

## AEROFOTOGRAMETRIA DE BAIXA ALTITUDE NO MAPEAMENTO DO FORTE CASTELO DO MAR E QUARTEL VELHO – CABO DE SANTO AGOSTINHO – PE

### LOW ALTITUDE AEROPHOTOGRAMMETRY MAPPING OF THE CASTELO DO MAR FORT AND QUARTEL VELHO - CABO DE SANTO AGOSTINHO - PE

Carolina Pereira<sup>i</sup>

Demétrio Mutzenberg<sup>ii</sup>

**Resumo:** O uso de informações obtidas pelos produtos do sensoriamento remoto é amplamente aceito e aplicado em estudos arqueológicos sendo, muitas vezes, sinônimo para a aerofotogrametria e fotointerpretação. Como nova ferramenta para se obter dados aerofotogramétricos, os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) estão sendo utilizados em diversos tipos de pesquisas. Neste trabalho foram aplicados os conhecimentos e técnicas da aerofotogrametria associados ao uso de VANTs no mapeamento de feições morfológicas em uma pequena porção do Granito do Cabo evidenciando, prioritariamente, as áreas com as estruturas do Forte Castelo do Mar e Quartel Velho, ambas construções datadas do século XVII, que fazem parte do Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti (PMAHC), no município de Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco. **Palavras-Chave:** Sensoriamento Remoto; Aerofotogrametria; VANT.

**Abstract:** The use of information obtained from remote sensing products is widely accepted and applied in archaeological studies and is often synonymous with aerophotogrammetry and photointerpretation. As a new tool to obtain aerophotogrammetric data, we have the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), that are being used in several types of current work. In this work, we applied the knowledge and techniques of aerophotogrammetry associated with the use of UAVs in the mapping of morphological features in a small portion of the Cabo's granite showing, mainly, the areas with the structures of Castelo do Mar Fort and Quartel Velho, both buildings dating from 17th century, which are part of the Armando de Holanda Cavalcanti Metropolitan Park in the city of Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco. **Keywords:** Remote Sensing; Aerophotogrammetry; UAV.

---

<sup>i</sup>Discente, Departamento de Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE.

<sup>ii</sup>Docente, Departamento de Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

## Introdução

O uso de informações obtidas com os produtos do sensoriamento remoto é amplamente aceito e aplicado em estudos arqueológicos e documentações, entretanto como Waagen (2019) apontou, na parte de documentação arqueológica, os croquis, desenhos técnicos e fotografias de campo são as principais formas de registrar as atividades, sendo pouco visto o uso de outras formas de documentar a dinâmica da escavação. O autor também aborda a questão da perda de informações ao se passar dados tridimensionais para bidimensionais, como no caso de croquis, onde a informação estará sujeita a interpretação de quem o desenhou. Campana (2014) toca nesse assunto, mas com a perspectiva de que os produtos de sensoriamento ou fotogrametria são representações, portanto não devem ser tomados como verdades absolutas ou representações do físico.

Muitos autores pontuam o sensoriamento remoto como sendo uma técnica não invasiva de documentação, um modo complementar na aquisição de dados. Assim, definido como sendo uma ciência que auxilia na obtenção de dados de um objeto, área e/ou fenômeno, constantemente relacionada às ciências geodésicas, cartografia, engenharias, arqueologia, dentre outras (Lambers, 2018). As primeiras plataformas para a obtenção de imagens aéreas se deram por meio de balões, pipas e dirigíveis com câmeras acopladas, tendo evoluído conforme as inovações tecnológicas.

As principais vantagens dessa técnica para os estudos arqueológicos é que possibilita a documentação e registro de objetos fragilizados e/ou os que poderiam se tornar frágeis ao serem manipulados, como também cria a possibilidade de registrar o sítio arqueológico em sua totalidade e poder divulgar as pesquisas referentes aos mesmos de uma forma mais fácil e didática sem danos ao patrimônio. Outra vantagem associada a isso é a perspectiva criada a partir da visão aérea útil na compreensão dos sítios arqueológicos e seus entornos e paisagem, como possibilitar uma interpretação panorâmica do objeto inserido (Lambers, 2018). Desse modo, o sensoriamento remoto é tido como o alicerce da aerofotogrametria e da interpretação de imagens (fotointerpretação), muitas vezes sendo usado como sinônimo para elas.

A mais recente inovação tecnológica foi com a utilização de *drones*, também referidos como VANTs – Veículos Aéreos Não Tripulados, facilitando a fotogrametria em escalas maiores a 1:25.000 e expandindo o mercado consumidor que antes era restrito a órgãos públicos e empresas de grande porte.

Eisenbeiss (2009), mostra-se totalmente a favor da utilização de VANTs para obter dados tridimensionais, não apenas pelo custo-benefício, mas por ser um grande incentivo à forma de documentação 3D que auxilia na preservação do patrimônio cultural, no registro de dados cadastrais e do meio ambiente, assim como no fornecimento de dados detalhados das áreas trabalhadas. Seitz (2018), em parte de seu trabalho, aponta as dificuldades de se fazer o escaneamento e fotogrametria terrestre devido a áreas de difícil acesso que possam colocar tanto o equipamento como a segurança do pesquisador em risco. Então um trabalho combinando técnicas e métodos seria o ideal nesses casos para obtenção dos dados, salvaguardando a integridade da equipe.

Segundo Sabina et al. (2015), outro ponto que se destaca como diferencial no uso de VANTs é sua precisão nos dados, seguido de seu baixo custo, o que permite uma melhor gestão digital dos resultados. Sabina também aponta que o uso dessa tecnologia se enquadra e auxilia em trabalhos de arqueologia urbana, na localização de estruturas como também em trabalhos de arqueologia territorial. Checa, Morales & Hernández (2014) apontam o uso desse método como indicado para o levantamento e documentação espacial arquitetônica e arqueológica mediante a fotogrametria e fotografia aérea.

