

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Guilherme Diaconiuc

**CRIAÇÃO DE CENÁRIOS 3D BASEADOS EM
AEROFOTOGRAMETRIA POR DRONES PARA A
UTILIZAÇÃO EM AMBIENTES DE SIMULAÇÃO**

Trabalho de Graduação
2024

Curso de Engenharia Aeronáutica

Guilherme Diaconiuc

**CRIAÇÃO DE CENÁRIOS 3D BASEADOS EM
AEROFOTOGRAMETRIA POR DRONES PARA A
UTILIZAÇÃO EM AMBIENTES DE SIMULAÇÃO**

Orientador

Prof. Dr. Christopher Shneider Cerqueira

ENGENHERIA AERONÁUTICA

**SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Diaconiuc, Guilherme

Criação de cenários 3D baseados em aerofotogrametria por drones para a utilização em ambientes de simulação / Guilherme Diaconiuc.

São José dos Campos, 2024.

27f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Aeronáutica– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2024. Orientador: Prof. Dr. Christopher Shneider Cerqueira.

1. Drones. 2. Aerofotogrametria. 3. Simulação. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DIACONIUC, Guilherme. **Criação de cenários 3D baseados em aerofotogrametria por drones para a utilização em ambientes de simulação**. 2024. 27f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Guilherme Diaconiuc

TÍTULO DO TRABALHO: Criação de cenários 3D baseados em aerofotogrametria por drones para a utilização em ambientes de simulação.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2024

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Guilherme Diaconiuc
Rua H8B, Ap. 221
12.228-461 – São José dos Campos–SP

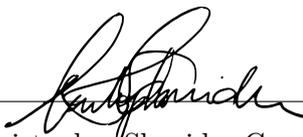
CRIAÇÃO DE CENÁRIOS 3D BASEADOS EM AEROFOTOGRAMETRIA POR DRONES PARA A UTILIZAÇÃO EM AMBIENTES DE SIMULAÇÃO

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Guilherme Diaconiuc.

Guilherme Diaconiuc

Autor



Christopher Shneider Cerqueira

Orientador

Vinicius Malatesta

Prof. Dr. Vinicius Malatesta

Coordenador do Curso de Engenharia Aeronáutica

São José dos Campos, 25 de novembro de 2024.

A minha família, amigos e todos aqueles que estiveram presentes nessa longa trajetória da minha vida, desde a sua concepção até o fim.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família por me apoiar e permitir a realização deste sonho.

Aos meus professores do primário por terem instituído em mim a vontade de aprender.

Aos meus professores do colégio e cursinho pela minha base acadêmica.

Aos meus professores da graduação por toda a compreensão e ensinamentos.

E, em especial, à minha avó por sonhar esse sonho junto comigo.

“One thing I have learned in a long life: that all our science, measured against reality, is primitive and childlike—and yet it is the most precious thing we have.”

— ALBERT EINSTEIN

Resumo

O trabalho aqui apresentado explora a integração de tecnologias de captura e processamento de imagens aéreas para a construção de ambientes tridimensionais detalhados, aplicáveis em simulações virtuais. O estudo utiliza o drone DJI Mini 4K, com uma câmera de resolução 4K integrada, para realizar a aerofotogrametria de ambientes urbanos, densamente dinâmicos, coletando imagens aéreas de alta resolução. Posteriormente, as imagens captadas são processadas utilizando a técnica de Gaussian Splatting, que permite a transposição eficiente das imagens bidimensionais para um ambiente virtual 3D. Esta metodologia proporciona uma reconstrução precisa e realista dos cenários, oferecendo uma ferramenta valiosa para diversas aplicações, como treinamentos, planejamento urbano e estudos ambientais, mas principalmente aquela que será tratada como foco neste trabalho que é o transporte logístico de cargas. O trabalho tem o propósito de discutir os desafios e as vantagens desta abordagem, destacando a importância da precisão e da qualidade dos dados capturados para a criação de simulações eficazes, bem como disponibiliza e discute o resultado da integração do uso de drones com a aplicação da técnica de Gaussian Splatting para a virtualização das imagens capturadas.

O trabalho aqui presente dá início a utilização de tecnologias avançadas de captura e processamento de imagens aéreas para a construção de ambientes tridimensionais detalhados, destinados a simulações virtuais.

A metodologia empregada inicia-se com o uso do drone DJI Mini 4K, acoplado a uma câmera interna de resolução 4K, que é utilizado para realizar a aerofotogrametria de centros urbanos densamente dinâmicos, capturando imagens aéreas de alta resolução de diversas perspectivas. Essas imagens são essenciais para a criação de um banco de dados visual detalhado do ambiente real.

Após a captura das imagens, a técnica algorítmica de Gaussian Splatting é aplicada para transpor essas imagens bidimensionais para um ambiente virtual tridimensional. Essa técnica envolve o uso de algoritmos avançados de processamento de imagem que analisam e interpolam os dados visuais para criar representações 3D precisas. O uso do Gaussian Splatting facilita a geração de superfícies suaves e detalhadas no ambiente virtual, aprimorando a qualidade e o realismo das simulações.

