

LEVANTAMENTO DE PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM RPA: ESTUDO DE CASO DO CONJUNTO SANTUÁRIO SÃO LAZARO E SÃO ROQUE E CASARÃO LAZARETO, SALVADOR/BA

M. J. Alixandrini, S.D.R.S. Silva, V. de O. Fernandes, A. A. da Cunha

RESUMO

O presente estudo utilizou um RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) na obtenção de dados aplicados ao mapeamento do Conjunto Santuário São Lázaro e São Roque e Casarão Lazareto com vistas a desenvolver prerrogativas técnicas relacionadas ao recobrimento fotogramétrico no uso de RPAs no levantamento e gestão de Patrimônio Histórico. Para o desenvolvimento do estudo foram estabelecidos uma série de boas práticas para os levantamentos que incluem técnicas de reconhecimento, pré-sinalização de pontos de apoio, identificação de obstáculos e obstruções, planejamento de cobertura fotogramétrica e segurança. Foram realizadas 3 campanhas de levantamento, uma delas sendo mapeamento topográfico convencional. No voo do equipamento foi possível mapear toda a propriedade que abriga o Conjunto Santuário São Lázaro e São Roque e Casarão Lazareto e levantar suas fachadas com tomadas de fotografias em diferentes angulações. Com os dados obtidos foi possível a produção de um mosaico e modelo digital de elevação. Para o georreferenciamento das imagens e posteriormente do mosaico produzido foi utilizado o equipamento GNSS topográfico para a determinação dos pontos pré-sinalizados em solo. O mosaico gerado alcançou a resolução espacial de 3,16cm. Com os resultados do estudo busca-se mostrar as potencialidades dos RPAs para o mapeamento e monitoramento do patrimônio arquitetônico cultural brasileiro.

1 INTRODUÇÃO

O levantamento de edificações históricas baseadas em imagens tem se consolidado para documentar, preservar a memória e identificar as manifestações patológicas causadoras da degradação desses monumentos. Com isso o objetivo do presente estudo foi o de utilizar um RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) na obtenção de dados aplicados ao mapeamento do Conjunto Santuário São Lázaro e São Roque e Casarão Lazareto com vistas a desenvolver prerrogativas técnicas relacionadas ao levantamento fotogramétrico no uso de RPAs no levantamento e gestão de Patrimônio Histórico.

O Casarão Lazareto é um prédio histórico que foi construído no início do século XVIII implantado na Colina de São Lázaro, no bairro da Federação, em Salvador. Era uma das principais edificações de uma vila e sua finalidade inicial era para fazer triagem de escravos e, em seguida, abrigar os que chegavam doentes ao local. O casarão passou a ser usado como abrigo de leprosos pobres, na sua grande maioria negros, da cidade de Salvador. No final do século XVIII a edificação se transformou em um hospital, que funcionou até o começo do século 20. Com isso, o casarão guarda significativa importância histórica para o estado da Bahia. Em 2002 o casarão foi restaurado e passou a ser usado como sede da FAPESB - Fundação Estadual de Pesquisa da Bahia, mantendo-se como um patrimônio arquitetônico até os dias de hoje. O patrimônio arquitetônico sofre com

degradações naturais, as quais não podem ser evitadas, juntamente com a falta de manutenção dos mesmos. Uma forma de evitar a transformação desse patrimônio histórico em ruínas é a manutenção a partir de sua documentação precisa e detalhada. Com o advento de novas tecnologias digitais tornou-se usual no Brasil o levantamento de edificações históricas baseadas em imagens, afim de documentar, preservar a memória e identificar as manifestações patológicas causadoras da degradação desses monumentos(VITÓRIO,2003).

A capela de São Lázaro data da primeira metade do século 18, quando existia um lazareto no local, um vilarejo para pessoas com hanseníase (lepra). A escritura patrimonial foi registrada em 1734. O coqueiral de uma das encostas da colina está incorporado ao sistema de áreas verdes de Salvador (GP-2), pelo Decreto Municipal nº 4.551 de 23.11.1974, e pertence à Universidade Federal da Bahia.

