

Metodologia para digitalização de ambientes 3D: Caso de estudo do Campus UNIFEI - Itabira

Methodology for the digitalization of 3D environments: Case study from the UNIFEI Campus - Itabira

Alexandre Leles Sousa¹, Giovani Bernardes Vitor¹, Erick Rodrigues Oliveira²

¹Lab. Robótica, Sistemas Inteligentes e Complexos (ROBSIC)
Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira (UNIFEI)
Caixa Postal 50 – 35903-087 – Itabira – MG – Brasil

²Departamento de Sistemas e Computação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Pato Branco, PR – Brasil

leles.sousaa@gmail.com, giovanibernardes@unifei.edu.br, erickr@id.uff.br

Abstract. *This paper presents a methodology to perform 3D reconstruction of real environments that addresses data capture, 3D modeling, texture creation, and complete integration of the models in Unreal Engine 5 (UE5). In this paper, the technique was used to recreate part of a university campus. The models acquired through this method can be used in several areas, such as creating 3D scenarios for games, educational applications and also in the generation of Digital Twins (DTs), both for visual representation and for performing simulations in these DTs. The 3D environment developed in this work achieved its objective, as the first step of future work related to DTs, and all models and projects developed were made available with the aim of assisting beginner modelers and contributing to the advancement of general knowledge in the area of 3D modeling.*

Keywords. *Photogrammetry, Computer Graphics, 3D Modeling, Smart Cities.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma metodologia para a realizar a reconstrução 3D de ambientes reais que aborda a captura dos dados, modelagem 3D, criação de texturas e integração completa dos modelos na Unreal Engine 5(UE5). Neste trabalho em específico, a técnica foi utilizada para recriar parte do campus de uma universidade. Os modelos adquiridos por meio deste método podem ser utilizados em diversas áreas, como criação de cenários 3D para jogos, aplicativos educacionais e também na geração de Digital Twins(DTs), tanto para representação visual, quanto para a realização de simulações nestes DTs. O ambiente 3D desenvolvido neste trabalho atingiu seu objetivo, como primeira etapa de um trabalho futuro relacionado a DTs, e todos os modelos e projetos desenvolvidos foram disponibilizados com o objetivo de auxiliar modeladores iniciantes e contribuir para o avanço do conhecimento geral na área de modelagem 3D.*

Palavras-chave. *fotogrametria, Computação Gráfica, Modelagem 3D, Cidades Inteligentes.*

1. Introdução

Um Digital Twin é um conjunto de modelos gerados por computador que mapeia um objeto ou ambiente físico dentro de um espaço virtual [Segovia e Garcia-Alfaro 2022]. Os dois universos, físico e virtual, trocam informações para monitorar, simular, prever, diagnosticar e controlar o estado e o comportamento do objeto ou ambiente físico dentro do espaço virtual, ou então para realização de tomada de decisões centrada em dados, o que vem motivando sua popularização em diferentes domínios de aplicação. Sendo possível observar diversas aplicações nos trabalhos de [Shahzad et al. 2022, Sommer et al. 2023, AlBalkhy et al. 2024]. [McGonigal 2011] também apresenta pontos interessantes em relação a como DTs e ambientes virtuais podem ser utilizados para melhorar a interação humana e solucionar problemas.

Entretanto, o acesso a esse tipo de tecnologia ainda encontra-se em estágio inicial [AlBalkhy et al. 2024], demandando demasiado tempo, custos, recursos e profissionais capacitados e experientes nessa área da tecnologia, sendo até o presente momento escassos no mercado. Ademais, os DTs aplicados para cidades inteligentes requerem a integração de diversas tecnologias associadas como Computação Gráfica, modelagem 3D, IoT, Inteligência Artificial, computação em nuvens, etc [Ketzler et al. 2020].

Dentro deste contexto, o presente trabalho direciona-se para o primeiro estágio da tecnologia do DTs, isto é, por meio de diferentes ferramentas e técnicas de reconstrução 3D, modelagem e texturização, criar um ambiente virtual possuindo as principais características geométricas e fotométricas do ambiente real. Assim, foi definido um caso de estudo na modelagem de parte do campus da UNIFEI localizado em Itabira(MG). Logo, a contribuição reside em descrever um método para a criação deste tipo de ambiente virtual e disponibilizá-lo tanto para análise em relação a suas características e configurações, quanto para servir de base para pesquisas futuras relacionadas ao campus em questão.