Os resultados demonstram que a combinação dessas tecnologias permite a criação de cenários 3D altamente detalhados e precisos, que podem ser utilizados em diversas aplicações, incluindo treinamentos de operações complexas, planejamento urbano, estudos ambientais e, principalmente, aquilo que motivou este trabalho, que é a possibilidade de recriar um ambiente urbano em tempo real para permitir a logística aérea de transporte de mercadorias por veículos aéreos não tripulados. O artigo também discute os desafios enfrentados durante o processo, como a necessidade de um processamento eficiente dos dados e a gestão de grandes volumes de informação visual.

Abstract

Este trabalho aborda a aplicação de técnicas de aerofotogrametria e *Gaussian Splatting* para a geração de modelos 3D realistas e de alta qualidade de ambientes urbanos, utilizando imagens capturadas por drones. Para isso, foi utilizado o drone DJI Mini 4K, que capturou imagens aéreas em alta resolução, posteriormente processadas para a criação de um ambiente virtual tridimensional. O algoritmo de *Gaussian Splatting*, conhecido por sua capacidade de produzir superfícies suaves e detalhadas, foi aplicado para renderizar os dados coletados em modelos visuais precisos.

Os resultados mostraram um alto grau de precisão na representação de objetos estáticos, especialmente nas áreas com maior sobreposição de imagens. Contudo, foram identificadas limitações, como a dificuldade em modelar objetos em movimento, como veículos, devido às características intrínsecas da técnica. Outros desafios incluíram restrições regulatórias de altura de voo, consumo elevado de bateria durante a filmagem em alta resolução e desempenho comprometido em condições climáticas adversas ou baixa luminosidade.

Embora os modelos gerados tenham sido satisfatórios, o estudo evidenciou a necessidade de avanços futuros, como a integração de dados em tempo real, a otimização da sobreposição de imagens para áreas periféricas e a utilização de sensores infravermelhos em cenários dinâmicos. Essas melhorias podem ampliar significativamente a aplicabilidade das técnicas de modelagem 3D em operações logísticas e planejamento urbano. Os resultados ressaltam o potencial da aerofotogrametria com drones e do *Gaussian Splatting* para criar ambientes virtuais imersivos e precisos, ao mesmo tempo que apontam direções para inovações futuras.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo	11
1.2	Motivação	12
1.3	Organização do trabalho	13
1.3.1	Capítulo 1	13
2	AEROFOTOGRAMETRIA E METODOLOGIA DE CAPTURA DE IMAGENS AÉREAS	16
2.1	Conceitos de Aerofotogrametria	16
2.2	Escolha do Drone	16
2.3	Planejamento do Voo	18
2.4	Captura de Imagens	19
2.5	Processamento Inicial dos Dados	19
3	PROCESSAMENTO DE DADOS E GERAÇÃO DE MODELOS 3D	21
3.1	Fundamentos do Gaussian Splatting	21
3.2	Processamento das Imagens	22
3.3	Geração do Ambiente 3D	22
4	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
	REFERÊNCIAS	27

1 Introdução

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é investigar e demonstrar a viabilidade de recriar um ambiente urbano em tempo real, utilizando aerofotogrametria realizada por drones, com o propósito de facilitar a logística aérea de transporte de mercadorias por veículos aéreos não tripulados (VANTs). Este objetivo envolve a integração de tecnologias de captura de imagens aéreas e processamento de dados para criar representações tridimensionais precisas e atualizadas do ambiente urbano.

Para alcançar esse objetivo, o estudo se concentra em três principais subobjetivos:

- **Captação de Dados Visuais com Alta Precisão:** utilizando o drone DJI Mini 4k para realizar a aerofotogrametria, capturando imagens aéreas de alta resolução de áreas urbanas. A coleta de dados deve ser abrangente, cobrindo diferentes ângulos e altitudes, para garantir uma representação detalhada e precisa do ambiente urbano.
- **Processamento e Transposição das Imagens para Ambientes Virtuais 3D:** aplicando a técnica algorítmica de Gaussian Splatting para processar as imagens captadas e transpô-las para um ambiente virtual tridimensional. Este passo é a chave para gerar modelos 3D que sejam não apenas precisos, mas também eficientes em termos de tempo de processamento, permitindo atualizações em tempo real conforme novas imagens são capturadas.
- **Avaliação da Viabilidade para Logística Aérea em Tempo Real:** testando e avaliando a eficácia dos cenários 3D recriados para suportar a logística aérea de transporte de mercadorias por VANTs. Isso inclui a simulação de rotas de voo, identificação de obstáculos e avaliação da navegabilidade do ambiente virtual em condições variáveis. A pesquisa visa demonstrar que os modelos 3D gerados são suficientemente precisos e atualizáveis em tempo real para serem utilizados na gestão eficiente do tráfego aéreo urbano de VANTs.