### **Breve Contexto Histórico-Cultural**

Dentro do sistema de capitanias, a Capitania de Pernambuco se destacou por seus recursos na produção de cana de açúcar. Devido às circunstâncias e ao desenvolvimento dos engenhos, surgiu a necessidade de se ter portos nas imediações próximas aos agrupamentos de engenhos. O fator econômico foi um dos motivos para que se construíssem fortificações na região do Cabo de Santo Agostinho (Mello Neto, 1981).

A primeira estrutura de defesa que se tem registro foi construída na entrada da barra, em 1631. Foi erguida uma bateria aberta na parte de trás, que dá acesso à terra. Em 1632 foi erguido o Forte de Nazaré e outras baterias a oeste-sudoeste, denominadas São Jorge, e nordeste, em Calhetas. Em 1633 iniciou a construção do Forte do Pontal, na baía de Suape, sendo concluída posteriormente pelos neerlandeses, passando a se chamar *Forte Van der Dussen* (Mello Neto, 1981).

Em 1632 ocorreu a primeira investida dos neerlandeses ao Cabo, que tentaram entrar por Calhetas, sendo uma tentativa falha devido à falta de conhecimentos geográficos da região, o

que favoreceu os luso-brasileiros. Com essa primeira tentativa de invasão se intensificou a construção e aprimoramento das fortificações para assegurar a integridade do local (Coelho, 1980 apud Rocha, 2017). Mesmo com todas as preparações feitas, em uma segunda investida ao local, suas defesas foram quebradas (Figura 1).



Figura 1: Registro neerlandês do Cabo de Santo Agostinho e suas defesas de 1634. Fonte: Stadsarchief en Athenaeumbibliotheek Deventer.

O Castelo do Mar, como é popularmente conhecido na atualidade, também é referido em algumas iconografias e registros históricos como *Castrum Maritimus*, *Water Kasteel*, *Castello Maritimo*, Forte do Pontal de Nazaré e Reduto Da Barra de Nossa Senhora de Nazaré, sendo que alguns autores o consideram sendo o Forte de Nossa Senhora de Nazaré/Forte de Nazaré. Entretanto, essa nomenclatura é tida como errônea devido às características descritivas de ambas as fortificações (Albuquerque, 1999; Faria 2011; Rocha, 2017).

O Forte Castelo do Mar é uma bateria localizada no promontório rochoso do Cabo, erguida em 1631, em forma poligonal e atalhadada (Figura 2) (Mello Neto, 1981). Essa bateria tinha como

finalidade defender a entrada de embarcações no porto de Nazaré, sendo muito eficiente para impedir a aproximação de naus, tendo uma defesa ativa, sem espaço para cômodos como alojamento ou depósito de mantimentos, esses estavam destinados ao quartel erguido mais acima, nas proximidades.