O trabalho está organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta uma visão geral dos trabalhos relacionados pertencentes ao escopo deste trabalho, posicionando a abordagem proposta em relação às anteriores. A metodologia empregada e desenvolvida é descrita na Seção 3, que descreve a concepção detalhada do ambiente modelado. A seção 4 apresenta os resultados experimentais do ambiente gerado na Unreal Engine 5(UE5). Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões e perspectivas futuras.

2. Trabalhos relacionados

Esta seção direciona os trabalhos mapeados na literatura voltados para a primeira etapa de criação do DT, caracterizado pela fotogrametria e modelagem 3D a partir de reconstruções 3D.

No trabalho de [Sommer et al. 2023], é abordado o desenvolvimento de um método para a criação de DTs de maneira mais automatizada. A fim de amenizar os problemas já citados anteriormente em relação ao tempo e processos de criação de DTs. O método proposto foi testado com dados reais de uma fábrica, tendo ênfase em realizar a identificação dos objetos de interesse presentes no local a partir dos dados do DT utilizando redes neurais convolucionais. Em relação a automatização da criação do

DT para o ambiente em questão, houve uma redução significativa do trabalho manual requerido.

Já em [Aliaga e Niyogi 2024], é discutida a importância de se obter modelos digitais precisos de cidades para simular os efeitos do impacto de eventos climáticos nas mesmas. Neste trabalho são citados diversos casos nos quais foram feitos DTs de cidades para esta finalidade, e por meio da comparação de dados dos resultados de simulação é mostrado que o uso de inteligências artificiais generativas, a partir de imagens aéreas e de satélite, permite gerar um modelo 3D com precisão semelhante aos escaneados por LiDAR (*Light Detection and Ranging*), porém sem a necessidade de realizar o escaneamento por toda a cidade. Neste mesmo trabalho também são citados exemplos dos benefícios adquiridos pelas cidades com a aplicação de DTs para simulação, como por exemplo: Maior precisão nas previsões do tempo, saber os possíveis cenários em caso de chuvas intensas e utilizar os DTs como ferramenta de auxílio no planejamento das cidades.

Em [Hellman e Lahti 2018] é feita uma análise do uso de fotogrametria para a criação de ambientes virtuais 3D. Este trabalho aborda as diversas aplicações da técnica e descreve os processos para a sua aplicação apontando os cuidados necessários na etapa de captura das imagens para se obter uma boa malha 3D. Além disso também é feita uma análise comparativa de diversos *softwares* para fotogrametria disponíveis no mercado. Dentre os programas testados, considerando a qualidade do resultado com a menor quantidade de trabalho manual, o *ContextCapture* foi apontado como o *software* mais eficaz.

3. Desenvolvimento proposto

Nesta seção são descritas as etapas para realizar a digitalização de parte da UNIFEI - Campus Itabira. A sequência de atividades desenvolvidas seguiram o que é apresentado pelo diagrama da Figura 1. Nas próximas subseções, cada módulo é explicado em detalhes.



Figura 1. Diagrama das etapas de produção do projeto.

3.1. Definição do ambiente a ser digitalizado

Foi definida uma região de interesse (RI) do Campus Itabira para ser replicada em ambiente virtual. Contidos nesta RI estão os Prédios I e II, Anexos I e II, o estacionamento e a via de acesso principal ao Campus. Na Figura 2 está uma imagem de satélite contendo parte do Campus Itabira, sendo destacado em vermelho o perímetro da área que representa a RI definida. Nesta mesma Figura também é possível visualizar três sub-regiões (SRs). A sub-região 1 (SR1) que contém o prédio I (P1) e seus arredores; a sub-região 2 (SR2) contendo o prédio II (P2), Anexos I e II e seus arredores; e a sub-região 3 (SR3) abrangendo

o estacionamento e a via de acesso ao Campus Itabira. A necessidade de criação das SRs é abordada posteriormente neste trabalho.

