

TECNOLOGIAS DE PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO E RESTAURO DIGITAL COMO FERRAMENTAS DE PRESERVAÇÃO E CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUEOLÓGICO: um estudo de caso do contexto brasileiro

Carolina Machado Guedes^{*}

Resumo

A utilização das técnicas de fotogrametria e restauro digital para a conservação do patrimônio arqueológico ganha maior importância a cada dia. Aliando os dados gerados através do trabalho fotogramétrico e do restauro de material arqueológico em meio digital, ao amplo alcance dos meios online de divulgação, os pesquisadores tem em mãos uma ferramenta que auxilia de maneira importante nos problemas de conservação, preservação e divulgação do patrimônio arqueológico em risco. No entanto em muitos casos o risco é eminente, impedindo uma ampla pesquisa de registro fotogramétrico *in loco*. O projeto de reconstrução digital aplicado ao sítio arqueológico de Palmira, na Síria Patrimônio da Humanidade pela UNESCO, é um exemplo de como os pesquisadores estão criando maneiras, apoiadas no desenvolvimento tecnológico para, se não ainda superar totalmente, ao menos implementar opções viáveis para a reconstrução e a conservação virtual desse importante patrimônio. Partindo das propostas metodológicas do projeto Rekrei, o presente texto discutirá a aplicabilidade dessas ferramentas em contextos arqueológicos brasileiros, notadamente de arte rupestre.

Palavras-chave: fotogrametria; preservação; patrimônio arqueológico.

^{*} Museu de Arqueologia e Etnologia / MAE/USP, Rua Professor Almeida Prado 1466, Cidade Universitária, São Paulo, SP, CEP: 05508-070; cmguedes@gmail.com. Doutoranda do programa PNPd/CAPES no MAE/USP, doutora e mestre em arqueologia pelo Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo.

Introdução: o registro fotogramétrico

O trabalho com a fotogrametria digital se mostra importante não apenas como uma ferramenta altamente acurada para o registro da cultura material mas também como uma importante ferramenta analítica, gerando dados de alta qualidade e detalhamento fidedigno do material pesquisado tornando-se, atualmente, uma forte aliada nas diversas etapas do trabalho científico, tanto em campo quanto em laboratório, permitindo a realização de diversas abordagens, potencializando o acesso e a divulgação do conhecimento científico gerado através da diversificação dos dados criados e das formas de exposição e divulgação desses materiais.

Dentro desse quadro, a fotogrametria digital para a criação de dados em 3D é uma ferramenta de grande relevância para o trabalho de conservação patrimonial. Seu uso aplicado ao patrimônio se comporta como uma fundamental ferramenta responsável pela geração de fontes importantes de dados, bem como uma otimização na manipulação do registro arqueológico como estruturas, estratigrafia, unidades de escavação e demais elementos presentes no sítio arqueológico e dele extraídos, fundamentais para responder diversas problemáticas de estudo.

O resultado de um levantamento fotogramétrico é a criação de um modelo 3D a partir da correlação de imagens fotográficas realizadas sobre um objeto real. O processo fotogramétrico funciona, dessa forma, através da triangulação de pontos de imagens sobrepostas.

Dentro desse quadro, a principal abordagem metodológica em campo é a realização de fotografias possuindo ao menos 60% de sobreposição entre as imagens, permitindo aos softwares fotogramétricos a análise das triangulações existentes entre as diversas imagens fotográficas e gerar uma projeção de cada ponto, criando assim, um modelo 3D exato.

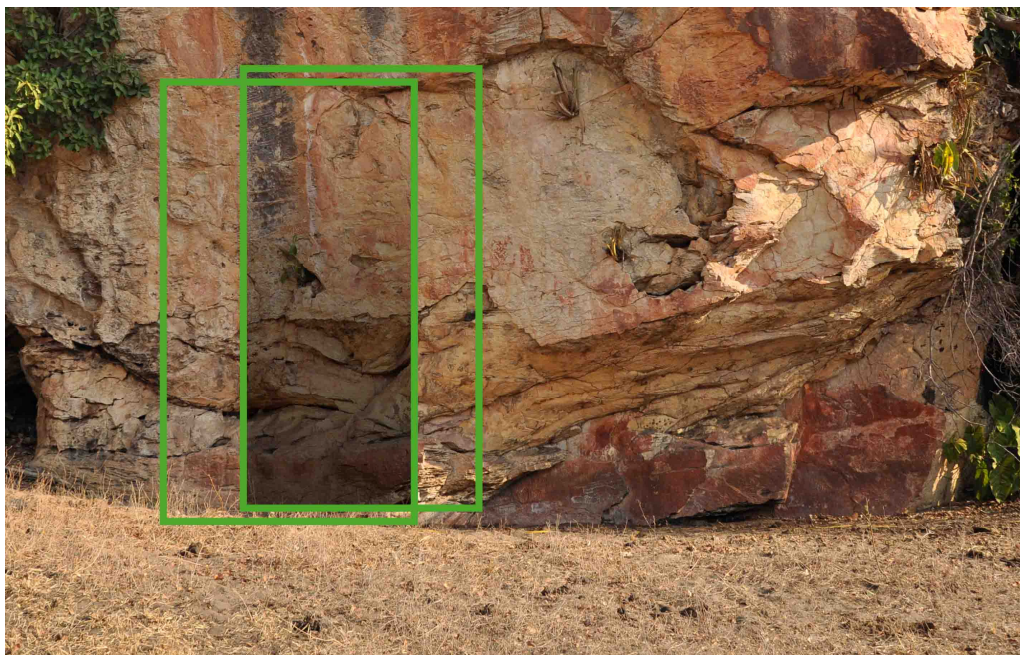


Imagem 1 - Exemplo de sobreposição de imagens. A intersecção escurecida entre os dois retângulos verdes será avaliada e processada pelo software fotogramétrico gerando um modelo 3D. Sítio Gavião, Rondonópolis/MT. Carolina Guedes, 2016.

