XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8917

Da trena ao pixel: evolução da documentação técnica e análise de erros em levantamento arquitetônico

From tape measure to pixel: evolution of technical documentation and error analysis in architectural surveying

Mateus Roberto Borim
Universidade Estadual de Londrina - UEL | Londrina | Brasil | mateusrob.borim@uel.br
Bianca Amorim Sena Souza
Universidade Estadual de Londrina - UEL | Londrina | Brasil | bianca.amorimss@uel.br
Maurício Hidemi Azuma
Universidade Estadual de Londrina - UEL | Londrina | Brasil | azuma@uel.br

Resumo

Este estudo compara o levantamento arquitetônico tradicional, baseado em medições diretas, com o levantamento fotogramétrico digital aplicado à fachada da Catedral Basílica Menor Nossa Senhora de Lourdes, em Apucarana-PR. A metodologia envolveu a análise de um levantamento manual e a aquisição de imagens por UAV, processadas para geração de ortofoto, modelos digitais de elevação e nuvem de pontos. Os resultados evidenciam discrepâncias métricas entre os métodos, com erros distribuídos ao longo da fachada e maior incidência em elementos verticais, como a torre, onde se observou diferença superior a 4 m. A análise demonstra que o método tradicional está sujeito à propagação de erros devido ao caráter sequencial das medições, enquanto a fotogrametria permite maior consistência e precisão, além de registrar o estado “as-is” da edificação. Conclui-se que a abordagem digital se apresenta como alternativa mais eficiente e confiável para a documentação do ambiente construído, especialmente em edificações de difícil acesso e relevância local.

Palavras-chave: Fotogrametria. Levantamento arquitetônico. Ortofoto. Patrimônio construído. Análise de erros.

Abstract

This study compares traditional architectural surveying, based on direct measurements, with digital photogrammetric surveying applied to the façade of the Minor Basilica Cathedral of Our Lady of Lourdes, in Apucarana-PR. The methodology involved the analysis of a manual survey and the acquisition of images using an unmanned aerial vehicle (UAV), processed to generate an orthophoto, digital elevation models, and a point cloud. The results reveal metric discrepancies between the methods, with errors distributed along the façade and greater incidence in vertical elements, such as the tower, where a difference exceeding 4 m was observed. The analysis demonstrates that the traditional method is subject to error propagation due to the sequential nature of measurements, while photogrammetry provides greater consistency and accuracy, in addition to recording the “as-is” condition of the building. It is concluded that the digital approach represents a more efficient and reliable alternative for documenting the built environment, especially in buildings with difficult access and local relevance.

Keywords: Photogrammetry. Architectural surveying. Orthophoto. Built heritage. Error analysis.

INTRODUÇÃO

A documentação técnica de edificações desempenha papel fundamental na preservação da memória construída e no suporte a processos de análise, intervenção e gestão do ambiente edificado. Tradicionalmente, essa documentação foi realizada por meio de levantamentos diretos, baseados em medições manuais, os quais, apesar de amplamente difundidos, apresentam limitações relacionadas à precisão, ao tempo de execução e à dificuldade de acesso a elementos construtivos complexos.

No contexto contemporâneo, marcado pela transformação digital, observa-se uma crescente incorporação de tecnologias capazes de automatizar e qualificar a aquisição de dados do ambiente construído. Entre essas tecnologias, destacam-se a fotogrametria digital e o escaneamento tridimensional, que permitem a geração de modelos geométricos a partir da captura massiva de informações espaciais. A fotogrametria, em particular, possibilita a reconstrução de modelos tridimensionais a partir de imagens bidimensionais, constituindo uma alternativa acessível e eficiente para a documentação arquitetônica [01][03][08].

Além disso, a digitalização tridimensional tem se consolidado como uma estratégia essencial para a preservação do patrimônio edificado, independentemente de seu grau de proteção institucional. A obtenção de modelos digitais precisos permite não apenas o registro do estado atual das edificações, mas também a criação de bases de dados capazes de subsidiar ações futuras de conservação, gestão e reconstrução. Nesse sentido, a literatura destaca que a documentação técnica digital constitui uma etapa fundamental para a salvaguarda do patrimônio, especialmente diante de riscos imprevisíveis e transformações ao longo do tempo [06].

Entretanto, apesar do avanço dessas tecnologias, ainda é relevante investigar, de forma comparativa, o desempenho dos métodos tradicionais em relação às abordagens digitais, sobretudo em contextos reais de aplicação. Essa comparação torna-se ainda mais pertinente em edificações de valor simbólico local que, embora não possuam reconhecimento formal como patrimônio tombado, desempenham papel significativo na construção da identidade urbana e da memória coletiva.

No Brasil, a documentação técnica associada ao patrimônio arquitetônico apresenta, em muitos casos, importantes lacunas de informação. A ausência de levantamentos sistematizados em formatos 2D, como registros *as-is* e *as-built*, assim como a inexistência de documentos originais de projeto, são situações recorrentes que dificultam a compreensão da evolução física dos edifícios e a gestão de seus dados ao longo do ciclo de vida.

