínuo de melhorias nos processos gerenciais, deve existir um planejamento na formação contínua das equipes envolvidas. Ao longo do ciclo de vida do ativo e do sistema, a equipe deverá ser especializada em tecnologias BIM, Web semântica e novas interfaces. Os arquivos KML resultados da aplicação podem ser abertos no

Google Earth e no aplicativo para dispositivo móvel DJI Pilot. Alguns arquivos KML com planos de voos de exemplo podem ser acessados no seguinte endereço:

<https://jlmenegotto.wixsite.com/jlmenegotto-bim/bim-urbano>

A pesquisa continuará implementando a modelagem semântica com definição de ontologias de domínio associadas com a manutenção predial, na qual é utilizada a formatação de triples RDF que permitem vincular tanto dados externos ao ativo (fornecedores, por exemplo) como dados associados ao uso do ativo gerenciado: funções, recursos humanos ou solicitações de serviços por terceiros.

REFERÊNCIAS

JIAO, Z.; DU, X.; LIU, Z.; LIU, L.; SUN, Z.; SHI, G.; LIU, R. A Review of Theory and Application Development of Intelligent Operation Methods for Large Public Buildings. ***Sustainability*** 2023, *15*, 9680. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su15129680 Acesso em: 12 dec. 2024.

DECEA. Portaria ICA 100-40. Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. 2023 Disponível em: https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40. Acesso em 12 Jun. 2025.

BERNERS-LEE, T. Linked Data. Disponível em: https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData (2009). Acesso em 12 Jun. 2025.

GONZÁLEZ HERRERA, R.; UCÁN NAVARRETE, J. P.; SÁNCHEZ Y PINTO, I.; MEDINA ESCALANTE, R.; ÁRCEGA CABRERA, F.; ZETINA MOGUEL, C., CASARES SALAZAR, R. Drones. Aplicaciones en ingeniría Civil y Geociencias. **Interciencia**. Caracas, v 44. nº 6, Jun. 2019. ISSN 0378-1844. Disponível em: http://https//www.redalyc.org/journal/339/33960068003/html. Acesso em 12 Jun. 2025.

ZARCO-TEJADA, P. J.; DIAZ-VARELA, R.; ANGILERI, V.; LOUDJANI, P. *Tree Height Quantification using Very High Resolution Imagery Acquired from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Automatic 3D Photo-Reconstruction Methods*. European Journal of Agronomy, 55, 89-99. https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.01.004

ALTINSES, D.; TORRES, D.O.S.; GOBACHEW, A.M.; LIER, S.; SCHWUNG, A. Synthetic Dataset Generation for Optimizing Multimodal Drone Delivery Systems. ***Drones*** 2024, *8*, 724. https://doi.org/10.3390/drones8120724 Acesso em: 12 dec. 2024.

PAN, S.; XU, X.; CAO, Y.; ZHANG, L. Optimal Coverage Path Planning for UAV-Assisted Multiple USVs: Map Modeling and Solutions. ***Drones*** 2025, 9, 30. https://doi.org/10.3390/drones9010030 Acesso em: 15 Jan. 2025.

MENEGOTTO, J. L. Ontologia BIM. Alguns Aspectos do Conhecimento Projetual: o Prédio, as IFC e as OST. Accelerated Landscapes. Centro Universitario Regional Este (CURE) Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad de la República. Sigradi, 2023.

_____. Construtor de Ontologias BIM GIS. Versão 5.00. Disponível em : https://github.com/JLMenegotto/OntologiaBIM/tree/main/Versão5. Acesso em 12 Jun. 2025.

PEINADO, H. S.; OLIVEIRA, C. A. de; MELO, R. R. S. de; OTTONI, A. L. C.; FRÓES, S. M.; NOVO, M. S.; COSTA, D. B. Detecção de guarda-corpo e rodapés em canteiro de obras utilizando drones e visão computacional. **Ambiente Construído**, *[S. l.]*, v. 25, 2025. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/137986. Acesso em: 12 jun. 2025.