Atualmente essa tecnologia é capaz de produzir dados precisos criando modelos fotogramétricos com uma aplicabilidade analítica importante.

Para além de uma simples visualização de uma imagem, um modelo fotogramétrico finalizado, devidamente escalado, oferece aplicações no que se refere à compreensão sobre a volumetria e a topografia de um sítio rupestre, por exemplo, ou auxilia na compreensão de etapas de construção de uma estrutura edificada.

Assim, a criação de modelos em três dimensões de alta resolução amplia as ferramentas de conservação e da pesquisa arqueológica. Ela gera uma importante dinamização para os pesquisadores, tanto no que se refere às análises realizadas sobre os materiais, uma vez que o modelo fotogramétrico pode, em muitos casos, substituir a manipulação dos objetos, contribuindo para a sua conservação, quanto no que se refere à acessibilidade sobre os modelos criados, que podem ser consultados à distancia através de plataformas *online*.

De maneira ideal, a realização de um levantamento fotogramétrico deve ter um planejamento da sistemática de captura dos dados fotográficos, levando em consideração a realidade do objeto a ser estudado, uma vez que a quantidade de fotos a ser tirada depende do tamanho e da complexidade do material, estrutura ou de um sítio. Além disso, as condições locais são elementos importantes para esse planejamento,

sejam elas das reservas e coleções onde se encontram as peças, sejam elas dentro do espaço do sítio arqueológico, expostos às interferências do meio.

Essa sistemática deve abarcar uma ampla cobertura fotográfica atingindo a totalidade dos materiais analisados, gerando uma quantidade de imagens superpostas suficiente para a criação e geração do modelo 3D.

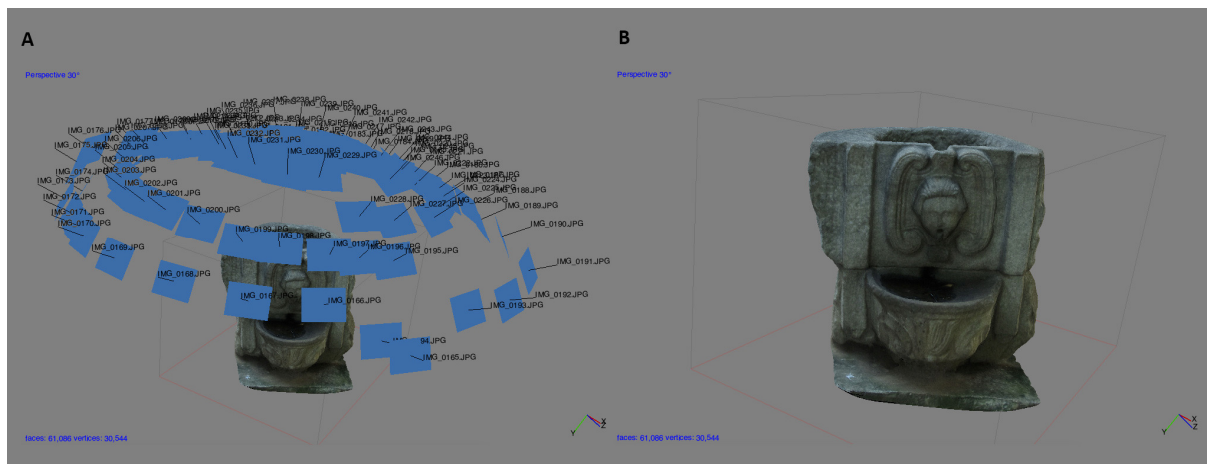


Imagem 2 - Chafariz (séc. XVIII). Minas Gerais. Atual localização: Museu da Casa Brasileira/SP. Levantamento fotogramétrico e posicionamento da câmera fotográfica. *Printscreen* do software PhotoScanPro da Agisoft (A); Modelo fotogramétrico final criado com o programa PhotoScanPro da Agisoft (B). Caroina Guedes, 2016.

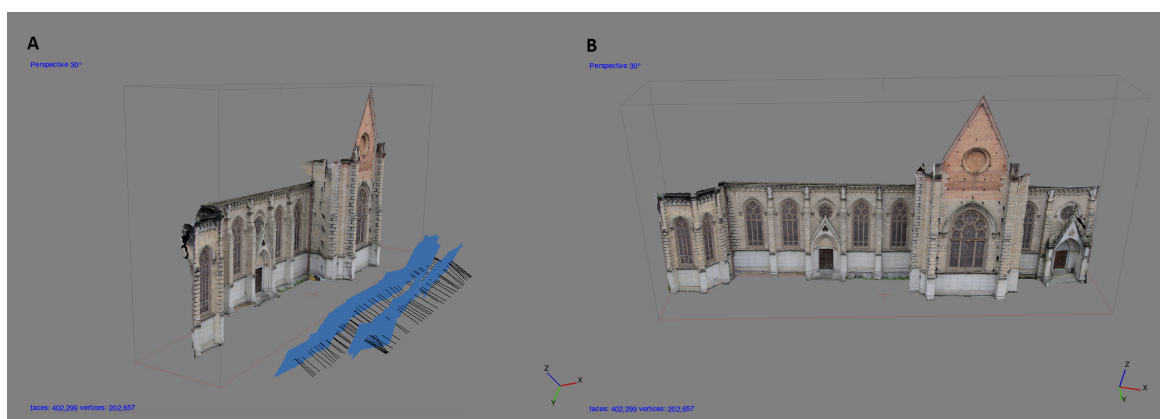


Imagem 3 - Catedral São Pedro de Alcântara. Petrópolis/RJ. Lateral leste. Levantamento fotogramétrico e posicionamento da câmera fotográfica. *Printscreen* do software PhotoScanPro da Agisoft (A); Modelo fotogramétrico final criado com o programa PhotoScanPro da Agisoft (B). Caroina Guedes, 2016.