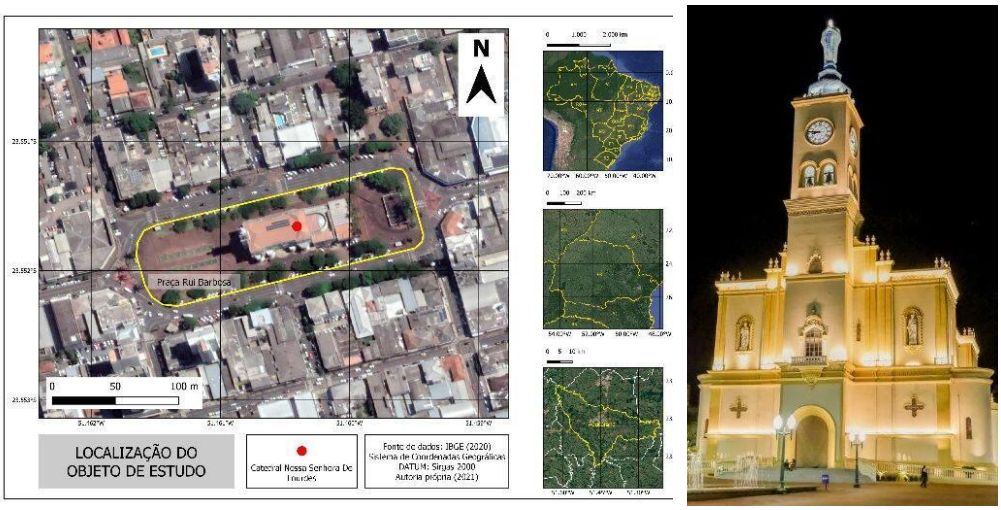
Nesse cenário, a transformação digital aplicada ao ambiente construído apresenta novas possibilidades para a documentação e registro do patrimônio, especialmente por meio de técnicas de levantamento indireto capazes de gerar representações tridimensionais do estado atual das edificações. Assim, a comparação entre métodos tradicionais de levantamento arquitetônico e técnicas digitais de captura da realidade justifica-se como uma abordagem capaz de avaliar avanços em precisão, agilidade e capacidade de preservação da informação arquitetônica.

Nesse contexto, insere-se a Catedral Basílica Menor Nossa Senhora de Lourdes, localizada no município de Apucarana, Paraná, Brasil, cuja singularidade formal e relevância cultural para a cidade contrastam com a ausência de mecanismos formais de proteção e documentação sistemática, sendo um bem não protegido. A edificação apresenta elementos arquitetônicos de difícil mensuração por métodos convencionais, como sua torre principal, cuja altura foi previamente estimada por

meio de levantamento manual realizado em 2022, evidenciando incertezas associadas ao processo.

A Figura 1 apresenta a localização da edificação no contexto urbano do município, bem como o registro fotográfico de sua fachada principal, evidenciando sua presença marcante na paisagem urbana pela sua altura e imponência arquitetônica e a complexidade geométrica de seus elementos arquitetônicos.

Figura 1: Localização da Catedral Basílica Menor Nossa Senhora de Lourdes em Apucarana-PR e vista da fachada principal.



Fonte: os autores.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo comparar o levantamento técnico tradicional, realizado por meio de medições manuais, com o levantamento fotogramétrico digital, desenvolvido a partir de imagens capturadas por *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) e processadas no software Agisoft Metashape. A análise concentra-se na avaliação da precisão métrica, do tempo de execução e da capacidade de registro do estado “as-is” da edificação.

Como contribuição, o estudo busca evidenciar o potencial da fotogrametria digital não apenas como ferramenta de levantamento, mas como instrumento de salvaguarda da memória arquitetônica, especialmente em contextos onde a ausência de proteção institucional torna o registro técnico a principal forma de preservação do patrimônio construído.

DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

A noção contemporânea de patrimônio cultural ultrapassa os limites do tombamento institucional, incorporando edificações que, mesmo sem reconhecimento formal, possuem valor simbólico para a comunidade. O patrimônio pode ser compreendido como uma construção social vinculada à memória coletiva e à identidade urbana, na qual determinados edifícios assumem papel de referência na paisagem e no cotidiano das cidades [02][04][07]. Entretanto, a ausência de proteção legal torna esses bens mais vulneráveis a intervenções sem controle sistemático, evidenciando a importância da documentação técnica como estratégia de salvaguarda e registro das transformações físicas ao longo do tempo.

Nesse contexto, as tecnologias digitais ampliam as possibilidades de documentação arquitetônica ao permitir registros geométricos mais precisos e eficientes. Entre essas

ferramentas, destaca-se a fotogrametria, capaz de gerar modelos tridimensionais detalhados a partir de imagens digitais, contribuindo para a preservação da memória arquitetônica em edificações com baixa proteção institucional [06].

Os métodos tradicionais de levantamento arquitetônico baseiam-se na medição direta dos elementos construtivos por meio de instrumentos manuais, exigindo acesso físico ao objeto e sucessivas etapas de registro e conferência. Apesar de sua ampla utilização, apresentam limitações relacionadas à dificuldade de medição de elementos elevados ou complexos, ao acúmulo de erros decorrentes de medidas parciais e ao tempo necessário para execução.

Como alternativa, os métodos indiretos utilizam captura remota e processamento computacional de dados. A fotogrametria digital permite reconstruir edificações tridimensionalmente a partir de fotografias sobrepostas, convertendo informações bidimensionais em coordenadas espaciais por meio de algoritmos computacionais [03][08]. Essa abordagem possibilita o registro do estado “as-is” da edificação, representando suas condições físicas em determinado momento.