Este trabalho busca contribuir para o desenvolvimento de soluções inovadoras futuras

que possam melhorar significativamente a logística urbana, proporcionando uma ferramenta robusta para a gestão do transporte aéreo de mercadorias. Ao recriar ambientes urbanos em tempo real, espera-se facilitar a implementação de redes de transporte aéreo que sejam seguras, eficientes e adaptáveis ao dinamismo urbano.

1.2 Motivação

Para que se entenda a motivação do tema deste trabalho, primeiro precisa-se fazer uma recapitulação histórica e entender-se o contexto no qual insere-se a população atual. Ao voltar-se um pouco ao passado, no início do século XX, por volta do ano de 1900, tinha-se ali o início daquilo que seria o domínio do espaço aéreo, com a invenção dos primeiros objetos voadores, os aviões com Santos Dumont, já havia ali também elementos relacionados a balões, dirigíveis e outros meios de transporte aéreos. Entretanto, desde aquele período ou até mesmo antes, havia-se no imaginário popular uma visão de como seria o futuro, talvez com carros voadores, com meios de transporte mais eficientes, mais ágeis, quem sabe até mesmo o teletransporte.

E é claro que, ao longo do tempo, algumas dessas ideias do imaginário popular concretizaram-se e outras não. Com o passar dos anos, foi-se avançando o domínio em relação ao espaço aéreo, conquistando-se máquinas cada vez mais potentes, eficientes e seguras para que fosse possível voar, para dominar os ares.

Entretanto, uma dor que ainda é latente no imaginário popular e no dia a dia, principalmente em grandes centros urbanos, tomados por uma densidade de tráfego de veículos, de pessoas, de pedestres, muito intensa, é um transporte logístico eficiente, ágil e rápido.

É aí então que surge, no ideário popular, as primeiras imagens, as primeiras visões sobre o transporte com drones e que vem ao longo dos últimos anos, nas últimas décadas, tentado ser implementado por idealizadores, por empresas, mas que, devido a um grande problema, e é aí que entra o tema deste TG, ainda não pode ser executado na sua plenitude.

Para visualizar como o tema deste trabalho encaixa-se nesse contexto, precisa-se visualizar como são os grandes centros urbanos na atualidade, que são compostos não apenas de elementos inanimados como prédios, casas, asfalto, postes, fiação, mas também, e é aqui que entra a grande chave da questão, composto por elementos animados, por seres humanos, animais, pedestres, carros, motos, helicópteros e tudo aquilo que compõe a dinamicidade desses grandes centros urbanos. Precisa-se então de um meio de transporte logístico que consiga ser ágil, eficiente e que evite alguns dos grandes problemas que acometem esses centros, que são o trânsito, que é a densidade populacional, a densidade de elementos que impossibilitam transporte logístico terrestre de maior eficiência. É por isso então que começou-se a pensar sobre um transporte logístico aéreo, em que fosse possível,

através de drones, eVTOLs ou quaisquer outras soluções aéreas, fazer com que o transporte de mercadorias, de alimentos e até mesmo de passageiros pudesse ser feito de forma rápida, eficiente e acima de tudo, segura. E é aqui que entra o tema deste trabalho. Para que se pudesse dar um grande passo no futuro e tornar possível o transporte aéreo por drones, por eVTOLs, por veículos elétricos não tripulados, primeiro precisa-se dar um pequeno passo e conseguir, em tempo real, fazer com que um sistema globalizado atualize os elementos dinâmicos de um grande centro urbano. Precisa-se que toda a dinamicidade dos grandes centros seja transposta para um ambiente virtual de simulação. Para tanto, utilizou-se a fotogrametria por drones e ferramentas de inteligência artificial para que fosse possível captar imagens aéreas e transpô-las para um ambiente virtual, o que é o primeiro passo para que, depois, se possa realizar a interconexão em tempo real e permitir o deslocamento logístico de veículos aéreos não tripulados com segurança.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho acadêmico está estruturado em três capítulos principais, além do resumo inicial, cujo objetivo é o de fornecer uma visão abrangente e detalhada sobre o processo de recriação de ambientes urbanos em tempo real para a logística aérea de transporte de mercadorias por veículos aéreos não tripulados (VANTs).

1.3.1 Capítulo 1

O primeiro capítulo serve como a base para todo o trabalho, apresentando os seguintes componentes:

- **Introdução:** Uma visão geral do contexto e da importância do estudo, destacando a crescente necessidade de soluções inovadoras para a logística urbana e o potencial dos VANTs.
- **Objetivos:** Descrição detalhada dos objetivos do trabalho, focando na recriação de ambientes urbanos em tempo real para suportar a logística aérea de mercadorias.
- **Motivação:** Exploração das razões que motivam a pesquisa, incluindo desafios atuais na logística urbana, avanços tecnológicos em drones e fotogrametria, e a necessidade de modelos 3D precisos para a navegação aérea.
- **Organização do Trabalho:** Apresentação da estrutura do trabalho, com uma breve descrição de cada capítulo subsequente, orientando o leitor sobre o fluxo de informações e o desenvolvimento do estudo.