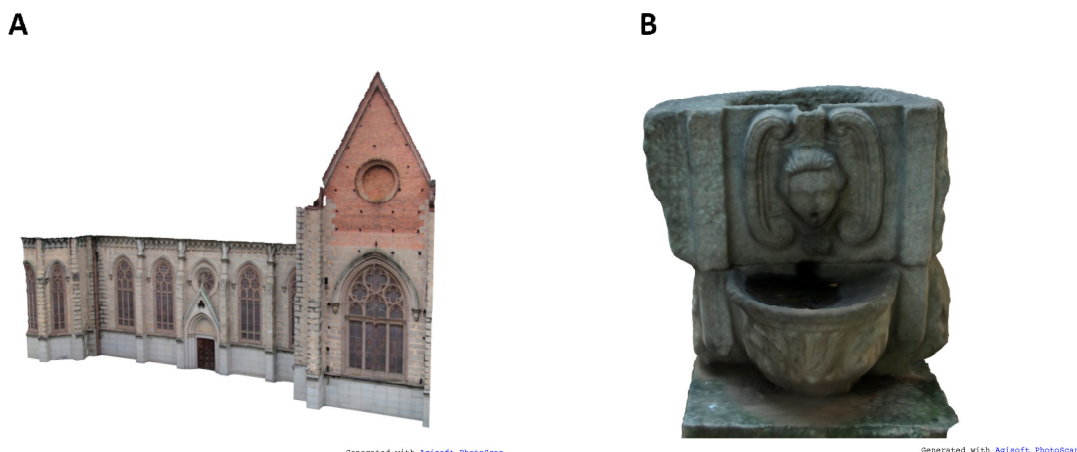


Imagem 4 - Modelos fotogramétricos finais. Geração de PDF 3D. Catedral São Pedro de Alcântara. Petrópolis/RJ (A); Chafariz (séc. XVIII), Minas Gerais (B). Carolina Guedes, 2016.

Nos dois modelos apresentados acima se pode perceber uma estratégia de captura fotográfica, ilustrado pelos quadrados azuis nas imagens 1A e 2A, uma abordagem sistemática que seguiu padrões pré-estabelecidos. Dessa forma, a criação de um modelo fotogramétrico de materiais arqueológicos, seja de um vaso cerâmico, um sítio rupestre ou estruturas e edificações, implica em um registro fotográfico sistemático de sua totalidade. Esse registro visa o mapeamento integral do material em questão.

Outras Soluções Fotogramétricas: projetos colaborativos, o caso Rekrei

A tecnologia hoje disponível para a construção de modelos 3D também permite a organização de dados através do alinhamento de fotografias que foram realizadas em diferentes momentos, tiradas por pessoas diferentes. Ainda que uma abordagem pré-estabelecida do levantamento fotogramétrico de um sítio seja importante para uma obtenção completa de dados de forma sistemática e objetiva, a inexistência desse tipo de abordagem não impede que um projeto seja executado.

É o exemplo do projeto Rekrei (antigo projeto Mosul):

É um projeto financiado coletivamente para coletar fotografias de monumentos, museus e artefatos danificados por desastres naturais ou intervenção humana, e para usar esses dados para criar representações 3D e ajudar a preservar nosso patrimônio humano global e partilhado¹.

¹ Disponível em: <<https://projectmosul.org/about>>. Acesso em: 14 out. 2016.

Trata-se de um projeto de voluntariado idealizado pelos pesquisadores Matthew Vincent e Chance Coughenour em 2015, como resposta à destruição do patrimônio cultural no Museu de Mossul. Seu objetivo é a preservação da memória do patrimônio perdido, através da restauração virtual.

“Se utilizando de fotografias coletivas de especialistas, turistas ou qualquer pessoa com aparelho digital, o projeto aplica técnicas fotogramétricas para criar representações em três dimensões do patrimônio global perdido.”²

Graças a essa cooperação coletiva, hoje existe mais de quarenta entradas de objetos preservados virtualmente como esculturas, estelas, torres, esculturas em baixo-relevo, etc. Todos podem ser visualizados através da página *web* do projeto³.

A experiência desse projeto nos ensina o grande alcance da preservação virtual do patrimônio e a versatilidade de sua aplicabilidade. O que se necessita é a reunião de um número suficiente de imagens que contenham algum grau de sobreposição entre elas. A partir desse conjunto de dados produzidos, *softwares* fotogramétricos como *Photoscan* da Agisoft são capazes de processar essas imagens que foram tiradas sem considerar necessariamente uma abordagem fotogramétrica.

Patrimônio em Perigo: o caso do sertão Alagoano.