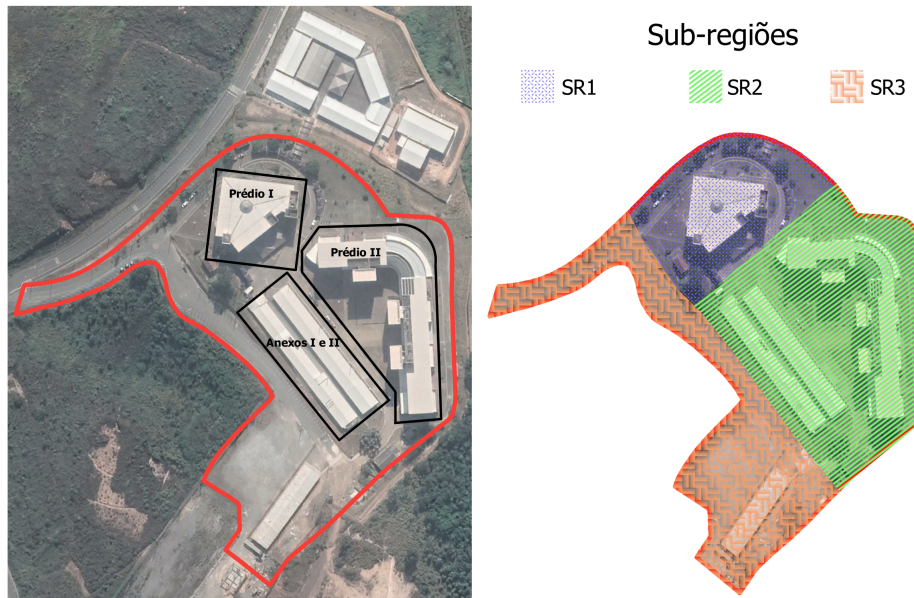


Figura 2. Na esquerda encontra-se a imagem de satélite com região de interesse do Campus Itabira destacada em vermelho (área aproximada de 0.07Km^2) e na direita a identificação das três sub-regiões definidas para modelagem.

Ao definir a RI foram investigados os dados disponíveis no software *Google Earth Pro* na latitude e longitude da UNIFEI. O *Google Earth* é um software que possui diversos tipos de dados do planeta Terra, como por exemplo: dados topográficos, representações tridimensionais da superfície do planeta Terra e um histórico de imagens de satélite da superfície terrestre ao longo dos anos. Constatou-se que na localidade do campus haviam imagens de satélites, porém os dados topográficos não eram precisos e também não haviam representações 3D dos prédios para serem extraídas e facilitar a construção do ambiente virtual. Posto isso, tornou-se necessário capturar os próprios dados para realizar a digitalização da RI.

3.2. Aquisição dos dados reais

Nesta etapa, optou-se por capturar imagens dos prédios e construções para posteriormente serem processadas em um *software* que utiliza fotogrametria para gerar uma malha 3D das estruturas presentes nas fotos. A solução encontrada foi utilizar o *Meshroom*, pois os autores possuem afinidade com este *software* e já obtiveram malhas 3D satisfatórias em projetos anteriores. Este software permite criar malhas tridimensionais fiéis ao conteúdo presente nas imagens fornecidas ao seu banco de dados. Ele basicamente utiliza fotogrametria para encontrar diversos pontos em comum entre as imagens para assim calcular as distâncias, via técnica de reconstrução 3D por imagens, e criar uma malha 3D texturizada. No entanto, a qualidade da malha obtida depende diretamente das posições e resolução das imagens fornecidas. Logo, este processo é intrinsecamente dependente do responsável pela execução do procedimento.

Para garantir uma qualidade satisfatória nos dados de entrada do *Meshroom*, é necessário que todas as imagens utilizadas estejam com a mesma condição de iluminação, ou seja, ser geradas todas no mesmo horário do dia por se tratar da captura de um ambiente externo. Esta abordagem evita possíveis problemas com sombras distintas, o que leva a não detecção correta de pontos comuns para a reconstrução 3D, gerando anomalias na malha de saída como furos e/ou estruturas imprecisas.

Outro ponto a ser levado em consideração é garantir que haja interseção entre o conteúdo das imagens capturadas para que o *Meshroom* consiga realizar o *matching* dos pontos comuns e, por meio da reconstrução 3D, identificar o caminho percorrido pela câmera. Mas, mesmo tendo esse cuidado, ainda podem haver falhas no processamento das imagens e o caminho não ser definido corretamente. Uma abordagem para evitar este inconveniente é capturar fotos enquanto se orbita o objeto com a câmera em altitude superior, focando no objeto com inclinação de aproximadamente 45° em relação ao plano do mesmo, sempre mantendo-o por completo dentro do *frame* da câmera. Assim, esse procedimento foi adotado. No entanto, como a RI contém aproximadamente 0.07Km^2 , orbitar todo este terreno capturando as imagens com um *drone* geraria uma malha pouco detalhada para representar as estruturas dos prédios presentes no Campus havendo perda de resolução e detalhes dos prédios de interesse.