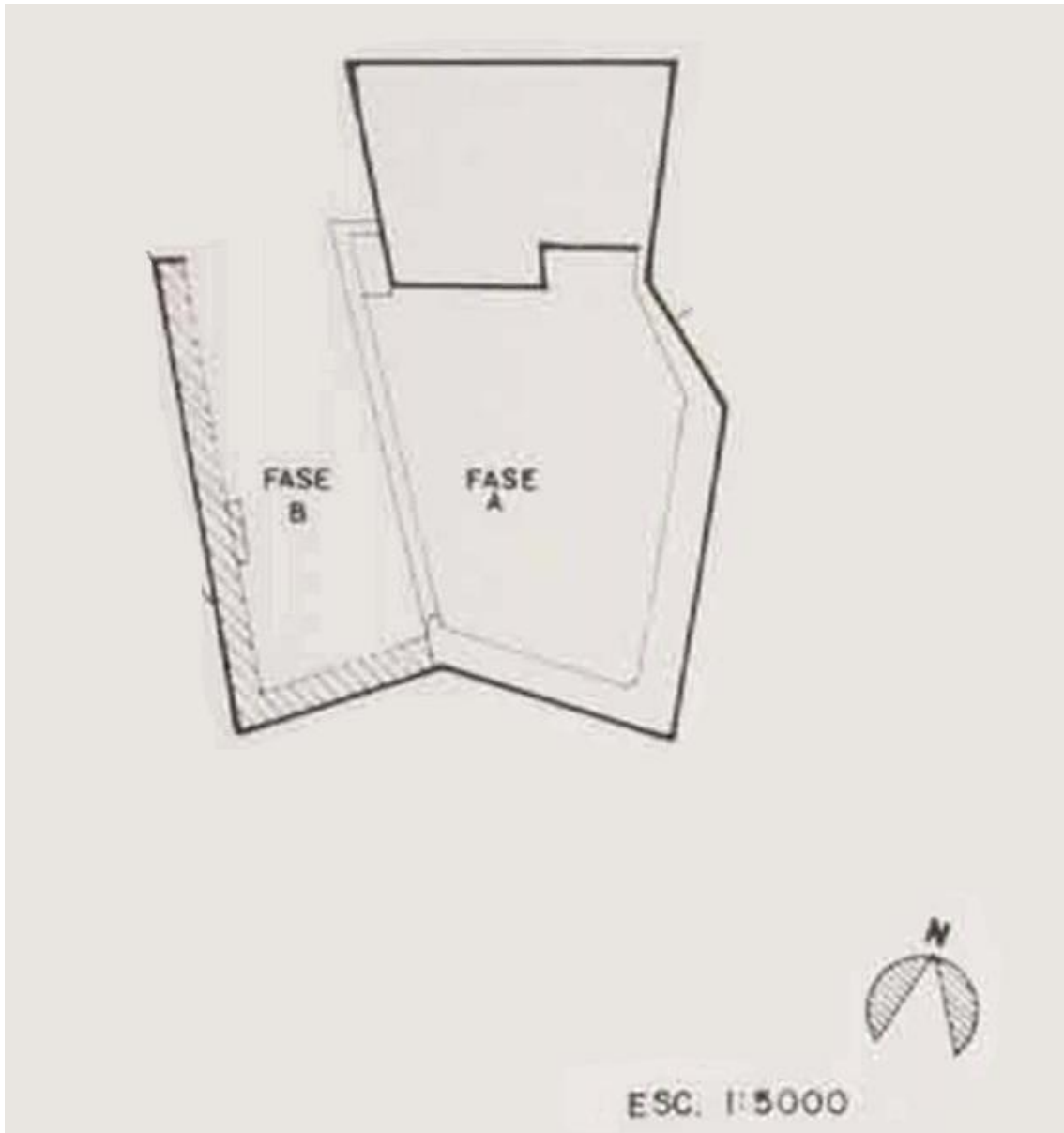


Figura 2: Planta baixa do Forte Castelo do Mar com seus dois terraplanos. Fonte: Mello Neto, 1981.

O Quartel Velho, que já foi conhecido como Quartel do Forte de Nazaré e Quartel da Barra de Nazaré, está vinculado com o “Reduto da Barra de Nossa Senhora de Nazaré”, atual Castelo do Mar. Sua construção data da primeira metade do século XVII, localizado no alto do morro próximo ao Forte Castelo do Mar, tendo uma visão ampla e estratégica (Mello Neto, 1981).



Como em qualquer construção, houve períodos de intenso uso do local, como também os de pouco uso, mas foi em 1887 que foi totalmente abandonado, passando pelo processo de ruína devido à ação do tempo e avanço da vegetação que retomou seu lugar (Mello Neto, 1981).

A modificação mais recente registrada em ambas as ruínas data do período da II Guerra Mundial, referente a um piso de tijoleira retangular presente nos cômodos. Já no interior da casa de pólvora, foi colocado um piso de tijoleira no nível das soleiras, o mesmo piso encontrado no Forte Castelo do Mar (Mello Neto, 1981).

### Metodologia

Como referencial metodológico para esse trabalho foram utilizados alguns trabalhos realizados com semelhantes abordagens citadas anteriormente entre outros que podem ser mais aprofundadas em Silva (2019).

Para desenvolver esse trabalho foi utilizada a fotografia aérea de baixa altitude nos monumentos históricos, Forte Castelo do Mar e Quartel Velho, localizados na base do Granito do Cabo, próximos a Vila de Nazaré no Cabo de Santo Agostinho (Figura 3).

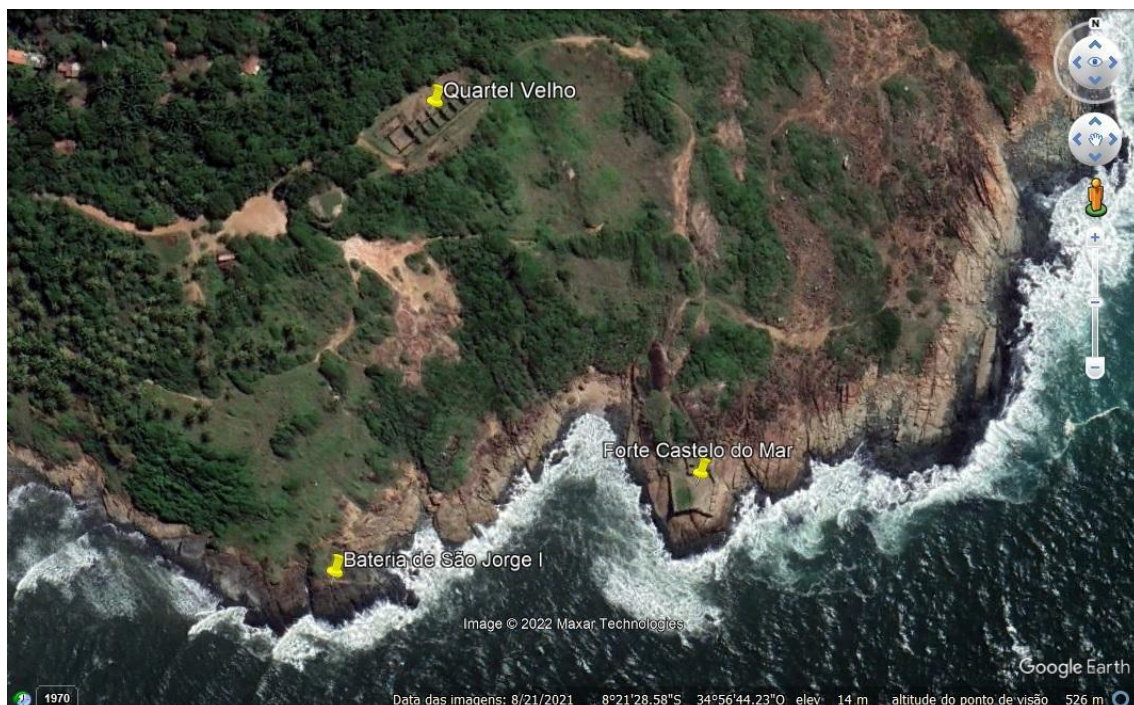


Figura 3: Localização das edificações. Fonte: Google Earth, 2022.

Para isso, foi utilizado um VANT da marca *DJI* modelo *Mavic 2 Pro* (Figura 4) com as seguintes especificações: câmera de 20MP, lente FOV 28mm (equivalente a uma lente de 35mm) com distância focal de 2.8 e estabilizador de imagem. Na parte que diz respeito aos aplicativos e softwares, foram utilizados os seguintes produtos: *Drone Deploy*, *DJI GO* e *Agisoft PhotoScan*. Para a criação do Sistema de Informações Geográficas e a elaboração de mapas, foi utilizado o software livre e de código aberto *Quantum Gis*.