Em maio de 2015, veio a público⁴ o caso da exploração ilegal de recursos minerais na região de Pão de Açúcar, Alagoas, para a sua venda e comercialização. Tal exploração estava concentrada em uma área tombada pelo IPHAN, considerada patrimônio cultural brasileiro bem como da população do município. A área em questão concentra um número importante de sítios rupestres, como mencionei em outra oportunidade:

A área da pesquisa concentra vários sítios com dispositivos rupestres e no total foram estudados os sítios: Bom Nome I, Bom Nome II, Bom Nome III, Bom Nome IV, Carcará I, Carcará II, Cosmezinho, Cuidado, Pedra do Tanque, Morro do Lampião e Ilha dos Cavalos (GUEDES, 2015, p. 219).

Esses estudos fazem parte dos trabalhos realizados pela Zanettini Arqueologia em colaboração com o IPHAN/AL que em 2009, dentro do “Programa de mapeamento, cadastro e conservação dos sítios de arte rupestre do Baixo São Francisco, etapa 1”

² Idem

³ Disponível em: <<https://projectmosul.org/gallery>>. Acesso em: 14 out. 2016.

⁴ Através de mídias online: Minuto Sertão e G1.

realizou uma série de trabalhos visando “o levantamento, a localização e a inspeção” (GUEDES, 2015, p.216) dos sítios rupestres acima citados⁵.

Trata-se de uma área que apresenta uma importante riqueza no que se refere ao patrimônio arqueológico pré-colonial⁶.

O Município de Pão de Açúcar está localizado na porção centro-ocidental do Estado, dentro dos limites do sertão alagoano, sendo limitado ao sul pelo Rio São Francisco e o Estado de Sergipe (GUEDES, 2015, p.218)⁷.

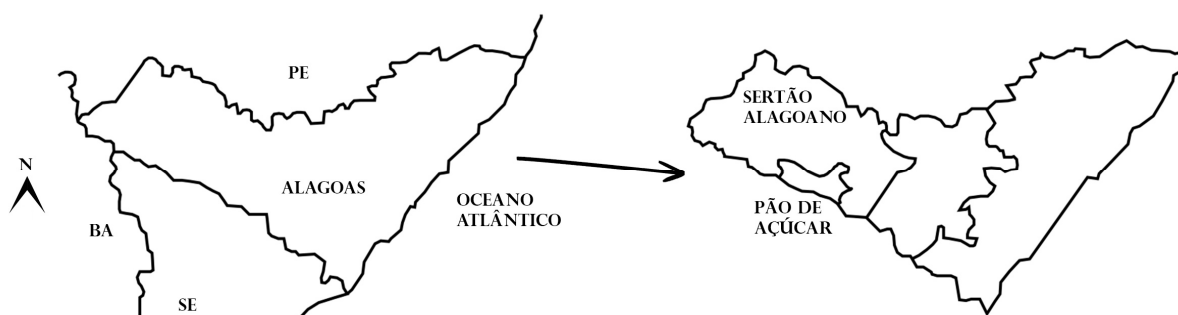


Imagem 5 - Área de estudo. Carolina Guedes, 2016.

Essa área, de maneira geral, é composta por diversos matacões graníticos, muitos deles isolados, que marcam e caracterizam a região. Com uma variação no tamanho e na quantidade de agrupamentos, muitos deles foram selecionados pelas populações pretéritas que transitaram pelo local para marcar através de grafismos não-figurativos pintados, identidades, crenças, ideias.

Esses mesmos matacões foram, nos últimos anos, alvo da exploração ilegal, configurando assim, de acordo com o IPHAN/AL, crime contra o patrimônio nacional. Uma destruição que causa danos irreparáveis nesse patrimônio arqueológico.

Dentro desse preocupante quadro, e inspirada pelas propostas metodológicas do Projeto Rekrei acima citado, apresento aqui a aplicação fotogramétrica na construção do modelo 3D do sítio rupestre Morro do Lampião.

⁵ Em 2014, foi realizado pela WLAG e pelo IPHAN/AL um outro projeto de conservação nessa região intitulado “Serviços emergenciais para conservação, registro, manejo e educação patrimonial dos sítios rupestres do povoado Bom Nome, município de Pão de Açúcar, Alagoas”.

⁶ Essa área foi tema da tese de doutorado, (GUEDES, 2014), defendida no MAE/USP em 2014.

⁷ cf. também (ZANETTINI, 2009).

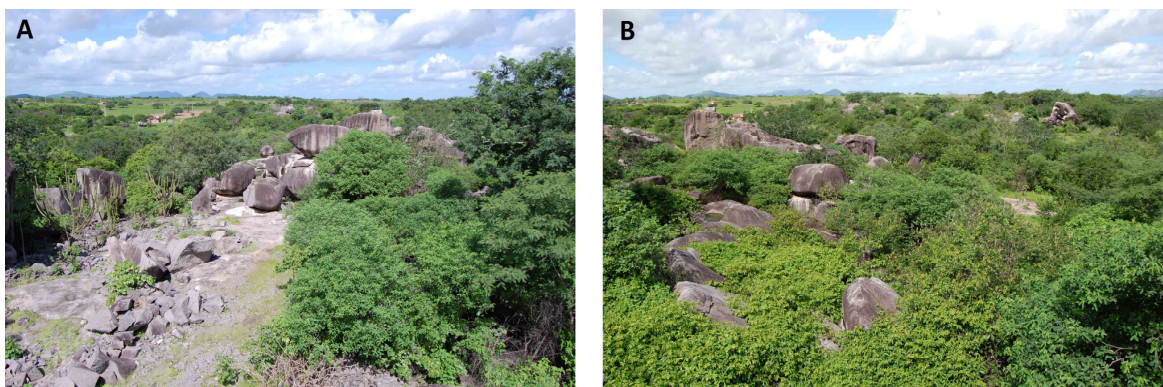


Imagem 6 - Vista geral dos diversos matacões que compõem a região nas proximidades do Sítio Bom Nome I (A e B). Nota-se na imagem 5A uma área de refugio de pedreiras exploradas. Fotos: Antônio Cavalheiro, 2016.