Posto isso, optou-se por dividir a RI em SRs, pois assim seria possível obter um conjunto de malhas menores, mais detalhadas e que poderiam posteriormente ser posicionadas em um software de modelagem 3D de maneira a representar tridimensionalmente toda a RI. Essa representação poderia então ser utilizada como base para modelar manualmente o cenário 3D do Campus Itabira.

Para captura de imagens referentes a SR1 e SR2, um *drone* modelo DJI Phantom 3 foi utilizado para executar de maneira satisfatória o procedimento apresentado previamente. Na Figura 3, à esquerda superior encontra-se uma representação da abordagem utilizada na SR1 para capturar as imagens do Prédio I. Em azul está representado o Prédio I. O toroide amarelo representa o caminho percorrido pelo *drone* em torno do P1, e a inclinação da câmera presente na imagem espelha a inclinação da câmera do *drone* em relação ao prédio I durante todo o processo. A parte direita da Figura 3 contém uma das fotos do Prédio I geradas pelo *drone*.

Para a captura das imagens na SR2 decidiu-se orbitar apenas o prédio II por ser a estrutura de maior interesse e fazendo desta maneira os Anexos I e II, pois estes também estariam presentes nas fotos de captura em diversos ângulos, possibilitando a geração de malhas dessas estruturas. Na parte inferior esquerda da Figura 3 está a representação esquemática do processo de captura de imagens da SR2. Em azul está a representação do P2, em verde está representada parte do Anexo II, em amarelo está o caminho percorrido pelo *drone*. A câmera existente nesta imagem possui inclinação semelhante à utilizada pela câmera do *drone* no processo. À direita inferior da Figura 3 é exibida uma das fotos do Prédio II aquisitadas pelo *drone*.

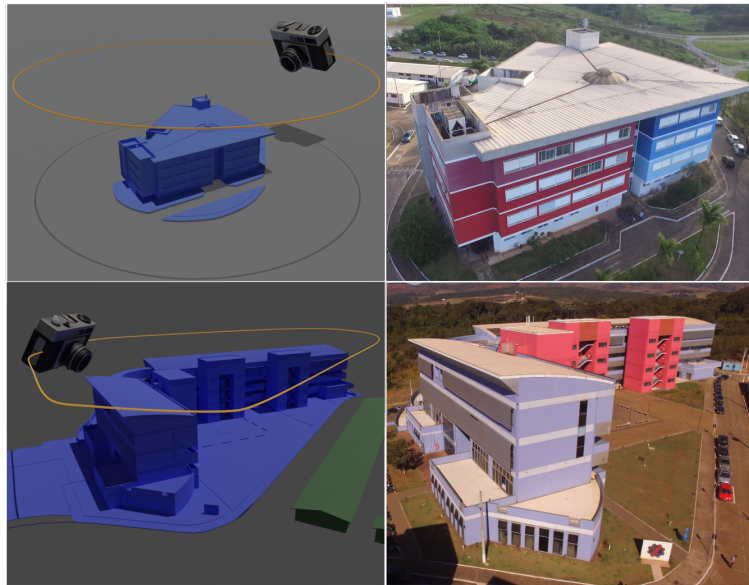


Figura 3. Representação esquemática do processo de geração de imagens para os prédios I e II bem como exemplos das imagens reais capturadas pelo drone.

Já para sub-região 3, por ser muito extensa e conter apenas o estacionamento e uma construção simples, não foi feita a captura de imagens utilizando o *drone*. Neste caso o caminho foi utilizar as fotos de satélite do *Google Earth* como referência para o processo de modelagem. Como a imagem utilizada para modelar a sub-região 3 também seria utilizada futuramente para auxiliar no posicionamento das malhas obtidas para a SR1 e SR2, foi necessário percorrer o histórico de imagens recentes do *Google Earth* e encontrar uma foto na qual os prédios estejam com a menor inclinação possível, para assim evitar ao máximo erros de posicionamento. À esquerda da Figura 4 contém um exemplo de uma imagem ruim, para a finalidade pretendida, devido a inclinação dos prédios e sombras muito escuras que impedem a visualização de detalhes. Já na parte direita da Figura 4 está a foto utilizada para a SR3, por possuir sombras suaves e pouquíssima inclinação dos prédios.