Capela do tipo rural, com corredor e tribunas em um só lado. Sua fachada é formada por um frontão clássico, que reproduz as duas águas da cobertura, uma única porta e duas janelas no nível do coro. Uma reforma recente acrescentou um adro e dependências no fundo. A cobertura, pisos e esquadrias foram substituídos por novos em data recente. A capela possui um altar-mor e dois no ângulo do arco cruzeiro. A planta desta capela, com um só corredor com tribunas superpostas, é uma variante da planta típica de igrejas matrizes e de irmandades do começo do séc. XVIII. A igreja apresenta, tardiamente, uma "fachada-templo" de origem românica, e que foi introduzida no país nos primeiros anos de colonização pelos jesuítas, perdurando até o séc. XVIII nos estabelecimentos rurais. Seu portal de verga reta parece remontar à metade do séc. XVIII. O adro, com coruchéus, é recente. (FGM,1994).

Na figura 1 é possível identificar a região de estudo.

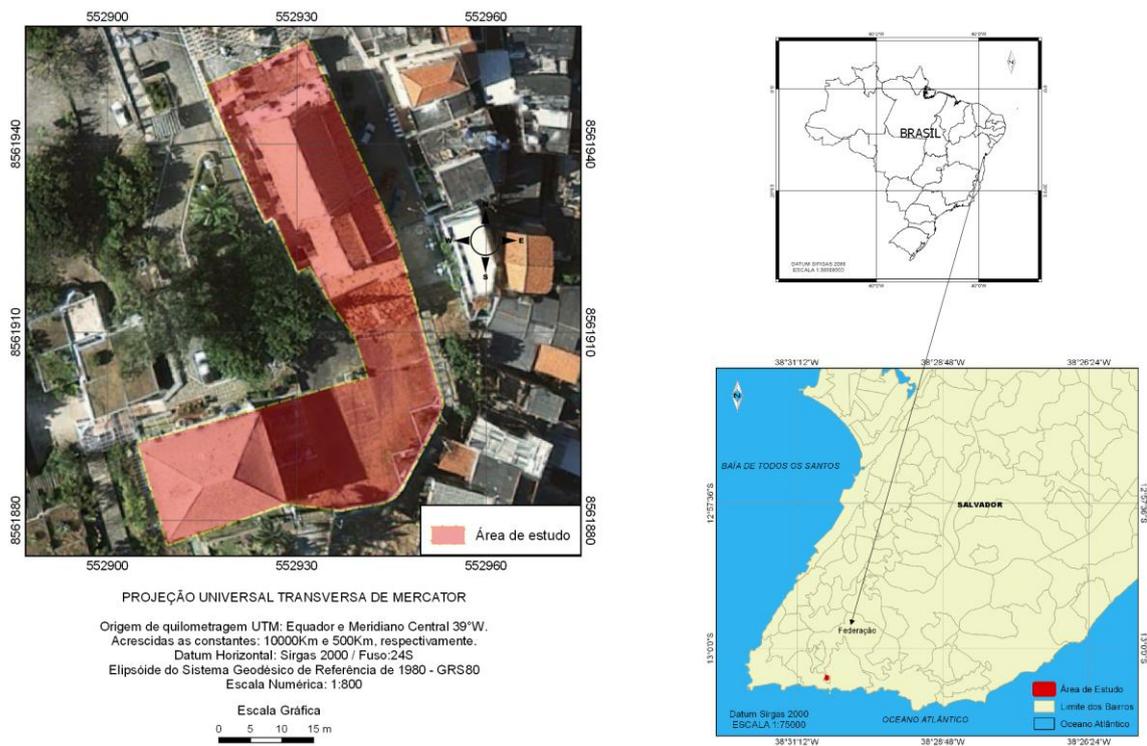


Fig. 1 Localização da área de estudo
Fonte: Elaborado pelo autor

2 PATRIMONIO CULTURAL

2.1 Patrimônio Cultural

O conceito de patrimônio foi estabelecido pelo Decreto-lei nº 25, de 30 de novembro de 1937 e foi ampliado pela Constituição Federal de 1988, em seu Artigo 216, substituindo a denominação Patrimônio Histórico e Artístico, por Patrimônio Cultural Brasileiro. Com essa alteração o conceito de referência cultural e a definição de bens passíveis de reconhecimento foram incorporados (IPHAN, 2016).