1.3.1.1 Capítulo 2

O segundo capítulo é dedicado à metodologia de captação de imagens aéreas, detalhando todos os procedimentos utilizados:

- **Conceitos de Aerofotogrametria:** Definição e fundamentos da aerofotogrametria, explicando como essa técnica é aplicada na captura de imagens aéreas para a criação de mapas e modelos 3D.
- **Escolha do Drone:** Descrição das características do drone DJI Mini 4k, justificando sua seleção para o estudo devido a sua capacidade de capturar imagens de alta resolução e manobrabilidade.
- **Planejamento do Voo:** Detalhamento do planejamento de missões de voo, incluindo seleção de áreas de interesse, definição de rotas de voo, altitudes e ângulos de captura.
- **Captura de Imagens:** Procedimentos práticos de captura de imagens, incluindo a configuração do drone, calibração de câmeras e execução das missões de voo.
- **Processamento Inicial dos Dados:** Métodos de armazenamento e organização das imagens capturadas, preparação para o processamento subsequente.

1.3.1.2 Capítulo 3

O terceiro capítulo foca na transformação das imagens captadas em modelos tridimensionais:

- **Fundamentos do Gaussian Splatting:** Explicação teórica da técnica de Gaussian Splatting, incluindo seus princípios matemáticos e vantagens na criação de superfícies suaves e detalhadas em modelos 3D.
- **Processamento das Imagens:** Descrição passo a passo do processo de integração das imagens captadas no algoritmo de Gaussian Splatting, incluindo o tratamento das imagens, aplicação do algoritmo e ajustes necessários.
- **Geração do Ambiente 3D:** Procedimentos para a construção do ambiente virtual 3D, incluindo a renderização dos modelos, verificação de precisão e correções.
- **Avaliação dos Resultados:** Análise dos modelos 3D gerados em termos de precisão, realismo e capacidade de atualização em tempo real, incluindo testes práticos em simulações de logística aérea.

Por fim, é apresentada uma conclusão do estudo, analisando os pontos principais observados durante todo o processo.

2 Aerofotogrametria e Metodologia de Captura de Imagens Aéreas

2.1 Conceitos de Aerofotogrametria

A aerofotogrametria é uma técnica que se baseia na captura de imagens aéreas para a obtenção de mapas e modelos tridimensionais de uma determinada área. Esse método, inserido dentro da fotogrametria, utiliza aeronaves tripuladas ou veículos aéreos não tripulados (VANTs) — mais comumente conhecidos como drones e, em específico, o DJI Mini 4K — para realizar o registro de imagens sobre uma região de interesse, que, neste trabalho, é uma região urbana densamente povoada.

A técnica de aerofotogrametria se destaca por sua capacidade de gerar visualizações detalhadas e precisas, uma vez que envolve a sobreposição de imagens. A sobreposição, comumente variando entre 60% e 80%, referente ao grau de cobertura que cada imagem tem em relação à imagem capturada anteriormente, permite que algoritmos de reconstrução identifiquem pontos comuns entre diferentes fotos, facilitando a criação de modelos tridimensionais detalhados e integrados. Esses modelos são amplamente utilizados para levantamentos topográficos, monitoramento ambiental, mapeamento urbano e diversas outras aplicações que demandam dados geoespaciais.

2.2 Escolha do Drone

Para a realização deste estudo, o drone selecionado foi o *DJI Mini 4K*. Este modelo foi escolhido devido à sua capacidade de capturar imagens em alta resolução, característica fundamental para a obtenção de modelos tridimensionais com um nível de detalhamento

elevado. Além disso, o *DJI Mini 4K* é altamente manobrável, proporcionando flexibilidade durante o voo e permitindo a execução de trajetórias complexas, mas estáveis.



FIGURA 2.1 – Drone da marca DJI, modelo Mini 4K

Uma das funcionalidades mais vantajosas deste drone é o seu modo de voo orbital, que possibilita capturar imagens em torno de um objeto ou área centralizada, oferecendo uma visualização completa e consistente de diferentes ângulos. Outro aspecto importante é o seu estabilizador de imagem, que reduz vibrações e movimentos bruscos, garantindo a qualidade das imagens capturadas em situações onde o vento ou movimentos rápidos podem interferir na estabilidade do voo. Esse modelo também conta com um *gimbal* de três eixos, permitindo ajustes precisos de ângulo e inclinação da câmera, essenciais para capturar as melhores perspectivas dos objetos em estudo.

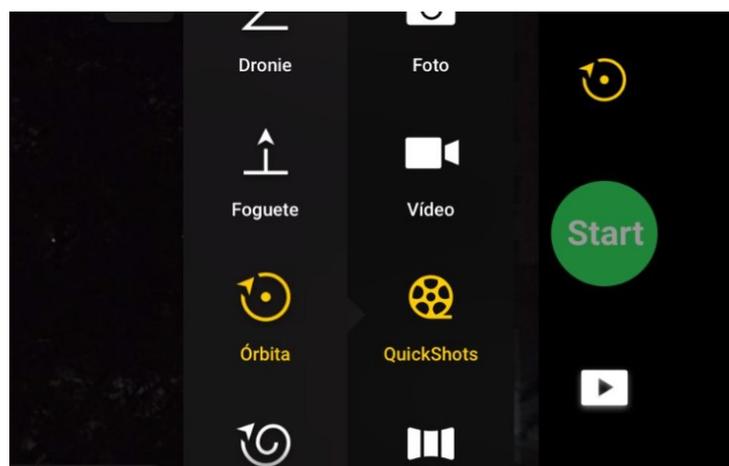


FIGURA 2.2 – Função orbital do drone

Outro ponto relevante é a sua autonomia, que se aproxima dos 20 minutos de voo, possibilitando a captura de uma ampla área em um único voo.