Figura 4. Imagens de satélite da RI. Na esquerda encontra-se uma imagem não apropriada para a modelagem em função de inclinações e sombras fortes, e à direita a imagem utilizada.

3.3. Processamento das imagens adquiridas

Foi criado um projeto no *Meshroom* para cada SR. Ao todo foram capturadas aproximadamente vinte mil imagens advindas dos *frames* da filmagem realizada pelo *drone*. Porém, quanto mais imagens são inseridas como entrada maior se torna a complexidade da tarefa para o *Meshroom* e conseqüentemente mais tempo demora para se obter uma saída. Para a proposta do presente trabalho, foi definido que para cada projeto do *Meshroom* uma quantidade de imagens próximas a 100 já seria suficiente para se obter o nível de detalhe desejado com alguns poucos minutos de processamento. As imagens foram processadas em um computador utilizando o sistema operacional *Windows 11*, com 64Gb de memória RAM, processador Intel Core i7-11700 de 11ª geração equipado com uma placa de vídeo NVIDIA RTX 3070 com 8GB de VRAM.

Em ambos os projetos tomou-se o cuidado de evitar escolher imagens com muitas superfícies reflexivas, pois isso poderia gerar imprecisões na malha de saída. Outro ponto levado em consideração na escolha das fotos foi selecionar imagens de diversos ângulos para que assim o *Meshroom* pudesse criar uma malha com o máximo de detalhes possível. O tempo total de processamento em ambos os casos foi inferior a sete minutos.

Por meio da Figura 5 é possível observar o resultado parcial do processamento das imagens do Prédio I. Na janela *Image Viewer* está uma das imagens capturadas que pode ser utilizada como referência para compreender a nuvem de pontos presente na janela *3D Viewer* à direita desta figura. Cada ponto presente na nuvem de pontos indica um local em que o *Meshroom* foi capaz de encontrar correspondência entre uma ou mais imagens. O fato de o P1 estar praticamente reconstruído apenas pela nuvem de pontos indica que será gerada uma excelente malha de saída. Cada volume retangular presente no *3D Viewer* indica a posição e orientação da câmera de cada imagem utilizada que foi reconhecida pelo *Software*.

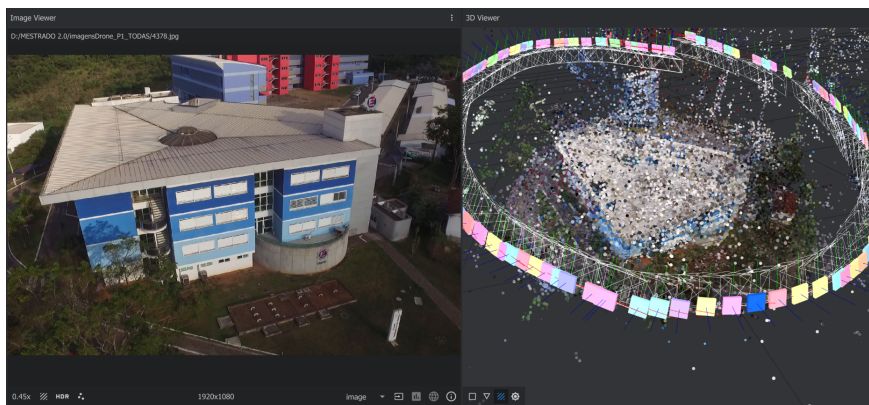


Figura 5. Processamento parcial do *Meshroom* para as imagens do P1.

A criação da nuvem de pontos é a antepenúltima etapa de processamento do *Meshroom*. A penúltima etapa é a geração da malha 3D a partir da nuvem de pontos, e na última etapa é criada a textura da malha 3D a partir das fotos fornecidas.

Ambas as malhas geradas para a SR1 e SR2 foram importadas para o *Blender* e tiveram que ser tratadas para se dar início ao processo de modelagem. Este tratamento envolveu corrigir a orientação das malhas para alinhá-las em relação aos eixos x,y e z do

Blender e envolveu também deletar as partes desnecessárias da malha, deixando somente as estruturas de interesse. Na Figura 6 é possível observar as malhas de saída obtidas para SR1 e SR2, por dois pontos de vista diferentes após o tratamento. Ressalta-se que apesar de os Anexos I e II não estarem perfeitamente representados na malha gerada para a SR2, isto foi o suficiente para prosseguir com a modelagem, devido à simplicidade do formato das construções, e posicioná-los corretamente.