Figura 4: VANT utilizado para realização das imagens. Fonte: GEAGT-UFPE, 2022.

Em uma simulação pelo aplicativo *Drone Deploy* (Figura 5), com as coordenadas retiradas do *Google Earth*, foi estipulada a área a ser trabalhada e realizado o planejamento de voo para a realização dos modelos com uma boa qualidade dos produtos finais. Dois voos programados foram realizados: o primeiro com 60m de altura em 26 faixas de voo, que abrange a maior porção de área, totalizando 966 fotografias; e o segundo voo com uma altitude de 30m, com 16 faixas de voo na área em que o forte está localizado e com fotos oblíquas para o registro de detalhes para a criação do modelo tridimensional, com 436 fotografias registradas, totalizando assim 1402 imagens.

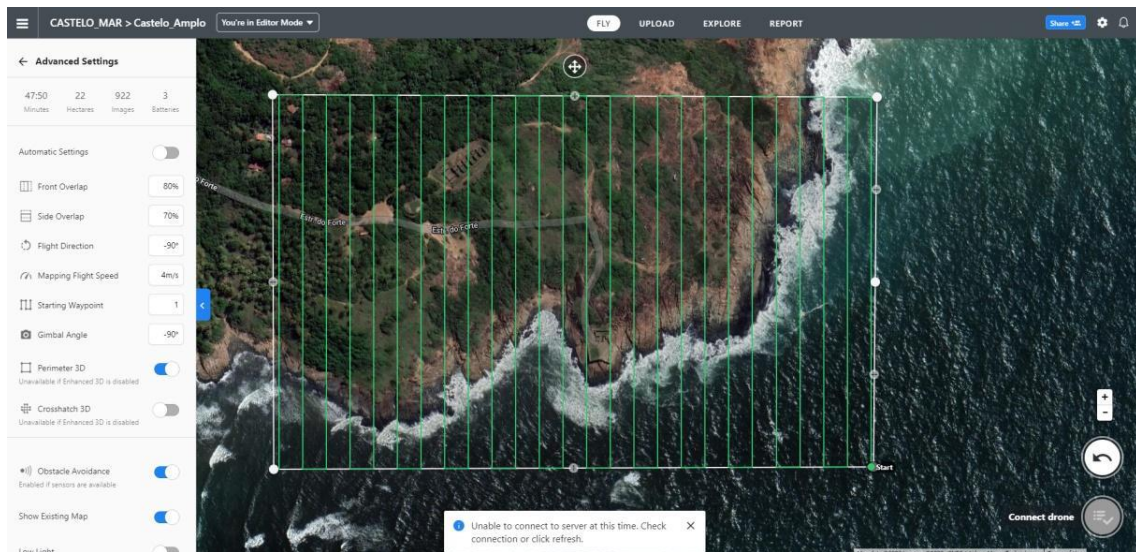


Figura 5: Plano de voo abrangendo a área maior. Fonte: GEAGT-UFPE, 2022.

O processamento de dados se deu com auxílio do programa *PhotoScan da Agisoft*, trata-se de um *software* de processamento e modelagem de imagens em três dimensões. O próprio programa induz o pesquisador em um fluxo de trabalho (Figura 6) de modo simples, objetivo e de fácil manuseio. Para cada modelo foram selecionadas e carregadas as fotos (Figura 7). Depois dos modelos criados, foram obtidos os produtos MDTs (Modelos Digitais de Terreno), MDSs (Modelos Digitais de Superfície) e ortomosaicos das duas áreas mapeadas.

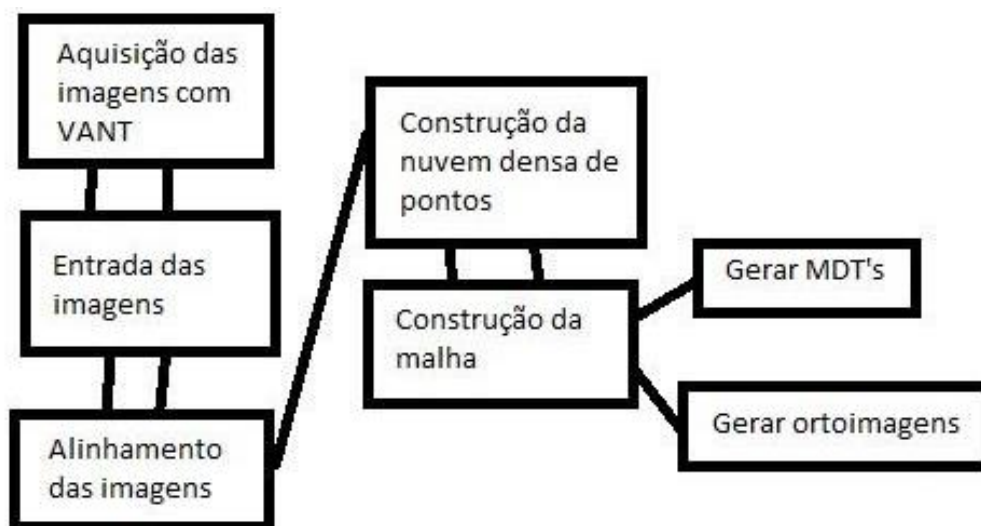


Figura 6: *Workflow* realizado pelo programa *PhotoScan*. Fonte: Silva, 2022.