Entre as técnicas fotogramétricas, destaca-se a Structure from Motion (SfM), que utiliza algoritmos de visão computacional para identificar pontos homólogos em imagens sobrepostas, estimar a posição das câmeras e reconstruir a geometria da cena. O processamento resulta inicialmente em uma nuvem de pontos esparsa e, posteriormente, em uma representação tridimensional densa do objeto [03][09].

A qualidade do modelo fotogramétrico depende de fatores como resolução das imagens, sobreposição fotográfica, iluminação e presença de oclusões. A partir da nuvem de pontos podem ser geradas malhas tridimensionais e produtos derivados, como ortofotos, que apresentam correção geométrica e permitem medições sem as distorções de perspectiva presentes em fotografias convencionais. Assim, a fotogrametria SfM consolida-se como uma ferramenta eficiente para documentação do ambiente construído e registro detalhado do estado atual das edificações [05].

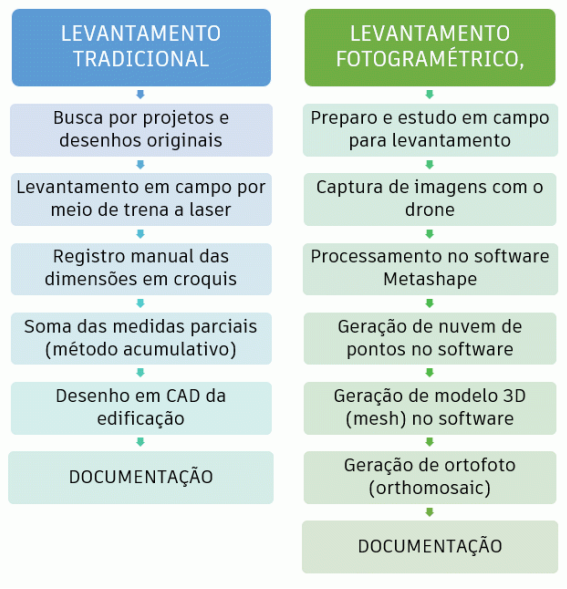
A ortofoto consiste em uma imagem corrigida geometricamente a partir de processos fotogramétricos, eliminando distorções de perspectiva e variações de escala. Diferentemente de uma fotografia comum, permite medições diretas e confiáveis, pois seus pontos possuem correspondência espacial com o objeto real, tornando-se uma base adequada para análises geométricas e documentação técnica [03][05]. Além disso, possibilita o registro detalhado das condições físicas da edificação no momento da captura, apoiando análises comparativas, conservação e futuras intervenções [06].

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção apresenta os procedimentos adotados para a realização do levantamento arquitetônico da fachada do estudo de caso, contemplando tanto o método tradicional quanto a abordagem fotogramétrica digital. A Figura 2 ilustra o fluxo metodológico adotado, desde a aquisição dos dados até a extração das informações métricas.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8917

Figura 2: Fluxo metodológico do estudo.



Fonte: os autores.

LEVANTAMENTO TRADICIONAL

O levantamento arquitetônico realizado baseou-se em medições diretas por meio de instrumentos manuais, com destaque para o uso de trena a laser, sendo conduzido ao longo de aproximadamente dois anos, período esse em que houve a pandemia de Covid-19 e a restrição do acesso ao local, o que justifica o longo período. A aquisição dos dados ocorreu de forma pontual, a partir da medição de elementos acessíveis da edificação, posteriormente sistematizados e representados em ambiente CAD, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Levantamento tradicional da fachada em CAD.



Fonte: os autores.

O procedimento adotado consistiu na coleta sequencial de dimensões ao longo da fachada, utilizando como referência pontos físicos identificáveis na edificação. As medidas foram registradas manualmente e posteriormente organizadas para a elaboração do desenho técnico. A Tabela 2 apresenta a síntese das principais dimensões obtidas nesse levantamento, incluindo a estimativa da altura da torre.

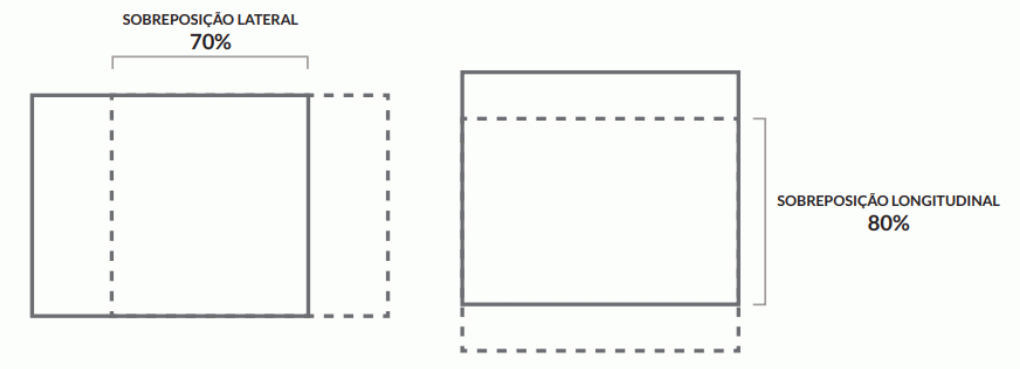
Devido às limitações físicas de acesso, especialmente em relação aos elementos verticais e às regiões superiores da torre, parte das dimensões foi obtida por meio de medições indiretas, baseadas na soma de segmentos parciais.