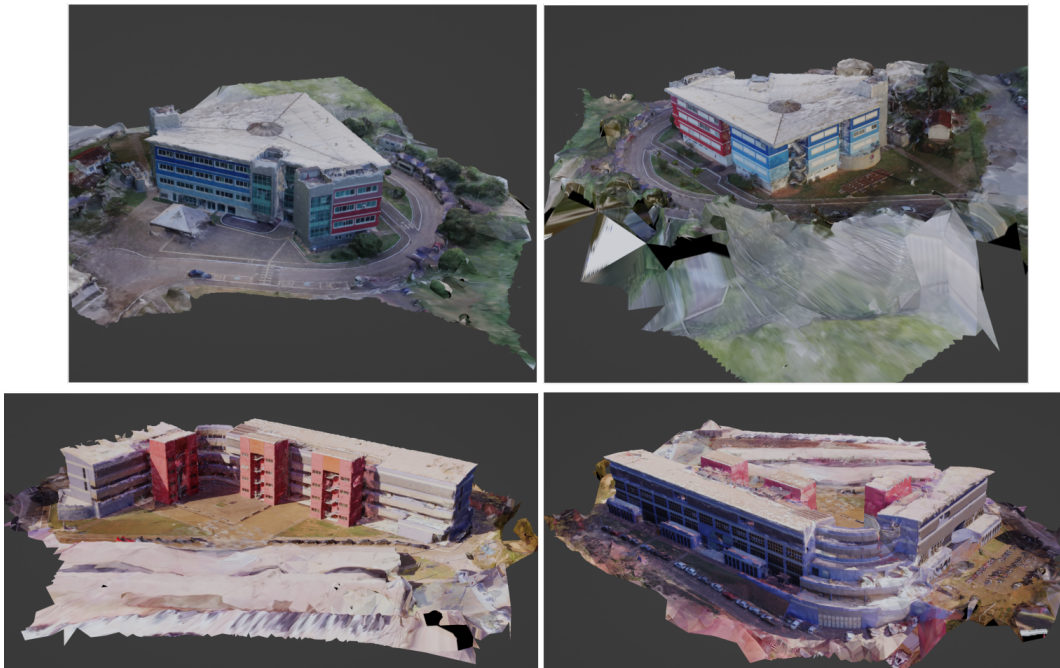


Figura 6. Malhas geradas pelo processamento de imagens. Na parte superior, dois pontos de vista da SR1 e na parte inferior, dois pontos de vista da SR2.

3.4. Modelagem 3D

Como as malhas geradas possuem um elevado número de polígonos e bastante ruído, o processo de modelagem foi necessário para otimizar estes modelos de modo que sejam úteis em aplicações em tempo real em motores gráficos. Sendo assim, as SRs 1 e 2 foram modeladas no *Blender* utilizando a malha gerada pelo *Meshroom* como referência. Após importação da malha no *Blender*, o primeiro passo foi ajustar as escalas de acordo com as medidas reais dos prédios. Em seguida, cada malha foi posicionada de maneira a representar o Campus. Feitos esses ajustes foram utilizadas ferramentas de modelagem do *Blender* como por exemplo: ferramentas de extrusão, movimentação, dimensionamento e rotação de faces; utilizando as malhas importadas como gabarito para se obter uma malha 3D da RI sem ruídos, com boa topologia e a menor quantidade de polígonos possível. A Figura 7 contém as malhas geradas pelo *Meshroom*, as malhas modeladas e as malhas texturizadas da SR1 e SR2. A SR3 e as ruas internas do campus não estão presentes nesta imagem, pois foram texturizadas dentro da própria *Unreal Engine 5* após serem importadas.