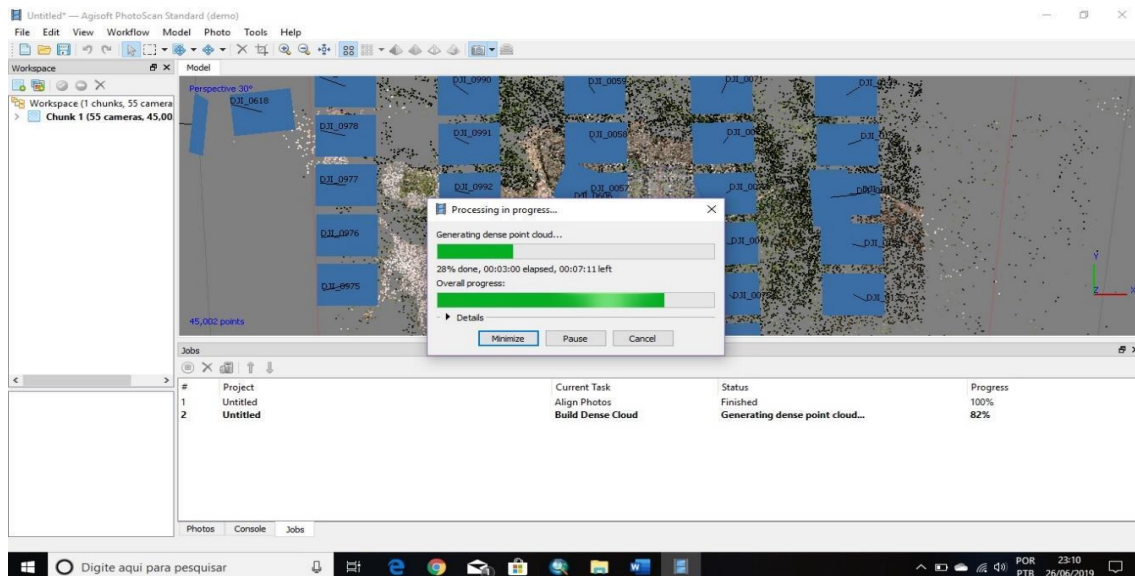


Figura 7: Criação do modelo no Agisoft PhotoScan. Fonte: GEAGT-UFPE, 2019.



Figura 8: Plotagem dos pontos com os alvos cerâmicos, Fonte: Siqueira, 2022.

Para complementar a aquisição de dados foi utilizado um receptor GNSS RTK de base fixa, localizada no Instituto Federal de Pernambuco (IFPE). A base estava aproximadamente 50 km de distância do receptor, o que correspondeu a um erro médio de 1,5cm na precisão de suas medições e manteve-se à altura de 2,00m na haste do receptor GNSS rover. Vinte placas cerâmicas foram posicionadas para servirem como pontos de controle para o mapeamento (Figura 8) em 10 pontos, assim permitindo ancorar os pontos com as fotografias aéreas tomadas com o VANT e georreferenciar o modelo, sendo ainda tomados alguns pontos diretamente sobre as estruturas como marcos construídas (Figura 9).



Figura 9: Plotagem do ponto A sem alvo, porém, utilizando-se da própria estrutura presente na fortificação. Fonte: Siqueira, 2022.

Em campo foram plotados ao total 12 pontos georreferenciados, tendo a sua concentração maior nas áreas próximas às estruturas do Forte do Mar, mas também se preocupando em tomar medidas amplas para contemplar a área do seu entorno imediato (Figura 10).



Figura 10: Pontos de controle plotados com o auxílio de receptor GNSS RTK. Fonte: Silva, 2022.

## Resultados

É possível observar a comunicação dos objetos com o meio em que estão inseridos, entendendo suas feições morfológicas e seus pontos referenciais. Os produtos apresentam ricos níveis de



detalhes (Figura 11 e 12) em uma escala maior se comparado em relação à escala de satélites ou fontes cartográficas. Em relação ao custo-benefício, as imagens são de alta qualidade e entre as plataformas disponíveis para o mesmo trabalho é a que mais demonstra praticidade, tempo hábil e custo acessível, visto que em 4h de trabalho *in situ* se conseguiu dados satisfatórios e passíveis de serem trabalhados posteriormente, e com diversas abordagens teóricas, sem o esgotamento físico do local.



Figura 11: Ortofoto da área sobrevoada com VANT referente ao Forte Castelo do Mar, com detalhe em uma área escolhida que abrange parte da muralha e o piso. Fonte: GEAGT-UFPE, 2019.



Figura 12: Detalhe da área destacada na figura 11, exibindo o piso em parte do pátio. Fonte: GEAGT-UFPE, 2019.

Foram criados três mapas na escala de 1:1000 da área do entorno do Forte Castelo do Mar e do Quartel Velho: um apresentando o Modelo Digital de Superfície (MDS) (Figura 13), outro o Modelo Digital de Terreno (MDT), no qual toda a vegetação é suprimida (Figura 14) e outro apresentando o Ortomosaico (Figura 15). As resoluções das imagens matriciais foram de 10,6 cm para o MDS e MDT e 2,66 cm para o Ortomosaico.