O Sítio Rupestre Morro do Lampião⁸

O sítio está localizado em um grande matacão com áreas abrigadas em quase todo o seu entorno, sobreposto em um conjunto de blocos menores, apresenta um grande destaque na paisagem, fato esse que é evidenciado pelo tipo de vegetação característica do sertão alagoano, baixa e arbustiva.

Perfazendo por volta de 8,5m de diâmetro, esse suporte rochoso em granito fornece diversos locais planos propícios para o registro gráfico. No entanto, foram identificadas apenas duas áreas com pinturas rupestres. O painel principal, localizado em um nicho abrigado com cerca de (1,20x1,00)m, oferecendo uma topografia bem regular. O painel secundário, afastado em alguns centímetros do primeiro, completa o dispositivo gráfico, com (0,60x0,40)m.

A organização dos painéis segue a topografia natural do conjunto, dentro desse quadro o primeiro painel foi considerado o principal em função do tamanho e da quantidade de unidades gráficas. Como é comum nos outros sítios da região, essa seleção não foi realizada em função de uma limitação imposta pela topografia do suporte ou do entorno, mas sim da relação de importância entre os painéis.

O vermelho domina quase que totalmente a paleta de cores. Um pigmento branco de consistência pastosa também foi utilizado, porém em menor quantidade. Com um total de 41 unidades gráficas, o sítio Morro do Lampião é formado inteiramente por grafismos não-figurativos.

⁸ Esse assunto foi apresentado como parte da discussão sobre os sítios de arte rupestre em minha tese de doutoramento (GUEDES, 2014).

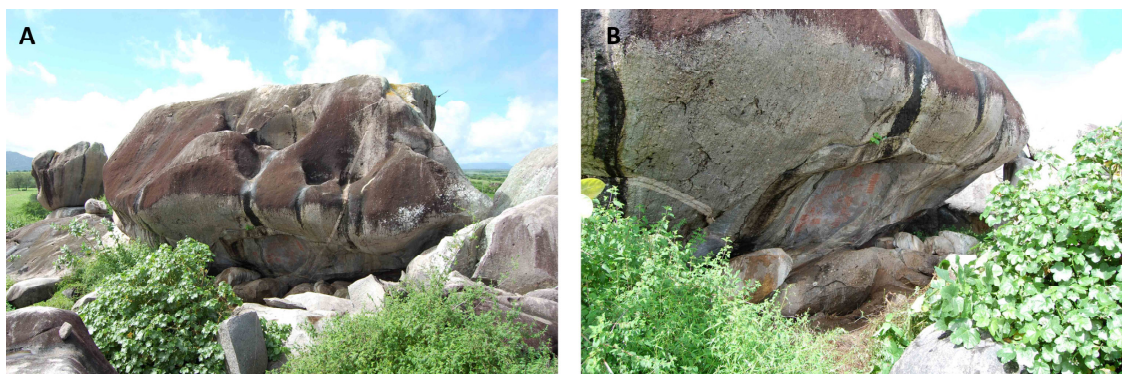


Imagem 7 - Vista geral do sítio (A); Detalhe da área abrigada com o painel principal (B). Antônio Cavalheiro, 2016.

Construção do Modelo Fotogramétrico

Para a construção do modelo fotogramétrico foi utilizado o *software PhotoScanPro* da Agisoft, versão trial 2.1.6. O processo envolveu quatro etapas complementares: O alinhamento das fotografias gerando uma nuvem esparsa, a construção de uma nuvem densa de pontos de imagem, a criação de uma rede e a finalização com a texturização do modelo, (conf. Imagem 8).

Foram utilizadas um total de 25 fotografias, todas elas alinhadas pelo software fotogramétrico, manipuladas com uma qualidade média de processamento e uma texturização com qualidade alta, como mostra a imagem a seguir:

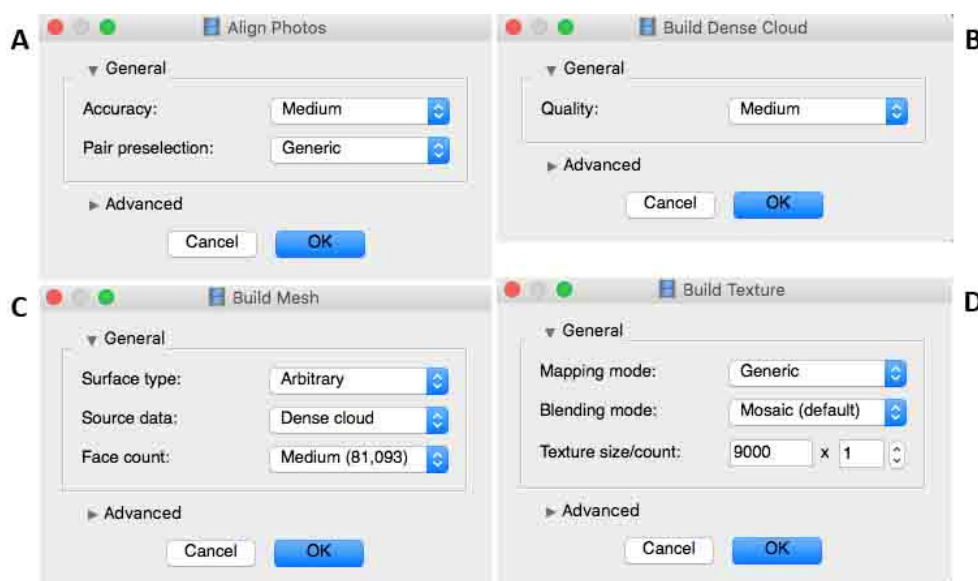


Imagem 8 - Printscreens do *software PhotoScanPro*: Etapas da construção do modelo fotogramétrico - Alinhamento de fotos (A); Geração da nuvem densa (B); Construção da rede (*mesh*) (C) e Construção da textura (D).