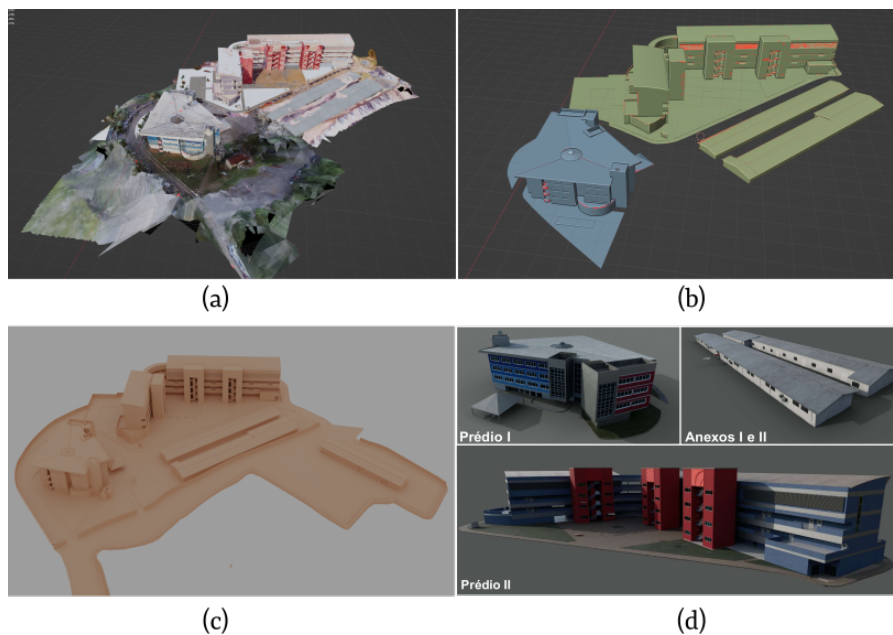


Figura 7. Malhas 3D das sub-regiões após correções realizadas no *Blender*. (a) Alinhamento das malhas individuais; (b) Refinamento dos polígonos; (c) geração completa da malha e (d) Objetos com textura aplicada.

Para geração das texturas, dos objetos 3D das SR1 e SR2, primeiro foi realizada a criação de seus respectivos mapas UV, que são basicamente uma representação 2D do objeto 3D utilizada pelos sistemas de renderização como coordenadas de projeção das texturas. Este processo foi feito no *Blender* e consiste em demarcar as arestas da malha nas quais as faces de um objeto podem ser desconectadas para serem representadas num plano bidimensional.

Com os mapas criados, os objetos foram importados para o *software Substance Painter 2022* no qual foram criadas as texturas para estes objetos utilizando suas ferramentas, máscaras e mesclando imagens para chegar ao visual desejado. Também atentou-se a criar detalhes como sujeira e variações de cor nas paredes para simular desgastes e atingir um pouco mais de realismo para as texturas.

3.5. Criação do cenário na *engine*

Todos os modelos foram então importados para a UE5 onde foi montado o cenário definitivo do Campus a ser utilizado no processo de captura das imagens virtuais. Foram aplicados alguns efeitos de pós-processamento para aprimorar a qualidade visual do cenário. Para populá-lo com mais detalhes, foram modelados alguns objetos como: cones, placas de trânsito, bancos, etc. Além disso foram utilizados alguns pacotes de *assets* 3D de árvores e carros. Na seção 4 é possível visualizar o cenário criado baseado na RI definida para a UNIFEI - Campus Itabira.

4. Resultados experimentais

A presente seção visa demonstrar os resultados alcançados com o processo de modelagem do ambiente real dentro do ambiente virtual. O ambiente virtual foi obtido dentro da UE5 representando a RI do campus Itabira definida neste trabalho. Observando a Figura 8 é

possível comparar as estruturas do campus real com o virtual. Nesta figura à esquerda está uma imagem de satélite contendo a RI do campus, ao centro as imagens do prédio II real e virtual, e por fim, na direita está um comparativo de uma das ruas dentro do campus. A modelagem completa pode ser vista pelo video disponibilizado publicamente.