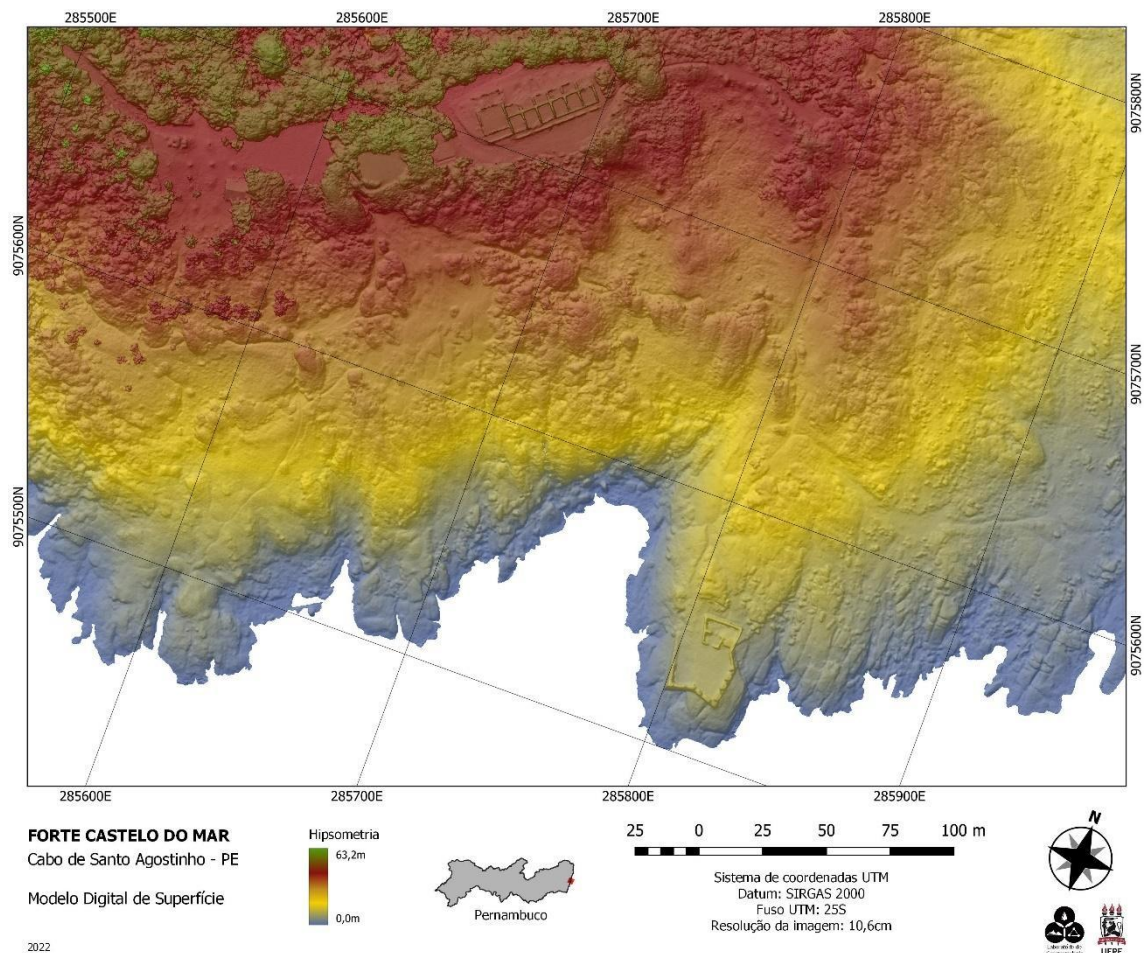


Figura 13: Modelo Digital de Superfície das áreas que englobam o Forte Castelo do Mar, Quartel Velho e Bateria de São Jorge. Fonte: GEAGT-UFPE, 2019.



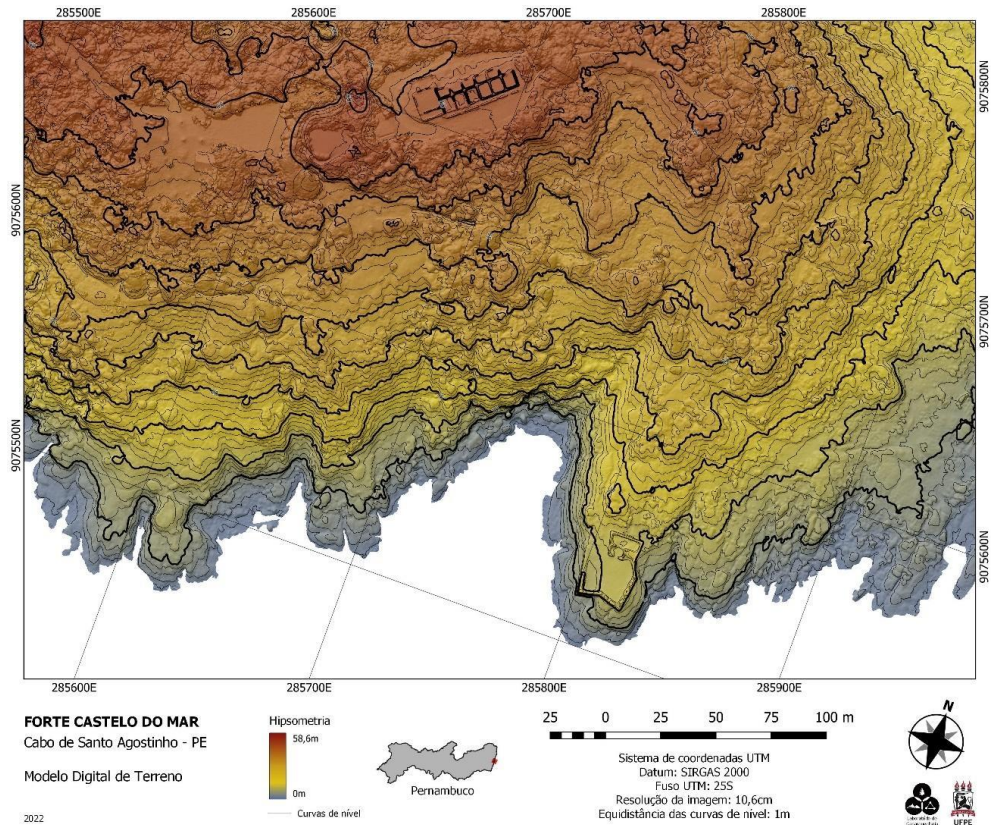


Figura 14: Modelo Digital de Terreno com vegetação suprimida. Fonte: GEAGT-UFPE, 2019.