Além disso, o levantamento foi realizado ao longo de diferentes etapas temporais, o que implicou na necessidade de revisitas ao local para complementação e verificação das medidas. Esse caráter progressivo do processo influenciou tanto a organização dos dados quanto a consolidação do modelo final.

LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

O levantamento fotogramétrico da edificação foi realizado por meio da captura de imagens aéreas utilizando *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). A aquisição dos dados ocorreu de forma automatizada pela plataforma de captura de imagens do drone, totalizando 552 fotografias obtidas em diferentes posições e alturas, de modo a garantir cobertura completa dos elementos arquitetônicos, sendo o percurso realizado de forma verticalizada focado na tomada fotográfica da fachada da edificação, sendo o posicionamento da câmera observado na Figura 4 adiante.

Figura 4: Sobreposição (Overlap) adotado na tomada fotográfica.



Fonte: os autores.

O planejamento da captura considerou a necessidade de sobreposição adequada entre as imagens, bem como a variação de ângulos de tomada, visando assegurar a identificação de pontos homólogos durante o processamento fotogramétrico. As imagens foram obtidas com foco na continuidade da fachada e no detalhamento das regiões superiores, especialmente aquelas de difícil acesso por métodos tradicionais.

As condições de aquisição também levaram em conta fatores ambientais, como iluminação natural e presença de sombras, buscando minimizar interferências que pudessem comprometer a qualidade dos dados. A coleta foi realizada em um único período, caracterizando um registro instantâneo da edificação em seu estado no momento do levantamento.

Os principais parâmetros relacionados à aquisição das imagens, incluindo quantidade de fotografias, tipo de captura e estratégia de levantamento, estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros do levantamento fotogramétrico

Parâmetro	Valor
Localização	Praça Rui Barbosa, Apucarana – PR
Tipo de plataforma	*Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)
Tipo de captura	Aérea com variação de altura e ângulo
Número total de imagens	552
Padrão de voo	Faixas verticais
Captura oblíqua	Sim (ângulos aproximados de 45°) para detalhamento adicional de ornamentos
Sobreposição longitudinal	≥ 80%
Sobreposição lateral	≥ 70%
Variação de distância entre o drone e a edificação	5 m a 10 m
Altura de voo	0 m a 56 m
Condição de iluminação	Sol direto
Horário do levantamento	14:52 às 16:36
Configuração ISO	100–200 (fixo)
Velocidade do obturador	~1/800 s
Balanço de branco	Fixo
Modo de foco	Adaptativo pelo obturador da câmera
Estratégia de detalhamento	Captura adicional de ornamentos
Tipo de escala adotada	Referência manual por trena (medidas conhecidas)

Fonte: os autores.

Dessa forma, o levantamento fotogramétrico permitiu a obtenção de um conjunto contínuo e abrangente de dados espaciais da edificação, constituindo a base para as etapas subsequentes de processamento e extração de informações métricas.

PROCESSAMENTO DE DADOS

O processamento das imagens obtidas no levantamento fotogramétrico foi realizado no software Agisoft Metashape, seguindo o fluxo clássico baseado na técnica Structure from Motion (SfM).

Inicialmente, foi executado o alinhamento das fotografias, com a identificação automática de pontos homólogos entre as imagens, resultando na geração de uma nuvem de pontos esparsa (tie points) e na estimativa da posição relativa das câmeras (Figura 5). Essa etapa constitui a base para a reconstrução tridimensional subsequente.

Na sequência, foram gerados os mapas de profundidade (depth maps), que permitiram a reconstrução de uma nuvem de pontos densa, representando com maior fidelidade a geometria da edificação (Figura 5). Também foi construída a malha tridimensional (mesh), posteriormente texturizada para a obtenção de um modelo tridimensional contínuo da fachada e da torre (Figura 5).

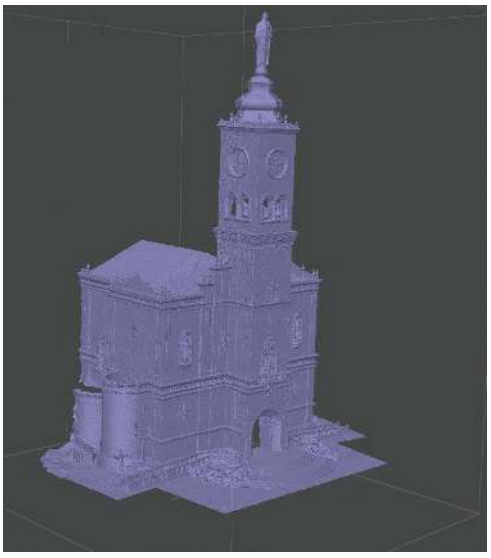
Figura 5: Evolução do processamento dos dados em (a) nuvem de pontos esparsa, (b) mapa de profundidade e nuvem de pontos densa, (c) malha triangular irregular em cor sólida e (d) malha texturizada.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: os autores.