A nossa constituição estabelece que a proteção e a promoção do Patrimônio Cultural Brasileiro são realizadas em parceria entre o poder público e as comunidades e que a gestão do patrimônio e sua documentação é de responsabilidade da administração pública. No Brasil a gestão do Patrimônio Cultural Brasileiro e dos bens reconhecidos pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) como Patrimônio da Humanidade é de responsabilidade do Iphan.

Para o Ministério Público Federal denomina-se patrimônio cultural o conjunto de bens, materiais ou imateriais, que traduzem a história, a formação e a cultura de um povo, uma comunidade ou um país. Isso abrange os seguintes temas:

- Bens móveis e imóveis, tomados isoladamente;
- Conjuntos arquitetônicos, urbanísticos, históricos e paisagísticos;
- Paisagens culturais que revelem uma combinação da ação do homem com a natureza;
- Paisagens concebidas intencionalmente, como jardins e parques;
- Paisagem que apresente provas de sua evolução ao longo do tempo;
- Paisagem associada a fenômenos religiosos/simbólicos;
- Patrimônio documental ou arquivístico;
- Patrimônio cultural imaterial (formas de expressão, modos de criar, fazer e viver);
- Patrimônios paleontológico (fósseis) e espeleológico (grutas e cavernas);
- Sítios arqueológicos;
- Áreas vizinhas a bens culturais;

O patrimônio cultural são todos os bens que são atribuídos valores sociais e que representam uma herança que passamos para nossas gerações futuras. Esses patrimônios permitem que a comunidade e o local ao qual pertençam possuam uma identidade única, preservando suas memórias e os diferenciando de outras comunidades. Esses bens são do tipo coletivo com uma importância maior para a população que ele caracteriza (IPHAN,2016).

2.2 Documentação

Segundo Nogueira (2010), a documentação arquitetônica não é apenas uma prova no tempo, não é apenas um documento que deve ficar por conta do passado, pois é o registro do universo intelectual de quem o produziu e tem a intenção de registrar um conhecimento específico, é um produto da sociedade que o fabricou.

Durante muito tempo o conceito de documentação arquitetônica esteve diretamente ligado ao conceito de cadastro/levantamentos, que compreende na representação gráfica das características físicas e geométricas da edificação, do terreno e dos elementos físicos presentes na área a ser levantada de forma rigorosa e detalhada (NOGUEIRA, 2010).

Segundo Oliveira (2008), o cadastro realizado de forma precisa é um instrumento imprescindível para diversas aplicações de uma edificação de interesse intelectual, além de possuir um valor simbólico, afetivo e documental. Esse cadastro serve de base para elaboração de projetos de intervenção, avaliação de deformações estruturais, degradações naturais e sua evolução histórica.

Para Oliveira (2008), o processo de aquisição de dados é um instrumento imprescindível para a execução de qualquer intervenção restaurativa sobre um monumento, representando, dessa forma, um ponto básico da Ciência da Conservação e da Restauração.

O levantamento cadastral não deve se encerrar ao levantamento rigoroso de suas geometrias, deve passar por atualizações a cada momento em que é encontrada uma informação nova, com sua localização exata afim de orientar as decisões futuras do projeto (OLIVEIRA, 2008).

O levantamento cadastral do patrimônio arquitetônico trata da caracterização geométrica de edificações e suas fachadas de forma a detalhar elementos que subsidiem o restauro e conservação das características originais ou a uma dada época. Vários autores (AMORIM, 2010; GROETELAARS, 2004; NOGUEIRA, 2010): listam diferentes produtos do levantamento arquitetônico dentre eles destacasse:

- Levantamento da Planta Base atualizada, contendo informações sobre medidas e nível das ruas, dos lotes, das quadras e das edificações estrutura viária;
- Modelo Digital do Terreno do sítio urbano;
- Modelos Geométricos Tridimensionais, volumétricos das edificações do conjunto e arredores;
- Modelos Geométricos Tridimensionais, detalhados, das edificações mais significativas;
- Ortofotos e fotos retificadas das fachadas das edificações;
- Restituições digitais (desenhos em formato vetorial) dessas fachadas;
- Cadastros digitais, (desenhos técnicos: plantas, cortes, fachadas e detalhes) em formato vetorial, das principais edificações;
- Plantas contendo informações de interesse turístico, patrimonial e ambiental sobre o sítio e seu entorno imediato;
- Panoramas internos e externos das edificações; e
- Filmagens do sítio urbano, das edificações e seu entorno, inclusive do próprio levantamento que poderão documentar o próprio momento do levantamento.