2.3 Planejamento do Voo

O planejamento da missão de voo foi elaborado de forma minuciosa para assegurar a qualidade e a completude dos dados coletados. O trecho selecionado foi uma área do bairro da Vila Prudente, localizado na cidade de São Paulo, com ênfase na captura de imagens de um prédio específico, centrado na imagem. A definição dessa área levou em consideração a diversidade de edificações, o adensamento populacional e a ampla presença de elementos típicos de grandes centros urbanos, como carros, pedestres e construções de variadas proporções.



FIGURA 2.3 – Prédio escolhido como centro do orbital

A altitude de voo foi fixada em aproximadamente 250 metros, altura ideal para a cobertura necessária da área, mas sem perder os detalhes das imagens. Essa altitude permite um equilíbrio entre o campo de visão e a resolução da imagem, viabilizando uma modelagem tridimensional mais precisa. A angulação da câmera foi ajustada em torno de -60° , considerando a linha do horizonte como ponto de partida, sendo a ideal para a visualização completa do prédio em enfoque. Em casos específicos, o ângulo foi ajustado de modo a otimizar a captação dos detalhes das estruturas.

Além disso, o planejamento considerou condições climáticas e horários adequados para o voo, visto que fatores como iluminação e estabilidade atmosférica influenciam diretamente na qualidade das imagens e na segurança da operação. Dessa forma, a coleta foi realizada em horários com luz natural estável, com preferência para o final da tarde, reduzindo a necessidade de pós-processamento e aumentando a precisão dos dados coletados. A velocidade do vento também foi levada em consideração para a escolha do momento ideal de captura as imagens, dando-se preferência para dias e horários em que não houvesse vento lateral significativo, sendo esse considerado abaixo de 2 m/s.

2.4 Captura de Imagens

A etapa de captura das imagens envolveu a configuração prática do *DJI Mini 4K* e a execução das missões de voo planejadas. As configurações da câmera foram ajustadas para maximizar a qualidade dos registros sem comprometer a facilidade de execução. Com isso, as configurações de abertura (ISO), taxa de captura e *frame rate* foram deixadas no modo automático, permitindo com que a câmera do drone ajustasse os parâmetros conforme as condições de iluminação do momento.

O voo de captura teve uma duração de aproximadamente 2 minutos e 10 segundos, durante os quais o drone executou uma trajetória circular com o edifício de interesse como ponto central. Essa trajetória permitiu a coleta de imagens de diferentes ângulos, resultando em uma visualização tridimensional completa e detalhada. Todo o processo foi monitorado, garantindo que os ajustes de câmera e posicionamento fossem mantidos conforme planejado, possibilitando uma coleta de dados precisa e alinhada com os objetivos do estudo.

2.5 Processamento Inicial dos Dados

Após a captura dos vídeos durante as missões de voo, a etapa de processamento inicial dos dados consiste na organização e no armazenamento dos arquivos coletados. Neste estudo, o vídeo gerado pelo drone foi capturado em formato MP4 e resolução 4K, garantindo alta qualidade para a etapa subsequente de análise e modelagem.

As imagens e vídeos foram armazenados em um sistema de arquivos organizado de forma cronológica e categorizada, facilitando o acesso e o uso subsequente. Essa organização inicial é essencial para otimizar o fluxo de trabalho e assegurar a integridade dos dados durante o processo de manipulação e modelagem.

Para a geração do modelo tridimensional e a criação de uma representação precisa da área capturada, foi utilizada a técnica de *Gaussian Splatting*. De acordo com os estudos disponíveis no *INRIA* (FUNGRAPH, Disponível em: <https://repo-sam.inria.fr/fungraph/3d-gaussian-splatting/>) e no repositório *GitHub* (GITHUB, Disponível em: <https://github.com/graphdeco-inria/gaussian-splatting>), essa técnica é eficaz na reconstrução de cenas complexas a partir de dados fotogramétricos. A técnica de *Gaussian Splatting* consiste em processar as imagens em um sistema tridimensional de nuvens de pontos, onde cada ponto é tratado como uma distribuição gaussiana em vez de uma unidade discreta. Esse método permite uma visualização contínua e suave das áreas capturadas, além de proporcionar um controle refinado sobre a densidade e a dispersão dos pontos.