Com base nesse modelo, foram gerados produtos derivados, com destaque para a ortofoto (orthomosaic), obtida por meio da projeção ortogonal da malha triangular texturizada. Durante esse processor foi definida a escala e a rotação do modelo por meio das medidas base. Assim, esse produto apresenta correção geométrica e uniformidade de escala, constituindo a base para a extração de medidas e análises posteriores.

O conjunto de etapas descritas permitiu a transformação das imagens capturadas em um modelo digital estruturado, possibilitando a obtenção de representações tridimensionais e bidimensionais da edificação, que foram utilizadas nas etapas subsequentes do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos evidenciam diferenças significativas entre o levantamento tradicional e o levantamento fotogramétrico, tanto em termos métricos quanto na qualidade da representação geométrica da edificação. A análise foi estruturada a partir dos produtos gerados no processamento fotogramétrico, incluindo ortofoto, modelos digitais de elevação (DEM) e mapas de qualidade (confidence), bem como da comparação com o levantamento em CAD.

QUALIDADE DO MODELO

A ortofoto gerada a partir do processamento fotogramétrico apresenta uma representação contínua e geometricamente corrigida da fachada, permitindo a visualização detalhada dos elementos construtivos e servindo como base para a extração de desenhos e medidas, conforme a Figura 6. A uniformidade de escala e a ausência de distorções de perspectiva tornam esse produto adequado para diversas análises, sendo o foco desse estudo as análises métricas e comparações com o levantamento tradicional.

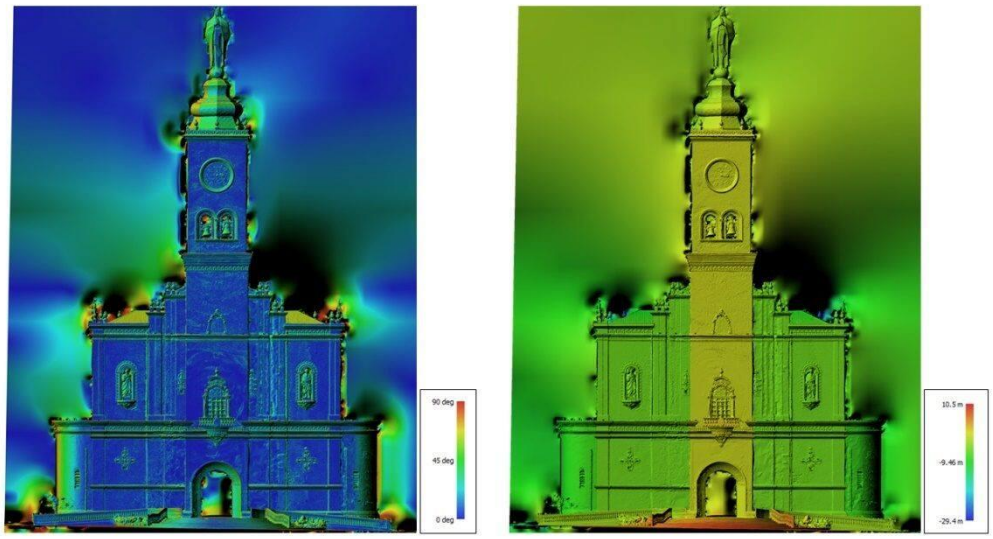
Figura 6: Comparativo entre o levantamento em CAD e a ortofoto gerada em modelo tridimensional.



Fonte: os autores.

Os modelos digitais de elevação (DEM) complementam essa representação ao evidenciar a variação altimétrica da superfície da edificação. O DEM de altitude permite identificar diferenças de nível ao longo da fachada e da torre, enquanto o DEM angular destaca variações de inclinação, contribuindo para a compreensão da geometria dos elementos arquitetônicos, especialmente em regiões com maior complexidade formal, conforme indica-se na Figura 7.

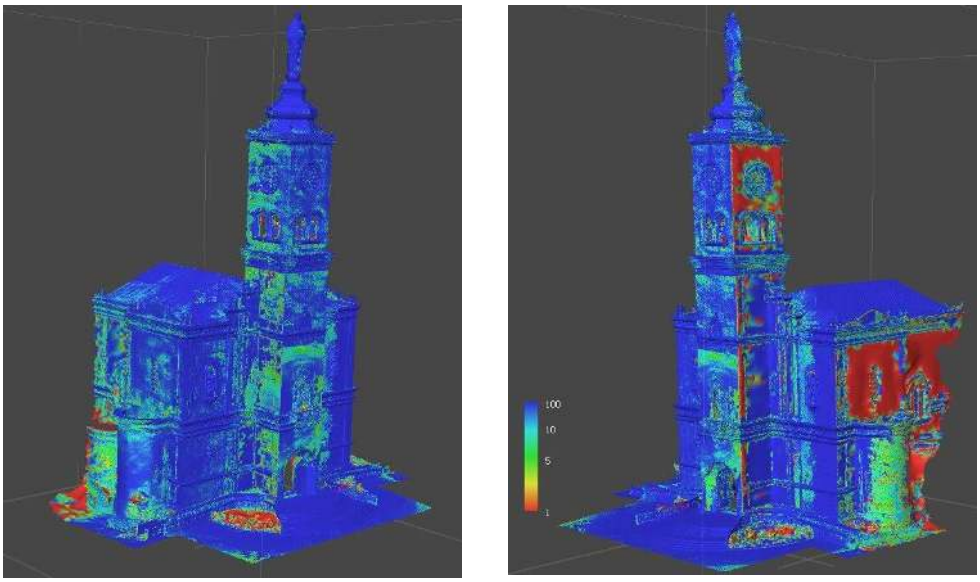
Figura 7: DEM angular e DEM de altitude do ortomosaico do modelo.