3 RPA (*REMOTELY PILOTED AIRCRAFT*)

Também referidas como VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) ou UAS (*Unmanned Aircraft System*) ou mesmo UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), têm nomenclatura oficial no Brasil de RPA, abreviatura para o Inglês *Remotely-Piloted Aircraft*, traduzido como Aeronave Remotamente Pilotada. Tal nomenclatura foi adotada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), seguindo orientação da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI). Também foi adotada a nomenclatura RPAS, abreviatura para o termo inglês *Remotely-Piloted Aircraft System*, traduzido para Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada, uma vez que tais equipamentos compõem um sistema, que compreende, além da aeronave propriamente dita, uma Estação de Pilotagem Remota, os necessários enlaces de Comando e Controle (*datalink*), sensores embarcados, equipamentos de lançamento e recuperação, e quaisquer outros elementos que podem, a qualquer momento, ser necessários à operação pretendida.

Por essa razão, o termo SISVANT (Sistema de Veículo Aéreo Não Tripulado), também foi adotado no Brasil.

3.1 Processo de Levantamento e Extração

O voo feito com o RPA foi conduzido a uma altura média de 50 metros, em 10 minutos de voo, com disparo de câmera a cada 2 segundos, sendo coletada uma média de 200 fotos, entre fotos verticais e oblíquas de 30°, conforme figura 2.

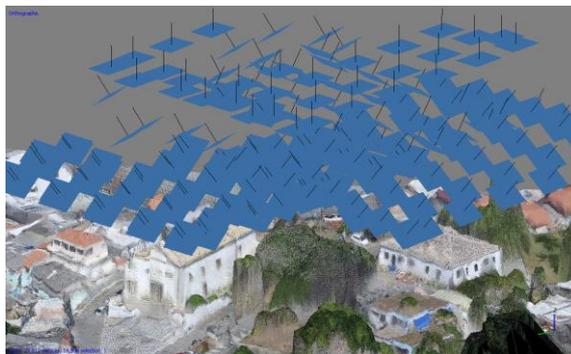


Fig. 2 Disposição das tomadas fotos para recobrimento da região de estudo
Fonte: Elaborado pelo autor

O RPA Phantom 3 é equipado com uma câmera de sensor Sony EXMOR de 1/2,3 polegadas com 12,3 MP de resolução, que faz par com uma lente de abertura f/2.8. O ISO máximo para fotos foi de 1.600. A velocidade do obturador foi de 1/8.000 de segundo, garantindo a captura de imagens “congeladas” até mesmo em objetos em movimento. Estava equipado com uma bateria de 4.480 mAh, com autonomia de aproximadamente 23 minutos.

Este RPA (Figura 3) é um sistema estruturalmente fabricado com plástico sólido de alta resistência e com peças metálicas parafusadas.



Fig. 3 RPA utilizado para levantamento
Fonte: Elaborado pelo autor

Para captação direta de imagens digitais usamos o termo GSD (Ground Sample Distance). O GSD representa o tamanho real, em unidades do terreno, que um determinado pixel representa em função da resolução de uma imagem. O GSD é diretamente relacionado com a altura da aeronave em relação ao solo, da distância focal da câmera e do tamanho do pixel no CCD, é possível verificar na figura 4.