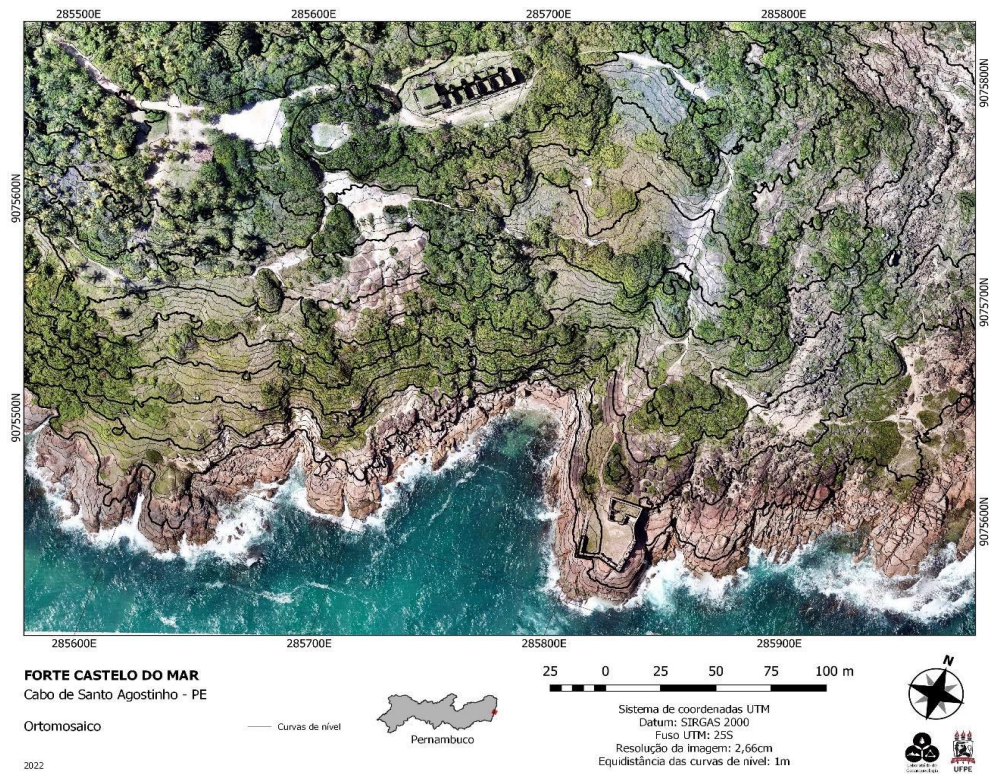


Figura 15: Ortomosaico da área em que se destacam o Quartel Velho e Forte Castelo do Mar. Fonte: GEAGT-UFPE, 2019.