Fonte: os autores.

A qualidade da reconstrução foi avaliada por meio dos mapas de confidence gerados no processamento, os quais indicam o grau de confiabilidade da correspondência entre as imagens. Conforme observado na Figura 8, a maior parte da superfície da fachada apresenta valores elevados de confiança, indicando boa consistência na reconstrução geométrica. Regiões pontuais com menor confiabilidade concentram-se em áreas de difícil captura, como porções superiores da torre, por conta de pássaros, árvores e fiações elétricas, e zonas sujeitas a oclusões ou variações de iluminação.

Figura 8: Zonas de confiabilidade do levantamento.



Nota: em que 100 é muito confiável e 1 pouco confiável. Fonte: os autores.

De modo geral, os produtos fotogramétricos demonstram coerência geométrica e continuidade espacial, constituindo uma base consistente para as análises métricas realizadas neste estudo. Esses resultados indicam que o modelo obtido apresenta

qualidade suficiente para a comparação com o levantamento tradicional, permitindo a identificação de discrepâncias e padrões de erro ao longo da edificação.

ANÁLISE DOS ERROS

A comparação entre as medidas obtidas pelo levantamento tradicional e aquelas extraídas da ortofoto evidenciou a presença de discrepâncias distribuídas ao longo da fachada, indicando que o erro não se restringe a elementos isolados, como a torre, mas se manifesta de forma contínua na edificação. A Figura 9 a seguir representa a extração desses dados de erro e a taxa de proporção do erro comparando os métodos.

Figura 9: Sobreposição do Levantamento Tradicional e do Levantamento Fotogramétrico.



Fonte: os autores.

A comparação entre as medidas obtidas pelo levantamento tradicional e aquelas extraídas da ortofoto evidenciou discrepâncias ao longo da fachada, tanto no eixo horizontal quanto no vertical.

Para o sentido de análise do eixo vertical da edificação, adotou-se o nível do solo como sendo 0,0m, e os valores acima dele como sendo positivos. Pela edificação já possuir determinado desgaste e variação em sua horizontalidade, adotou-se extração de erros pelo lado direito e pelo lado esquerdo da fachada, sendo calculado o erro médio entre as duas em relação ao nível calculado no levantamento tradicional. A Tabela 2 a seguir

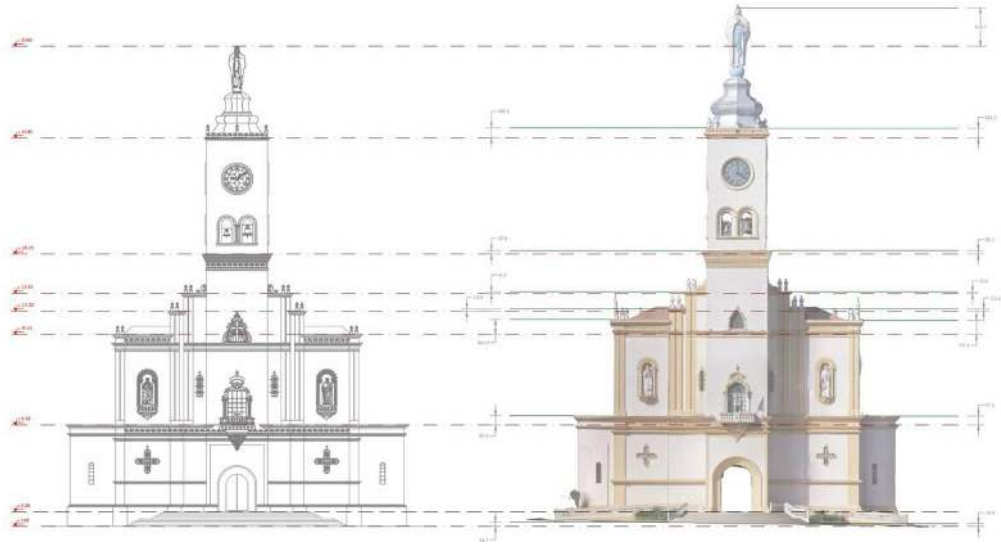
representa essa análise dos valores obtidos e a Figura 10 o processo de extração dos valores.

Tabela 2: Erros no eixo vertical.

Nível adotado(m)	Medida no levantamento tradicional (m)	Diferença média encontrada no levantamento fotogramétrico (m)	Erro calculado entre os levantamentos (m)
-1,6	-1,6	+0,376	-0,376
9,5	9,5	+0,995	-0,995
19,43	19,43	+1,588	-1,588
22	22	+0,232	-0,232
23,93	23,93	+0,160	-0,160
28,25	28,25	+0,380	-0,380
41	41	+1,064	-1,064
51	51	+4,207	-4,207

Fonte: os autores.

Figura 10: Processo de extração de erros no sentido vertical.



Fonte: os autores.