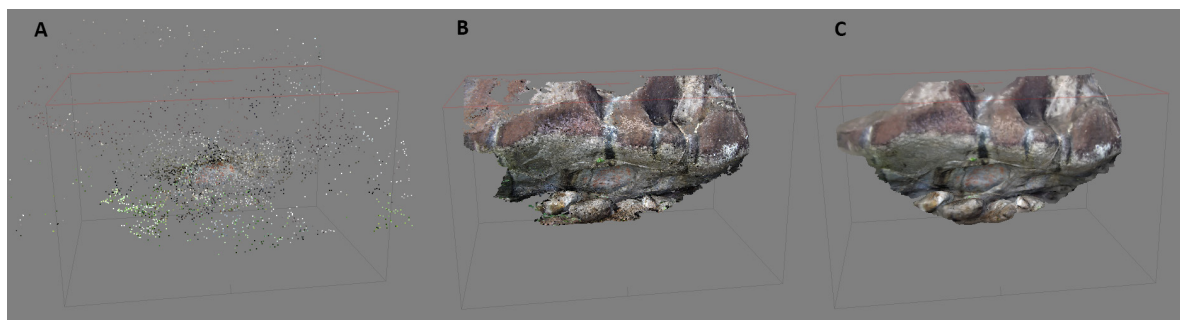


Imagem 9 - *Printscreen* do *software* PhotoScanPro: etapas da construção do modelo fotogramétrico - Nuvem esparsa (A); Nuvem densa (B) e Mesh (C). Carolina Guedes, 2016.

Foram gerados um total de 4.946 pontos na etapa 1 (alinhamento de pontos/nuvem esparsa), 1.216,404 pontos na etapa 2 (nuvem densa). O modelo 3D final apresentou 73.954 faces e 37.949 vértices.

As imagens utilizadas são provenientes dos trabalhos realizados em 2009 na região de Pão de Açúcar pelo projeto acima mencionado. Trata-se de fotografias que foram realizadas sem uma preocupação prévia com a construção de um modelo fotogramétrico. O foco da equipe naquele momento foi o registro do sítio, objetivando principalmente a compreensão dos painéis pintados, ou seja, uma sistemática de captura que buscou registrar alguns planos gerais do matacão, focando a porção que continha as intervenções rupestres e, de maneira mais particularizada, os painéis e os grafismos neles presentes.

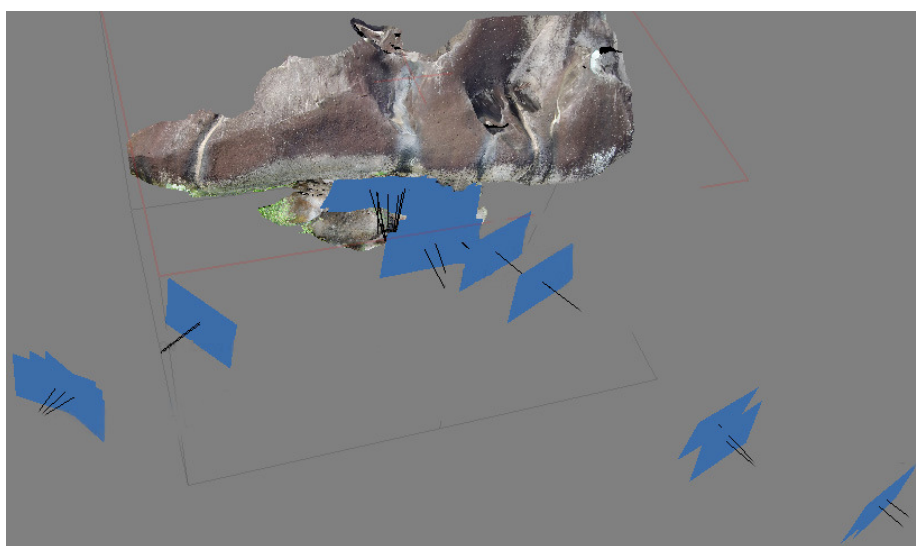


Imagem 10 - *Printscreen* do *software* PhotoScanPro. Vista do topo do afloramento granítico com o detalhamento das posições da câmera fotográfica. Carolina Guedes, 2016.

Assim, observando os diversos posicionamentos da câmara fotográfica na Imagem 9 abaixo, (representado pelos quadrados azuis) fica claro uma aleatoriedade no registro, em muito se diferenciando de uma abordagem sistematizada e previamente concebida, como demonstrado anteriormente (conf. imagens 1A e 2A), o que não impediu a geração de um modelo 3D com bons resultados.

Resultados

O modelo gerado apresentou dados extremamente satisfatórios, com um nível de detalhamento importante, sendo possível avaliar diversos elementos do sítio.