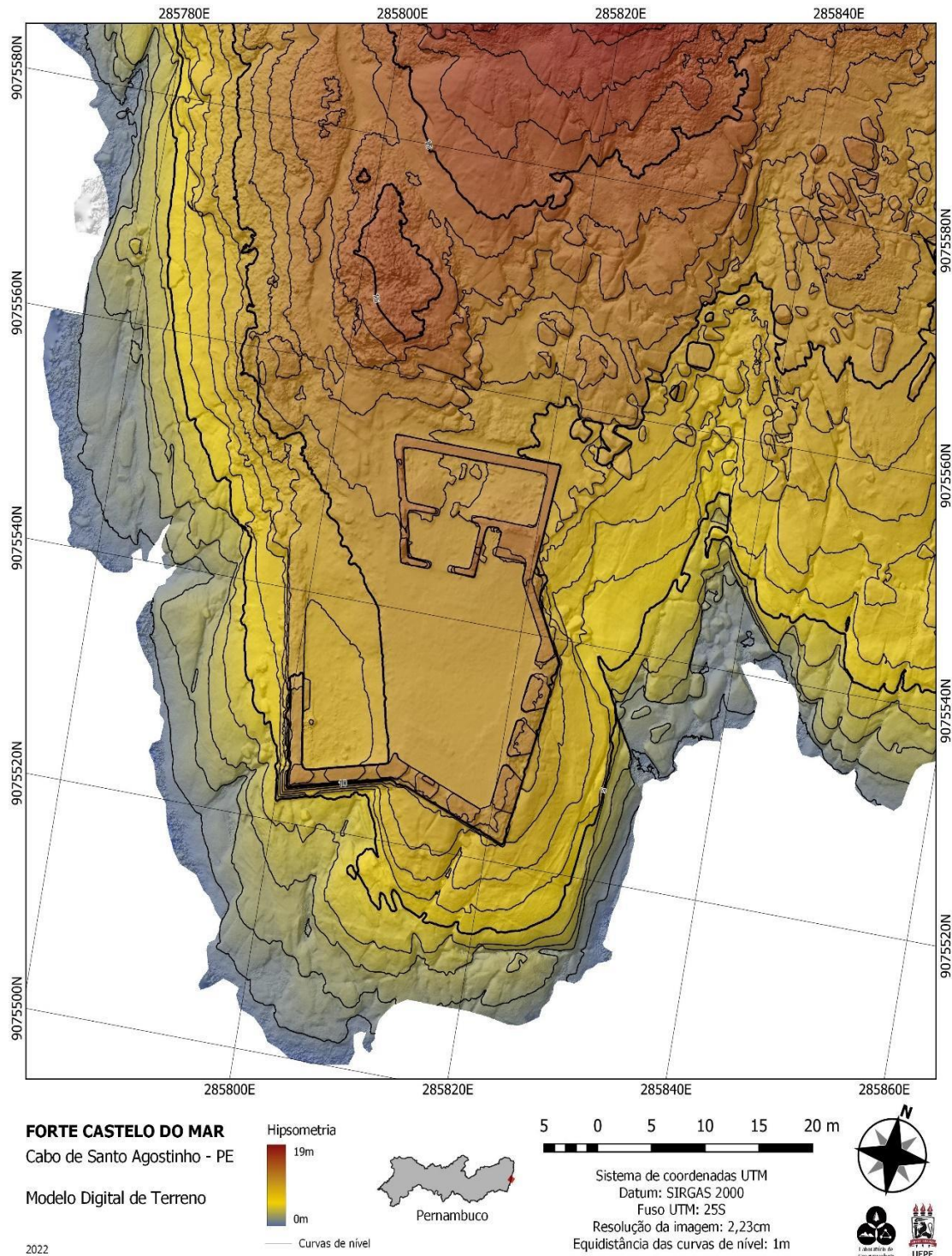


Figura 16: Modelo Digital de Terreno para detalhes do Forte Castelo do Mar. Fonte: GEAGT-UFPE, 2022.

Dois mapas adicionais de detalhe foram elaborados na escala de 1:400 do Forte Castelo do Mar, também apresentando o MDT (Figura 16) e o Ortomosaico (Figura 17). Esses mapas serviram como base para o mapeamento dos problemas de conservação do sítio arqueológico no trabalho



de Silva (2019). As resoluções das imagens matriciais foram de 2,23 cm para o MDS e MDT e 1,12 cm para o Ortomosaico.

Foram tiradas várias fotografias aéreas do entorno do Forte Castelo do Mar, propiciando uma ótima forma de contextualizar o sítio em relação ao seu entorno e sua localização visando à defesa da costa (Figura 18).



Figura 17: Ortomosaico para a área de detalhe do Forte Castelo do Mar. Fonte: GEAGT-UFPE, 2022.





Figura 18: Fotografia aérea oblíqua mostrando o Forte e seu contexto. Fonte: Mutzenberg, 2019.

### Considerações

Por meio da aerofotogrametria foi possível realizar um mapeamento detalhado das áreas e do entorno das construções, possibilitando a visualização e interpretação dos contextos com uma maior riqueza de detalhes, minimizando erros e dando uma visão dinâmica para os fenômenos que estão em comunicação com os objetos e a paisagem, possibilitando o desenvolvimento de trabalhos futuros em amplas áreas de atuação.

Este trabalho também permite uma abertura para a utilização de ferramentas funcionais para realização de pesquisas envolvidas com mapeamento de sítios, registros e documentação imagética de alta resolução de patrimônios edificados, acompanhamento e atualização do estado de conservação.

Com o emprego de mais técnicas do sensoriamento remoto é possível obter uma precisão com margem de erro na casa dos centímetros ou, até mesmo, o uso da fotogrametria no auxílio da conservação patrimonial.



## Referências

- ALBUQUERQUE, M; LUCENA, V; WALMSLEY, D. 1999. Fortes de Pernambuco. Recife: Graftorre.
- CAMPANA, S. 2014. 3D modeling in archaeology and cultural heritage – Theory and best practice. In: REMONDINO, F; CAMPANA, S. 3D Recording Modelling in Archaeology and Cultural Heritage – Theory and Best Practices. p. 07-12.
- CHECA, Z. P; MORALES, A. F; HERNÁNDEZ, L. A. 2014. Combinación de fotogrametría terrestre y aérea de bajo coste: el levantamiento tridimensional de la iglesia de San Miguel de Ágreda (Soria). In: V.A.R., Espanha, v.5 n.10. maio.
- EISENBEISS H. 2009. UAV photogrammetry. Dissertação (Doutorado em Ciências) ETH: Zurich.
- FARIA, M. D. 2011. Catálogo da Coleção Cartográfica e Iconográfica Manuscrita do Arquivo Histórico Ultramarino. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins.
- LAMBERS, K. 2018. Airborne and Spaceborne: Remote Sensing and Digital Image Analysis. In: SIART, C., FORBRIGER, M., BUBENZER, O. (eds) Digital Geoarchaeology. Natural Science in Archaeology. Ed. Springer. Cap. 07. p. 109-122.
- MELLO NETO, U. P. 1981. Cabo de Santo Agostinho e Baía de Suape. In. Revista do Instituto Arqueológico, Histórico e Geográfico Pernambucano, v. LIII, n. 53. Recife: CEPE. p. 31- 112.
- ROCHA, L. A. 2017. Preservação, Patrimônio e Arqueologia: O Forte Real de Nossa Senhora de Nazaré, uma fortificação seiscentista, Pernambuco, Brasil. 2017. Graduação (Graduação em Arqueologia) UFPE.
- SABINA, J.A.R. et al. 2015. Fotogrametria aérea por drone em yacimientos com grandes estructuras. Propuesta metodológica y aplicación práctica en los castillos medievales del campo de Montiel. V.A.R., Espanha, v.6 n.13, p 05-19.
- SEITZ, C. 2018. Combined Aerial and Ground-Based Structure from Motion for Cultural Heritage Documentation. In: SIART, C., FORBRIGER, M., BUBENZER, O. (eds) Digital Geoarchaeology. Natural Science in Archaeology. Ed. Springer. Cap. 10. p. 149-163.
- SILVA, C.P. 2019. Comparação entre plataformas de aquisição de imagens e indicação de danos nas estruturas do Forte Castelo do Mar e Quartel Velho – Cabo de Santo Agostinho – PE. Graduação em Arqueologia. UFPE.
- WAAGEN, J. 2019. New technology and archaeological practice. Improving the primary archaeological recording process in excavation by means of UAS photogrammetry. In: Journal of Archaeological Science. Vol. 101, January, p. 11-20.