O processamento das imagens para essa técnica começa com a identificação de pontos de interesse, seguida pela projeção desses pontos em um espaço tridimensional, onde são aplicadas distribuições gaussianas. Esse processo reduz o ruído e melhora a coesão visual do modelo, resultando em uma representação tridimensional mais realista e detalhada do objeto de estudo. Além disso, a técnica permite uma maior eficiência computacional, uma vez que distribuições gaussianas são menos exigentes em termos de armazenamento e processamento do que métodos baseados em voxels ou polígonos.

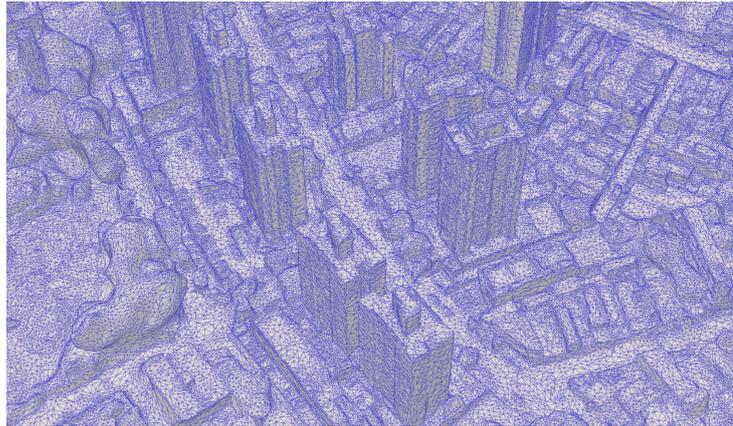


FIGURA 2.4 – Malha de processamento gerada pelo método de Gaussian-Splatting

3 Processamento de Dados e Geração de Modelos 3D

Esse capítulo aborda os fundamentos teóricos e o processo prático de aplicação do *Gaussian Splatting* e a renderização do modelo 3D, incluindo a integração com a plataforma Polycam para a criação do ambiente tridimensional.

3.1 Fundamentos do Gaussian Splatting

A técnica de *Gaussian Splatting* é um método avançado para a reconstrução e visualização de modelos tridimensionais, baseada na representação dos pontos capturados como distribuições gaussianas. Em vez de tratar cada ponto de forma discreta, o *Gaussian Splatting* aplica distribuições gaussianas para suavizar e preencher lacunas no modelo, proporcionando uma aparência, em geral, visualmente mais contínua e natural.

Quando comparada a métodos tradicionais, a técnica de *Gaussian Splatting* oferece vantagens significativas, pois permite uma renderização eficiente e realista, principalmente em regiões de alta densidade de pontos. Isso é alcançado através da projeção de cada ponto no espaço 3D como uma distribuição gaussiana, ajustando o raio e a intensidade da projeção de acordo com a densidade necessária para manter a coesão visual do modelo.

O processo de implementação do *Gaussian Splatting* para este estudo envolveu as seguintes etapas:

1. **Configuração do Ambiente:** Preparar o ambiente de desenvolvimento com as bibliotecas necessárias, conforme as instruções do repositório GitHub.
2. **Pré-processamento dos Arquivos:** Transferir as imagens extraídas do vídeo capturado pelo Drone para o diretório de entrada do algoritmo, mantendo a alta resolução e a organização necessária.
3. **Aplicação do Gaussian Splatting:** Executar o script principal, configurando parâmetros como densidade dos pontos, raio das distribuições gaussianas e ajuste fino

das cores para melhorar a precisão visual.

4. **Renderização e Ajustes Finais:** Visualizar o modelo renderizado e ajustar propriedades adicionais conforme necessário para assegurar que o modelo final represente fielmente a área apresentada.

Essa técnica mostrou-se eficaz para manter a continuidade e suavidade das superfícies, sendo especialmente vantajosa para ambientes complexos, como os grandes centros urbanos - o objeto de estudo deste projeto.

3.2 Processamento das Imagens

O processamento das imagens captadas envolveu a transformação do vídeo capturado em frames estáticos. Como o *DJI Mini 4K* utilizado no projeto possui qualidade de imagem superior, não foram necessários tratamentos adicionais, sendo suficiente a extração dos frames do vídeo em formato estático de alta resolução, transformando o arquivo de MP4 em 260 imagens no formato JPEG.

Para esse processo, as etapas foram:

1. **Extração dos Frames:** Cada segundo de vídeo gerou dois frames extraídos, mantendo a resolução original para assegurar a precisão do modelo 3D. A escolha de uma taxa menor de frames deu-se devido ao movimento lento do Drone, que fez com que a captura das imagens sequenciais obedecesse o requisito de cobrir de 60% a 80% da imagem anterior, visando um melhor resultado.
2. **Organização dos Arquivos:** Os frames foram organizados sequencialmente e enumerados de 1 a 260, o que facilita sua integração no algoritmo de *Gaussian Splatting*.
3. **Transferência dos Arquivos:** Foi realizada uma transferência cuidadosa dos arquivos para o diretório de processamento, evitando a perda de qualidade dos dados. Esse cuidado é essencial para que o modelo 3D final seja consistente com a alta definição capturada pelo drone.

Essas etapas garantiram a integridade dos dados e prepararam o material para a aplicação do algoritmo de *Gaussian Splatting*.