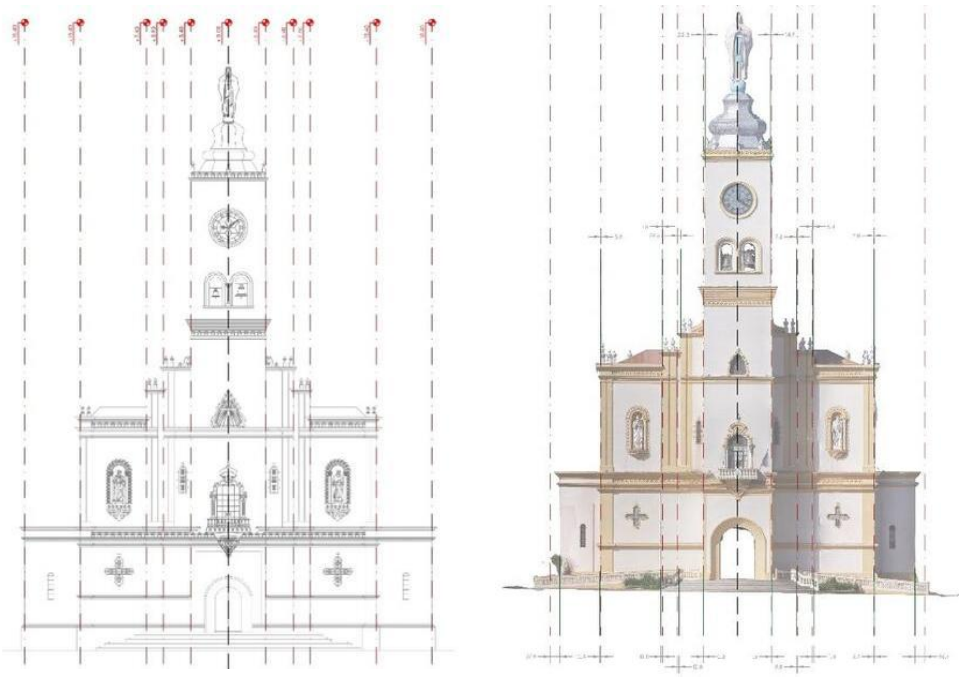
Para o sentido de análise horizontal, adotou-se o eixo de simetria axial como posição 0,0m, sendo à direita deste eixo valores negativos e à esquerda valores positivos. Assim, a variação observada seguiu esse eixo de valores. Pela edificação naturalmente não apresentar uma simetria perfeita, agora não foi realizada a média entre os erros, mas sim o percentil de variação entre eles. A Tabela 3 a seguir representa essa análise dos valores obtidos e a Figura 11 o processo de extração dos valores.

Tabela 3: Erros no eixo horizontal.

Posição adotada (m)	Medida no levantamento tradicional (m)	Medida no levantamento fotogramétrico (m)	Erro entre os levantamentos (m)	Erro (%)
18,4	18,400	17,421	+0,979	5,62
13,4	13,400	13,439	-0,039	-0,29
7,4	7,400	7,415	-0,015	-0,20
5,9	5,900	5,604	+0,296	5,28
3,4	3,400	3,178	+0,222	6,99
-3,4	-3,400	-3,251	-0,149	4,58
-5,9	-5,900	-5,822	-0,078	1,34
-7,4	-7,400	-7,454	+0,054	0,72
-13,4	-13,400	-13,428	+0,028	0,21
-18,4	-18,400	-17,436	-0,964	5,53

Fonte: os autores.

Figura 11: Processo de extração de erros no sentido horizontal.



Fonte: os autores.

No eixo horizontal, os erros variaram entre aproximadamente -0,039 m e +0,979 m, correspondendo a valores relativos de até cerca de 7%. Observa-se que os maiores desvios ocorrem nas extremidades da fachada (±18,4 m), enquanto as regiões centrais apresentam erros significativamente menores. Esse padrão sugere a ocorrência de erro acumulado ao longo do processo de medição manual, uma vez que a obtenção das dimensões depende da soma sequencial de segmentos. Outro fator muito importante é o fato de as capelas laterais possuírem planta circular, o que dificultou a medição tradicional com a trena a laser.

No eixo vertical, os erros apresentaram magnitude crescente com a altura, variando de aproximadamente -0,160 m em níveis intermediários até -4,207 m na torre principal. Esse comportamento evidencia as limitações das medições indiretas em elementos elevados, nas quais a dificuldade de acesso e a necessidade de estimativas sucessivas contribuem para o aumento das discrepâncias.

Para o levantamento tradicional ocorrer na torre, foi realizado a medição interna da mesma, sendo os detalhes arquitetônicos não acessíveis, como o coruchéu, tendo que ser medidos por aproximação de fotos convencionais a nível do solo em planificações em ambientes CAD e coleta de dados aproximados na prefeitura (altura máxima da edificação de 50m) o que colaborou para a difusão exacerbada do erro neste levantamento.

De modo geral, os resultados indicam a presença de componentes tanto sistemáticos quanto acumulativos nos erros do levantamento tradicional, conforme sintetizado na Tabela 4. Enquanto variações pontuais podem estar associadas a imprecisões locais, o padrão observado ao longo da fachada reforça a influência do método sequencial adotado.

Tabela 4: Interpretação dos tipos de erros.