Considerando uma visão geral do sítio a partir de um ponto de vista frontal do afloramento com a delimitação do dispositivo rupestre, os dados obtidos permitem avaliar questões relativas à inserção e organização dos painéis dentro do relevo do matacão, mesmo que o modelo obtido não tenha apresentado o afloramento por completo. De maneira geral, esse fato não impediu uma compreensão sobre a utilização desse suporte (conf. Imagem 10)

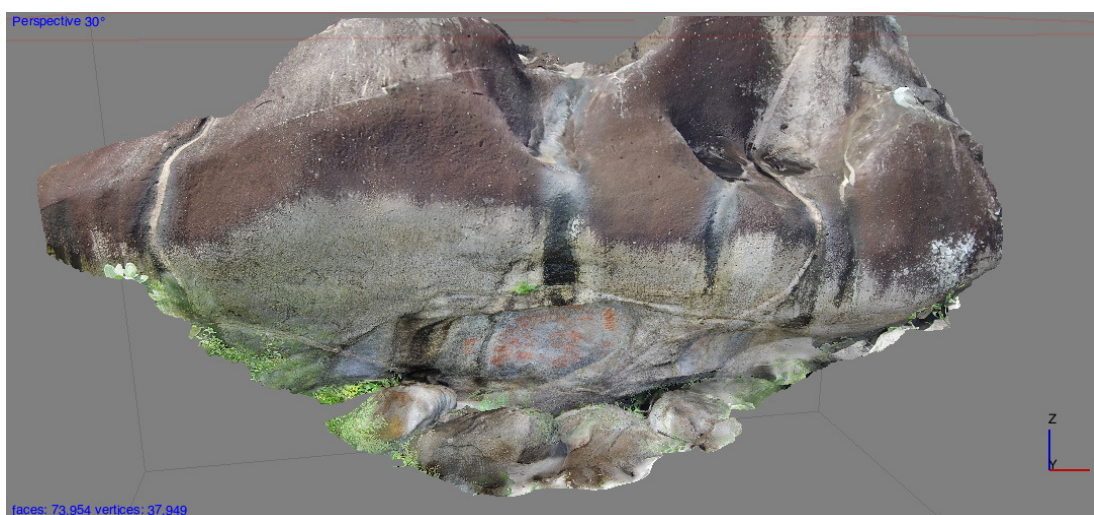


Imagem 11 - *Printscreen* do software *PhotoScanPro*. Vista frontal do modelo fotogramétrico. Nota-se o painel com pinturas vermelhas no centro da imagem. Carolina Guedes, 2016.

O modelo gerado também permitiu compreender a inclinação do afloramento, mostrando de maneira fidedigna a área abrigada do sítio. Avaliando as projeções dos

diversos pontos que compõem uma imagem fotográfica, o software consegue compensar quaisquer distorções que se apresentariam em uma imagem em duas dimensões, criando assim um modelo 3D que apresenta, de maneira virtual, um produto fiel e preciso do sítio Morro do Lampião.

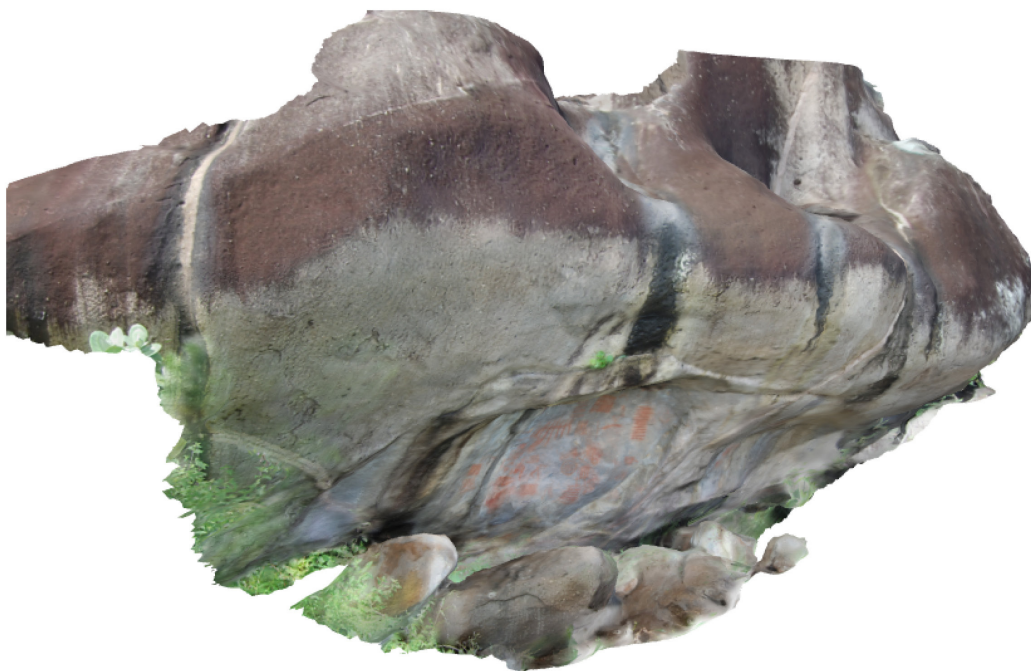


Imagem 12 - *Printscreen* do software *PhotoScanPro*. Vista da inclinação do suporte. A área que contém os registros rupestres se apresenta como um pequeno abrigo. Carolina Guedes, 2016.

A volumetria integral do suporte foi parcialmente reconstruída, por outro lado, os painéis pintados foram integralmente gerados. Um modelo devidamente escalado que possibilita a compreensão dos diversos elementos que compõem o sítio, como análises espaciais observando a relação entre os diversos grafismos e o suporte, suas dimensões e distâncias relativas.