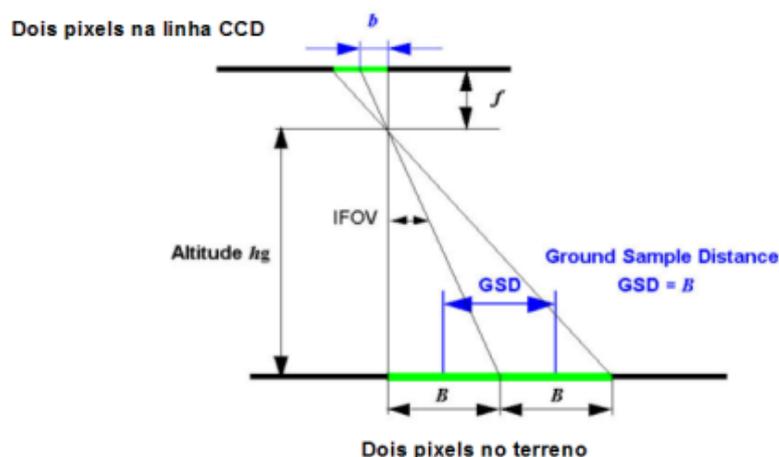


Fig.4 Ilustração demonstrando os parâmetros utilizados para cálculo do GSD.
Fonte: Elaborado pelo autor

Os principais parâmetros utilizados para cálculo do GSD são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 Parâmetros do voo

Parâmetro		Descrição
b	0,156	= Tamanho do pixel no CCD (μm)
f	3,61	= Distância focal da câmera (mm)
H	70,0	= Altura de voo (m)
imW	4000	= Largura da imagem (pixels)
imH	3000	= Altura da imagem (pixels)
GSD	3,160665	= Ground Sampling Distance (cm)

Fonte: Elaborado pelo autor

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Neste estudo foram utilizados:

- RPA DJI phantom 3: utilizado para obtenção das imagens da área;
- Um receptor GNSS Ashtech ProMark 120, um bipé, um bastão e uma trena de 3 metros;
- Software Topcon Tools v.7.5.1: software de pós-processamento onde foi executado o transportes de coordenadas dos pontos de controle;
- Software Agisoft PhotoScan 1.2.3: para processamento de imagens provenientes do Drone para gerar o modelo tridimensional (3D). Neste momento foi inserida as coordenadas dos pontos de controle, para processar as imagens.

4.2 Métodos

A metodologia empregada para a execução deste trabalho encontra-se descrita no organograma da Figura 5. No estudo preliminar foram realizadas visitas de reconhecimento para identificação de obstáculos, obstruções e local adequado para decolagem. Também

nesta fase foram escolhidos os locais dos pontos de controle. Após essa etapa, foi realizado o plano de voo, seguido da aquisição das imagens com voo único. Em laboratório foi realizado o processamento dos pontos através do software Agisoft PhotoScan 1.2.3.

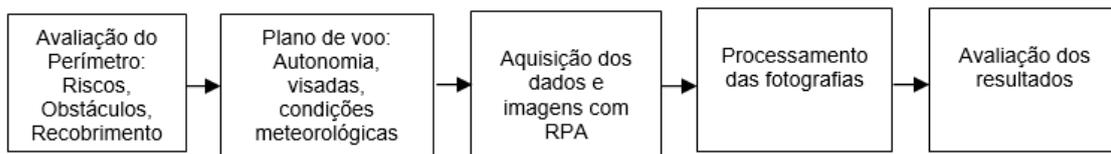


Fig.5 Organograma dos métodos empregados no presente trabalho
Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.1 Pontos de Controle

O Vant utilizado no levantamento possui em seu sistema embarcado um receptor GNSS de navegação, que é responsável por executar a missão programada em escritório e gravar a posição onde cada imagem foi tomada. Porém, a precisão de um receptor GNSS de navegação fica em torno de 5 a 10 metros, isso significa que um ponto coletado por este receptor, quando verificado no terreno, pode estar em um raio de 5 a 10 metros, ou seja, ele possui um erro de 5 a 10 metros em relação ao terreno. Dessa forma, foram utilizados pontos de controle, com o objetivo de aumentar a acurácia do mapeamento.