3.3 Geração do Ambiente 3D

A geração do ambiente 3D foi realizada através da plataforma *Polycam* (POLYCAM, Disponível em: <https://poly.cam/>), uma ferramenta que permite a criação de ambientes

virtuais detalhados a partir de imagens e vídeos. Essa plataforma utiliza o algoritmo de Gaussian-Splatting para transformar imagens em modelos 3D, oferecendo um fluxo de trabalho intuitivo para a renderização de espaços, evitando o uso do Prompt de Comando e facilitando a operação.

Os passos seguidos para a geração do ambiente 3D foram:

1. **Upload das Imagens:** As imagens extraídas foram carregadas na plataforma *Polycam*, que utiliza o algoritmo de Gaussian-Splatting para processá-las.
2. **Processamento dos Dados:** A *Polycam* executa os algoritmos de reconstrução 3D para criar uma nuvem de pontos baseada nas imagens carregadas. Esse processo usa correspondências de pontos para gerar uma malha inicial que forma a estrutura básica do ambiente 3D.
3. **Renderização do Modelo:** Após a criação da malha, a plataforma aplica texturas e distribuições gaussianas, se necessário, para garantir que o modelo final seja visualmente fiel ao objeto original.
4. **Verificação de Precisão e Correções:** O modelo renderizado foi revisado para garantir a precisão visual e geométrica. Ajustes finais foram aplicados na plataforma, caso necessários, para melhorar o alinhamento e a continuidade do ambiente.

O resultado gerado é mostrado abaixo, em comparação com uma das imagens coletadas:



FIGURA 3.1 – Frame do vídeo capturado pelo Drone



FIGURA 3.2 – Resultado do Modelo 3D gerado



FIGURA 3.3 – Resultado do Modelo 3D completo

4 Conclusão e considerações finais

Este estudo teve como objetivo a criação de um modelo 3D realista e detalhado de um ambiente urbano, utilizando imagens aéreas capturadas por drone e processadas através da técnica de *Gaussian Splatting*. O resultado obtido apresentou alta qualidade visual e precisão na representação dos objetos estáticos, comprovando o potencial da metodologia aplicada. No entanto, alguns aspectos e limitações identificados ao longo do processo apontam para possibilidades de melhorias e ajustes, especialmente em contextos onde a captura e representação de objetos em movimento e a eficiência do processamento são essenciais.

A qualidade geral do modelo 3D gerado foi bastante precisa e realista, com os pontos centrais do vídeo (onde a sobreposição das imagens foi maior) representados de maneira mais detalhada e consistente. Este resultado evidencia a importância da alta taxa de cobertura para a qualidade final do modelo. Contudo, pontos periféricos e objetos pequenos e estreitos, como postes, não atenderam satisfatoriamente à taxa de cobertura desejada e, por isso, foram representados de forma insuficiente no modelo 3D. Em contraste, objetos pequenos, mas de grande largura, como placas solares nos prédios, foram representados com fidelidade, o que demonstra a limitação do método para objetos finos ou em áreas de baixa cobertura.

Outro ponto crítico identificado foi a dificuldade em capturar e representar objetos em movimento, como veículos, de forma precisa. Esse aspecto constitui uma limitação significativa, uma vez que o objetivo deste projeto inclui a criação de um ambiente 3D com objetos móveis. A técnica de *Gaussian Splatting* mostrou-se inadequada para tais elementos, sugerindo a necessidade de pesquisas adicionais para desenvolver métodos capazes de lidar com objetos dinâmicos, especialmente em aplicações que visam evitar acidentes em contextos logísticos.

Além disso, questões práticas relacionadas ao tempo de processamento e à altura de voo exigida para a captura das imagens também se destacaram. Embora o tempo de processamento tenha sido relativamente baixo para o padrão de projetos de modelagem 3D, ainda é elevado para cenários onde o tempo de resposta é crítico, como na prevenção de colisões. Outras técnicas ou configurações de hardware mais avançadas poderiam ser

investigadas para otimizar esse aspecto. Em relação à altura de voo, a regulamentação vigente limita a altitude permitida, o que indica a necessidade de uma revisão das normas para viabilizar o uso seguro e legal de drones em operações similares.

Outros desafios identificados foram o consumo de bateria do drone, que teve sua autonomia reduzida pela filmagem em alta resolução, e a viabilidade de operações em condições climáticas adversas e de baixa luminosidade. Voos noturnos ou em ambientes de pouca luz ainda representam um desafio para a captura de imagens nítidas e precisas. Alternativas, como o uso de sensores infravermelhos, poderiam melhorar a visibilidade em condições desfavoráveis e fornecer um tempo de resposta mais rápido, contribuindo para a segurança em operações logísticas.

Outro ponto importante foi a constatação de que, apesar de utilizar um drone leve e de pequenas dimensões, com apenas 249 gramas, a qualidade da captura foi excelente, sugerindo que drones maiores e mais pesados têm o potencial de produzir resultados ainda melhores, com maior estabilidade e capacidade de carga para sensores adicionais. No entanto, o aprimoramento dos modelos 3D baseados em aerofotogrametria por drones ainda apresenta diversas limitações e necessidades de ajuste. É necessário investigar métodos de integração de imagens simultâneas para criar ambientes virtuais de maneira mais eficiente e coesa.