Tipo de erro	Definição	Interpretação
Erro absoluto	Diferença entre manual e ortofoto	Magnitude do desvio
Erro relativo (%)	Proporção do erro	Comparação entre pontos
Erro sistemático	Tendência ao longo da fachada	Indica propagação
Erro aleatório	Variação pontual	Ruído de medição
Erro acumulado	Soma de erros sequenciais	Forte no método manual

Fonte: os autores.

Em contraste, a ortofoto, ao permitir medições diretas em uma representação contínua e geometricamente corrigida, reduz a dependência de medições intermediárias e apresenta maior consistência na obtenção das dimensões. Esses resultados confirmam o potencial da fotogrametria como ferramenta mais robusta para a documentação métrica de edificações, especialmente em elementos de difícil acesso e maior complexidade geométrica.

Embora as tecnologias digitais ampliem significativamente as possibilidades de registro do patrimônio construído, é importante compreender que a documentação técnica constitui apenas uma etapa dentro de um processo mais amplo de salvaguarda. A existência de proteção institucional, como o tombamento, não garante isoladamente a preservação física de um bem, assim como o levantamento técnico, por si só, não assegura sua conservação ao longo do tempo. A preservação patrimonial depende da articulação entre políticas públicas, estratégias de gestão, manutenção contínua e disponibilidade de informações confiáveis sobre o estado do edifício. Nesse contexto, métodos de levantamento arquitetônico, sejam tradicionais ou digitais, assumem papel fundamental ao fornecer registros capazes de apoiar futuras ações de análise, monitoramento e intervenção.

A comparação entre os métodos evidencia que cada abordagem apresenta limitações e potencialidades distintas. O levantamento manual, embora ainda seja amplamente utilizado devido à sua simplicidade operacional e baixo custo inicial, apresenta desafios relacionados ao acesso aos elementos construtivos, dependência da sequência de medições realizadas em campo e possibilidade de propagação acumulativa de erros. Em edificações com grande altura ou geometria complexa, como a Catedral analisada, pequenas inconsistências nas medições intermediárias podem resultar em diferenças significativas quando consideradas em escala global.

Por outro lado, a fotogrametria digital apresenta vantagens relacionadas à captura integrada da geometria da edificação e à possibilidade de geração de produtos tridimensionais e ortofotos que representam o estado existente do objeto. Entretanto, sua aplicação também depende de fatores como planejamento da aquisição das imagens, condições de iluminação, resolução fotográfica, posicionamento dos equipamentos e procedimentos de referência espacial. Dessa forma, embora a técnica apresente elevado potencial para documentação arquitetônica, a precisão final está diretamente associada à qualidade dos dados coletados e aos procedimentos de validação adotados.

CONCLUSÃO

O presente estudo discutiu e evidenciou como diferentes métodos de levantamento arquitetônico podem contribuir para a documentação e gestão do patrimônio construído, comparando uma abordagem tradicional baseada em medições diretas com uma abordagem digital baseada em fotogrametria. Os resultados demonstraram que a fotogrametria apresenta vantagens relevantes para o registro do estado atual da edificação, especialmente em elementos de difícil acesso e elevada complexidade geométrica. Entretanto, destaca-se que a análise realizada possui caráter exploratório, uma vez que a nuvem de pontos não foi corrigida por meio de coordenadas obtidas com equipamentos de alta precisão, como receptores RTK ou levantamentos a laser.

Dessa forma, os resultados não devem ser interpretados como uma validação absoluta da precisão fotogramétrica, mas como uma investigação comparativa sobre o comportamento dos métodos e suas implicações para a documentação arquitetônica. Estudos futuros poderão ampliar essa análise por meio da integração de diferentes técnicas de captura, incluindo escaneamento a laser e controle geodésico por pontos RTK, permitindo avaliações mais robustas sobre precisão dimensional e confiabilidade dos modelos digitais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos de mestrado, fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] TUNG, Y. H.; CHIA, F. C.; YONG, F. Y. Y. Exploring the usage of digital technologies for construction project management. **Planning Malaysia**, v. 19, n. 3, p. 13–22, 2021. DOI: https://doi.org/10.21837/pm.v19i17.983

[2] CHOAY, F. **A alegoria do patrimônio**. São Paulo: Estação Liberdade, 2001.

[3] COSTA, R. P.; FERNANDES, L. L. de A.; MUTA, L. F.; ISATTO, E. L.; COSTA, D. B. Modelagem 3D de edificação gerada por fotogrametria com uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, e131377, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212024000100737

[4] HALBWACHS, M. **A memória coletiva**. São Paulo: Vértice, 1992.

[5] ICOMOS. **Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites**. Paris: International Council on Monuments and Sites, 2003.

[6] LEON, Iñigo; PÉREZ, José Javier; SENDEROS, María. Advanced Techniques for Fast and Accurate Heritage Digitisation in Multiple Case Studies. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 6068, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12156068

[7] SMITH, L. **Uses of heritage**. London: Routledge, 2006.

[8] REMONDINO, F.; RIZZI, A. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—Techniques, problems, and examples. **Applied Geomatics**, v. 1, p. 85–100, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s12518-010-0025-x

[9] WESTOBY, M. J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N. F.; HAMBREY, M. J.; REYNOLDS, J. M. Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300–314, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021