Para os pontos de controle além dos pontos pré-sinalizados foram escolhidos detalhes que estariam visíveis na imagem como no terreno, como por exemplo o canto de uma faixa de estacionamento, o canto de uma esquina, enfim, intersecções visíveis. Com isso o projeto ganhou uma velocidade maior em sua execução, já que é possível iniciar a coleta dos pontos de controle com grande antecedência ao voo ou até após a execução do voo, já que estes alvos naturais, de antemão, não serão removidos do solo.

Com os valores das coordenadas dos pontos de controle, foi utilizado o software de pós-processamento Agisoft PhotoScan para encontrar os alvos nas imagens e introduzir as coordenadas dos alvos coletadas em campo com receptor GNSS. O software utiliza estas coordenadas como referência em sua aerotriangulação, com isso ele transporta estas coordenadas para o restante dos pixels na imagem fazendo assim o que conhecemos como georreferenciamento, cada pixel da imagem terá sua coordenada estabelecida.

Na figura 6 é possível identificar um dos pontos de controle utilizado no estudo.



Fig. 6 Identificação de um ponto de controle (vista superior e vista frontal)
Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2 Imageamento embarcado em RPA

O imageamento com RPA tem algumas características distintas da fotogrametria aerotransportada tradicional seja pelo uso de cameras não métricas sejam pelos algoritmos empregados no processamento dos dados gerados. As sobreposições longitudinais e laterais são bem superiores em geral valores mínimos empregados estão em 60% e 40% respectivamente em recobrimentos paralelos, isso porquê essa sobreposição é necessária para criar gradientes que indicam a direção do movimento relativo dos alvos na detecção automática de pontos. Para melhores resultados na aquisição o sensor deve ter resoluções superiores a 12MP, velocidade de disparo superior a 1/1000, balanço de branco e deve-se monitorar as quantidades de luz solar e nebulosidade para que se tenham condições homogêneas durante o recobrimento. São importantes para um recobrimento mais eficiente monitorar condições de vento e tempestades eletromagnéticas. Um último fator diz respeito a altitude e o padrão imageado, caso não existam feições no terreno suficientes para uma distribuição homogênea de pontos identificados automaticamente é indicado o uso de marcas presinalizadas a fim de criar artificialmente detalhes pela área a ser imageada.

Uma boa prática é a definição do plano de voo em escritório tendo em vista um reconhecimento prévio de obstáculos e riscos na região a ser recoberta. São necessárias identificação de áreas propícias a pouso e decolagem do RPA, posicionamento do operador para uma operação em linha de visada visual, comunicação dos horários da operação para pessoal exposto ao risco de queda.

Para o imageamento deste estudo foram tomadas fotos verticais e oblíquas de 30 graus.

4.2.3 Processamento de modelos digitais

A primeira etapa correspondeu a seleção e a filtragem das fotografias. A seleção foi realizada manualmente, antes das fotografias serem adicionadas à ferramenta computacional, excluindo aquelas que apresentaram problemas de qualidade decorrentes da inclinação da aeronave no momento da tomada da fotografia (fotografias inclinadas); da variação da altitude do drone entre tomadas consecutivas (escala); e da deriva da mesma provocada pelo vento (arrasto). No processamento seguem-se as etapas de alinhamento das tomadas, otimização do alinhamento, construção de uma nuvem densa de pontos, construção de um modelo poligonal de interpolação (*poligonal mesh model*), edição da geometria, construção de modelo digital de elevação, texturização e ortomosaico.

No alinhamento das tomadas são detectados pontos homólogos entre as regiões de sobreposição das imagens criando uma nuvem esparça de pontos e estimada a posição de cada tomada do recobrimento da área. Os parâmetros utilizados nesse estágio são grau de acurácia na definição dos pontos homólogos, modo de seleção de pares (para os casos de se ter ou não posições aproximadas nas tomadas) e quantidade limite de pontos candidatos ou chave e de ligação de faixas. O limite de pontos candidatos indica quão fina será a varredura na imagem para busca de pontos individualizados que serão utilizados como candidatos para pontos homólogos nos modelos e entre faixas do bloco de recobrimento.