Imagem 13 - *Printscreen* do software *PhotoScanPro*. Modelo final. Vista geral do dispositivo rupestre (A) e detalhe da pintura escalada através do software de processamento fotogramétrico (B). Carolina Guedes, 2016.



Generated with [Agisoft PhotoScan](#)

Imagem 14 - Modelo fotogramétrico final. Geração de PDF 3D. Carolina Guedes, 2016.



Generated with [Agisoft PhotoScan](#)

Imagem 15 - Modelo fotogramétrico final. Painel principal. Geração de PDF 3D. Carolina Guedes, 2016.

Considerações Finais: conservação e divulgação

A geração de modelos fotogramétricos se coloca como uma importante ferramenta na preservação e na divulgação de um patrimônio cultural em risco. Se não pode ser considerado como uma solução efetiva de preservação, uma vez que o trabalho efetuado não é realizado sobre os objetos propriamente ditos, mas sobre uma construção virtual, o processo fotogramétrico deve ser utilizado como uma ferramenta auxiliar que combate, de certa maneira, o desaparecimento total de patrimônios em área de risco.

A possibilidade levantada pelo projeto Rekrei de uma construção colaborativa de objetos 3D se colocou como um modelo a ser seguido no auxílio à preservação e conservação do patrimônio cultural, localizado em áreas de risco distribuídas pelo mundo.

Ainda que os dados aqui obtidos sejam provenientes apenas de registros realizados em um trabalho arqueológico, os dados gerados a partir de fotografias em certo sentido aleatórias, demonstram o alcance real da proposta colaborativa, abrindo espaço para sua aplicabilidade em outras áreas.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ao Paulo Zanettini, à Zanettini Arqueologia e ao IPHAN/AL.

Referências

- BOURDIER, C.; FUENTES, O.; PINÇON G.. Contribution of 3D technologies to the analysis of form in late palaeolithic rock carvings: The case of the Roc-aux-Sorciers rock-shelter (Angles-sur-l'Anglin, France). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, v.2, n.2, p.140-154, 2015.
- CONSENS, M.. La Arqueología como Fundamento de la Utilización de Técnicas y Métodos en los Procesos de Investigación del Arte Rupestre. *Revista do CEPA*, v.12, n.14, p.13-47, 1984.
- GUEDES, C.. A semântica dos signos em arte rupestre: Estruturas da Cognição. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, Museu de Arqueologia e Etnologia, USP, São Paulo, 2014.
- LAGE, M. C. S. M.; LAGE, W.. *Serviços emergenciais para conservação, registro, manejo e educação patrimonial dos sítios rupestres do povoado Bom Nome, município de Pão de Açúcar, Alagoas*, Relatório de pesquisa, 2014.
- ROBERT, E.; VIGEARS, D.; MÉLARD, N.; PAILLET, P.; VIALOU, D.; EGELS Y.. L'apport de la 3D dans l'art préhistorique : analyse et restitution des images et de leurs supports, exemples croisés des sites de Blanchard (la Garenne) et la Marche. *Archeologia e Calcolatori*, suppl. 3, Rome, ed. All'Insegna del Giglio, p. 339-354, 2012.

ROBERT, E.; EGELS, Y.; BOCHE, E.; PEYROUX, M.; VIALOU, D.; VIGEARS, D.; PAILLET, P.. Applications 3D pour la contextualisation et le relevé d'art en grotte ornée. *Archeologia e Calcolatori*, suppl. 5, Rome, p. 88-101, 2014.

ROBERT, E.; PIERROT-DESEILLIGNY, M.; VIGEARS, D.; PLASSARD, J.; MARTIN-BEAUMONT, N.; PLASSARD, F.; EGELS, Y.. La photogrammétrie à haute résolution en grotte ornée : numérisation des gravures de Rouffignac et Blanchard. *PALEO*, n.º spécial, p. 93-101, 2014.

SAUVET, G.. La composition et l'espace orné. In: Groupe de Réflexion sur l'Art Pariétal Paléolithique - L'art Pariétal Paléolithique. *Techniques et méthodes d'études*. Paris: Éditions du C.T.H.S., 1993a. p. 297-309.

SAUVET, G.. Le problème de la détermination. In: Groupe de Réflexion sur l'Art Pariétal Paléolithique - L'art Pariétal Paléolithique. *Techniques et méthodes d'études*. Paris: Éditions du C.T.H.S., 1993b. p. 83-86.

ZANETTINI ARQUEOLOGIA. *Programa de Diagnóstico e Ações Emergenciais em Sítios Rupestres, municípios de Olho D'Água do Casado e Delmiro Gouveia, Alagoas*. Relatório Final apresentado à 17ª Superintendência Regional do IPHAN (não publicado), 2007.

ZANETTINI ARQUEOLOGIA. *Programa de mapeamento, cadastro e conservação dos sítios de arte rupestre do Baixo São Francisco – Etapa 1. Pão-de-Açúcar*. Relatório Final apresentado a 17ª superintendência Regional do IPHAN (não publicado), 2009.

Páginas pesquisadas na internet

G1:<<http://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2015/05/fiscalizacao-flagra-depredacao-em-sitios-arqueologicos-no-interior-de-al.html>>

MinutoSertão:

<<http://minutosertao.cadaminuto.com.br/noticia/10417/2015/05/21/fiscalizacao-flagra-destruicao-de-sitio-arqueologico-em-pao-de-acucar>>

Sketchfab: <<https://sketchfab.com/museums/>> e <<https://sketchfab.com/cmguedes>>