1

2

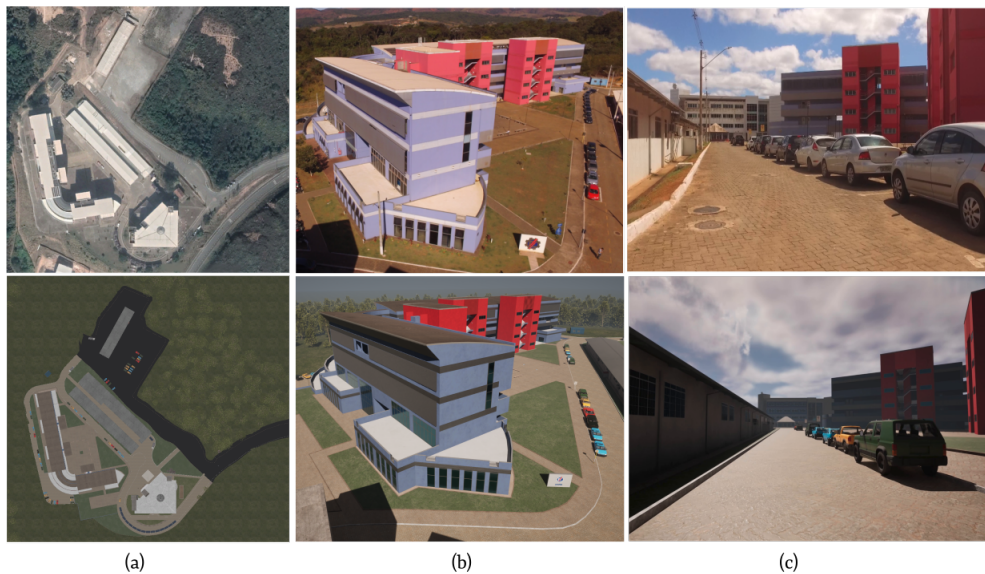


Figura 8. Resultado comparativo entre o ambiente real (superior) e seu respectivo modelo virtual (inferior). (a) Imagem de satélite e vista superior do Cenário virtual; (b) Imagem do drone e seu respectivo no ambiente virtual (c) Image real da rua dentro do campus e seu similar no ambiente virtual.

5. Conclusões

O trabalho desenvolvido está inserido no primeiro estágio de desenvolvimento de soluções relacionadas a Digital Twins para cidades ou campus inteligente. Com os resultados obtidos, conclui-se que o desenvolvimento realizado para representar a UNIFEI campus de Itabira proporciona um ponto de partida para pesquisas futuras associadas a DTs e outras tecnologias digitais como simulações de veículos autônomos, visitas virtuais ao campus, integração com IoT, dentre outros desafios chaves nessa área.

Trabalhos futuros podem ser direcionados para diferentes frentes tais como (i) na expansão da área de modelagem do campus, para os outros ambientes que não foram modelados nessa versão, (ii) realizar a reconstrução e modelagem dos ambientes internos associados a essas construções, (iii) realizar a integração do motor gráfico com as interfaces de IoT e frameworks de robótica como ROS2 por exemplo, (iv) utilizar Inteligência artificial para trazer maior realismo por meio da transferência de estilos do ambiente real para o virtual.

¹Video:<https://youtu.be/e1F1nnGM-bE?si=4X0SM3arV-xd2KdI>

²Arquivos:https://federalitajuba-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/giovanibernardes_unifei_edu_br/EtpZzkQ7AT5Dr2pXFqsmLSwB1mL4_TLB5bsDunpxOSFoXA?e=GIcvb7

Referências

- AlBalkhy, W., Karmaoui, D., Ducoulombier, L., Lafhaj, Z., e Linner, T. (2024). Digital twins in the built environment: Definition, applications, and challenges. *Automation in Construction*, 162:105368.
- Aliaga, D. e Niyogi, D. (2024). Digitizing cities for urban weather: representing realistic cities for weather and climate simulations using computer graphics and artificial intelligence. *Computational Urban Science*, 4.
- Hellman, T. e Lahti, M. (2018). Photogrammetric 3d modeling for virtual reality.
- Ketzler, B., Naserentin, V., Latino, F., Zangelidis, C., Thuvander, L., e Logg, A. (2020). Digital twins for cities: A state of the art review. *Built Environment*, 46:547–573.
- McGonigal, J. (2011). *Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World*. Penguin Publishing Group.
- Segovia, M. e Garcia-Alfaro, J. (2022). Design, modeling and implementation of digital twins. *Sensors*, 22(14).
- Shahzad, M., Shafiq, M. T., Douglas, D., e Kassem, M. (2022). Digital twins in built environments: An investigation of the characteristics, applications, and challenges. *Buildings*, 12(2).
- Sommer, M., Stjepandić, J., Stobrawa, S., e von Soden, M. (2023). Automated generation of digital twin for a built environment using scan and object detection as input for production planning. *Journal of Industrial Information Integration*, 33:100462.