A construção da nuvem densa de pontos, mostrada na figura 7, é a etapa de densificação dos pontos fotogramétricos onde são refinados os parâmetros de posição da camera no instante da tomada de cada imagem e são calculados a partir da nuvem esparça uma nuvem densa de pontos. Nessa etapa pode-se lançar mão da identificação de pontos de apoio com coordenadas conhecidas eles auxiliam o refinamento do georreferenciamento do bloco de recobrimento, são parâmetros do algoritmo a definição fina ou grosseira da nuvem e o filtro de profundidade que faz menção a capacidade de identificação de padrões mais complexos intra texturizados.



Fig. 7 Nuvem densa de pontos editada com a retirada de vegetação
Fonte: Elaborado pelo autor

A formação do modelo poligonal de interpolação diz respeito a operação que constrói a geometria da superfície baseado na construção de faces a partir dos pontos da nuvem densa. Esse modelo pode ser editado excluindo faces criadas equivocadamente e preenchendo buracos derivados da oclusão de detalhes ou da retirada de obstáculos.

O Modelo digital de elevação pode ser criado do modelo poligonal de interpolação ou diretamente da nuvem densa de pontos para exportação, ele também pode ser texturizado com base no imageamento original ou no ortomosaico derivado da ortoretificação do recobrimento do bloco, como observado na figura 8. A ortofoto na figura 9 pode ser utilizada na vetorização de elementos do entorno do conjunto.



Fig. 8 Perspectivas de 30 graus do MDE texturizado do conjunto Santuário São Lázaro e Casarão Lazareto
Fonte: Elaborado pelo autor



**Fig. 9 Ortofoto gerada a partir de imageamento RPA do conjunto Santuário de São Lazaro e Casarão Lazareto.
Fonte: Elaborado pelo autor**

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho mostra o emprego do RPA no auxílio ao levantamento de um modelo geométrico tridimensional de edificações. Sendo estes os primeiros resultados do estudo que se propõe a avaliar a iteração e compatibilização destes dados com outras técnicas tradicionais. O modelo ainda demanda edição fina para que se melhorem o detalhamento das fachadas, tanto da filtragem e classificação da nuvem de pontos densa como na edição do modelo poligonal de interpolação. Uma prerrogativa importante que deve ser melhor estudada é o detalhamento pode ser realizado com levantamentos fotogramétricos terrestres que complementaríamos o recobrimento aéreo. Técnicas de levantamento de vértices por

topografia também podem auxiliar num melhor dimensionamento e verificação de resultado das nuvens de pontos resultantes da interpolação das imagens.

Devem-se padronizar e aperfeiçoar praticas ligadas a edição fina do modelo poligonal de interpolação (*poligonal mesh model*) afim suprimir ao máximo inconsistências na superfície modelada.

O trabalho aponta para a necessidade de melhoria na pré-sinalização utilizada que pode ser identificada, mas seu centro não é definido com a eficácia desejada. A bibliografia aponta uma série de alternativas que devem ser desenvolvidas em experimentos futuros.

6 REFERÊNCIAS

AMORIM, Arivaldo L. **Patrimônio virtual e história digital: essência e representação.** Anais ENANPARQ, Rio de Janeiro:2010.

GROETELAARS, N. J. **Um estudo da Fotogrametria Digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas.** 2004. 257 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Bahia, 2004.

MOREIRA, L. C. S. **Patrimônio Cultural e Tecnologias de Informação e Comunicação: estudo de caso em Lençóis, na Bahia.** 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

NOGUEIRA, Fabiano Mikalauskas de Souza. **A representação de sítios históricos: Documentação arquitetônica digital.** 2010. 215 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

NETO, Manoel Silva. **Planejamento de voo: tudo o que você precisa saber.** Droneng, 2015. Disponível em: <http://droneng.com.br/planejamento-de-voo/>. Acesso em 20/04/2016.

OLIVEIRA, Mário Mendonça de. **A Documentação como Ferramenta de Preservação da Memória: Cadastro, Fotografia, Fotogrametria e Arqueologia.** Brasília: IPHAN / Programa Monumenta, 2008. 144 p.

IPHAN. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/218>. Acesso em 27/04/2016.

VITÓRIO, A. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia.** IBAPE, Recife: 2003.

FGM-Fundação Gregório de Matos. **Igrejas e Religiosidade.** FGM, Salvador:1994.