Em síntese, embora o modelo 3D obtido neste estudo tenha atendido às expectativas em muitos aspectos, ainda há um caminho a ser percorrido para aprimorar a técnica e torná-la plenamente eficaz para aplicações em cenários urbanos dinâmicos. As melhorias sugeridas, como a integração de sensores infravermelhos, a otimização da sobreposição de imagens para áreas periféricas e a redução do tempo de processamento, podem contribuir para o desenvolvimento de modelos 3D cada vez mais precisos e adequados a demandas de segurança e eficiência no contexto de operações logísticas com drones.

Referências

FUNGRAPH, I. 3d gaussian splatting. Disponível em:
<https://repo--sam.inria.fr/fungraph/3d--gaussian--splatting/>.

GITHUB, R. Gaussian splatting. Disponível em:
<https://github.com/graphdeco--inria/gaussian--splatting>.

POLYCAM. Scan real-world spaces into 3d models. Disponível em:
<https://poly.cam/>.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 25 de novembro de 2024	3. DOCUMENTO Nº DCTA/ITA/TC-114/2024	4. Nº DE PÁGINAS 27
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Criação de cenários 3D baseados em aerofotogrametria por drones para a utilização em ambientes de simulação			
6. AUTOR(ES): Guilherme Diaconiuc			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Aerofotogrametria, Modelagem 3D, Gaussian Splatting, Ambientes Virtuais, Representação Urbana, Algoritmos de Renderização			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: 1. Renderização (computação gráfica) 2. Visão tridimensional 3. Aerofotogrametria 4. Planejamento urbano 5. Aeronaves teleguiadas 6. Computação			
10. APRESENTAÇÃO: <input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica. Orientador: Christopher Shneider Cerqueira. Publicado em 2024.			
11. RESUMO: Este trabalho aborda a aplicação de técnicas de aerofotogrametria e Gaussian Splatting para a geração de modelos 3D realistas e de alta qualidade de ambientes urbanos, utilizando imagens capturadas por drones. Para isso, foi utilizado o drone DJI Mini 4K, que capturou imagens aéreas em alta resolução, posteriormente processadas para a criação de um ambiente virtual tridimensional. O algoritmo de Gaussian Splatting, conhecido por sua capacidade de produzir superfícies suaves e detalhadas, foi aplicado para renderizar os dados coletados em modelos visuais precisos. Os resultados mostraram um alto grau de precisão na representação de objetos estáticos, especialmente nas áreas com maior sobreposição de imagens. Contudo, foram identificadas limitações, como a dificuldade em modelar objetos em movimento, como veículos, devido às características intrínsecas da técnica. Outros desafios incluíram restrições regulatórias de altura de voo, consumo elevado de bateria durante a filmagem em alta resolução e desempenho comprometido em condições climáticas adversas ou baixa luminosidade. Embora os modelos gerados tenham sido satisfatórios, o estudo evidenciou a necessidade de avanços futuros, como a integração de dados em tempo real, a otimização da sobreposição de imagens para áreas periféricas e a utilização de sensores infravermelhos em cenários dinâmicos. Essas melhorias podem ampliar significativamente a aplicabilidade das técnicas de modelagem 3D em operações logísticas e planejamento urbano. Os resultados ressaltam o potencial da aerofotogrametria com drones e do Gaussian Splatting para criar ambientes virtuais imersivos e precisos, ao mesmo tempo que apontam direções para inovações futuras.			
12. GRAU DE SIGILO: <input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> SECRETO			

Certificate of Completion

 **TG_2__Guilherme_Diaconiuc__AER (2).pdf** ID: 8f8e815e-bf20-406b-866e-80da1d677566

SIGN REQUEST ISSUED:

Nov 27, 2024

02:45 PM UTC

REQUESTED BY:

Guilherme Diaconiuc

guilhermediaconiuc@gmail.com

STATUS:

 **Completed**

on 27 Nov, 2024, 04:21 PM UTC

Audit trail

Generated on Nov 27, 2024

27 Nov, 2024, 02:48 PM UTC

Guilherme Diaconiuc has signed the document

guilhermediaconiuc@gmail.com  **Verified**

2804:7f0:442:2446:91a9:7879:7e21:7322

27 Nov, 2024, 02:48 PM UTC

Guilherme Diaconiuc has invited to sign the document

guilhermediaconiuc@gmail.com  **Verified**

27 Nov, 2024, 02:48 PM UTC

Guilherme Diaconiuc has invited to sign the document

guilhermediaconiuc@gmail.com  **Verified**



27 Nov, 2024, 03:03 PM UTC

Vinicius Malatesta has signed the document

vinicius.malatesta@gp.ita.br  **Verified**

161.24.23.100

27 Nov, 2024, 04:21 PM UTC

Christopher Shneider Cerqueira has signed the document

chris@ita.br  **Verified**

161.24.15.172

