

Fotogrametria de dólmens: Linhas orientadoras para a aquisição de imagens

Dolmen Photogrammetry: Guidelines for image acquisition

Bruno GAMBINHAS LEAL¹⁵

Resumo

Enquanto os avanços tecnológicos da última década massificaram o uso da fotogrametria como forma de registo arqueológico, ainda carecemos de uma padronização nos processos de aquisição inicial de imagens. Isto faz com que os consequentes resultados não possam muitas vezes ser replicados e assim impossíveis de posterior validação.

Este artigo pretende então expor os principais problemas comuns aos trabalhos de aquisição de imagens durante a fotogrametria de dólmens e tenta apresentar um conjunto de linhas orientadoras que permitam ultrapassar esses obstáculos e garantir a produção de produtos digitais de excelente qualidade científica e visual.

Palavras-chave: Fotogrametria, dólmens, linhas orientadoras, boas práticas.

Abstract

While the technological advances of the last decade have massified the use of photogrammetry as a means of archaeological record, we still lack a standardization in the processes of initial image acquisition. This makes for results often not replicable and thus impossible to later validate them.

Thus, this article aims to expose the common problems to image acquisition in dolmen photogrammetry and tries to present a set of guidelines that allow to overcome these obstacles and guarantee the production of digital products of excellent scientific and visual quality.

Keywords: Photogrammetry, dolmens, guidelines, good practices.

¹⁵ Mestrando em Arqueologia e Ambiente – Especialização em Avaliação de Impacte Ambiental, Universidade de Évora. Email: bruno_terrugem@msn.com

1. Introdução

Os avanços tecnológicos em equipamento fotográfico e software de reconstrução digital, aliados à cada vez maior acessibilidade a estas ferramentas têm feito com que a fotogrametria se torne gradualmente num método imprescindível de registo digital do património. A inclusão de ortofotografias, de ortofotomapas, ou de modelos tridimensionais em publicações e exposições relacionadas com a conservação e estudo do património tem sido cada vez mais usual e no que toca aos monumentos megalíticos, estes não são exceção. Basta uma pesquisa breve na plataforma online Sketchfab para encontrar diversos exemplos da aplicação de processos fotogramétricos no registo deste tipo de monumentos funerários. A acessibilidade do equipamento e do software necessário para construir um modelo 3D de uma anta tornou assim qualquer arqueólogo em fotogrametrista. No entanto, na falta de uma padronização das técnicas de aquisição de imagens, existem alguns problemas com que estes se deparam durante a tentativa de criação de um modelo métrico com o rigor científico que se requer em estudos do património. Mesmo que baste apontar e disparar um *smartphone* várias vezes em redor de um dólmén e se consiga realizar a construção de um modelo 3D, este tem pouco valor científico e levanta a questão da necessidade sequer de criar o dito modelo.

A fotogrametria deste tipo de monumentos acarreta uma série de dificuldades, que começam pelo simples fato de ter que se realizar a aquisição de imagens no exterior e dos fatores inerentes que afetam deste modo os processos de reconstrução digital posteriores. Foi com estas dificuldades em mente e às quais não tenho sido imune, que me propus a compilar uma série de linhas orientadoras para que um arqueólogo possa deste modo efetuar os trabalhos de fotogrametria no campo de forma mais eficiente, pelo menos no que toca a dólmens.

Neste artigo apenas me debrucei sobre os problemas mais comuns a este tipo de sepulcros, evitando tocar em outras tipologias de monumentos megalíticos, embora alguns dos problemas sejam comuns a todos os monumentos. Igualmente ignorei os levantamentos aerofotogramétricos de dólmens, por estes não serem a melhor solução de uma forma geral para este tipo de estruturas. Os levantamentos com recurso a Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), vulgarmente apelidado de *drone* apenas conseguem adquirir imagens das superfícies expostas de um monumento, perdendo assim para a fotogrametria terrestre que consegue aceder a áreas mais recônditas,

como o interior de câmaras cobertas com chapéu. Menciono apenas levemente alguns dos processos fotogramétricos em software, pois estando estes dependentes de uma adequada aquisição prévia de fotografias, creio que este último ponto deva ser o meu foco. Pretendo assim dar o meu pequeno contributo para uma eventual padronização que se possa vir a estabelecer em matéria de metodologias de fotogrametria de dólmens, nomeadamente na aquisição de imagens.

2. Fotogrametria digital

Para que se possa realizar um trabalho de fotogrametria de forma eficiente e com rigor científico, é necessário que se conheça o que está por detrás dos processos fotogramétricos. Após a captura de uma série de imagens, os pixéis representados nessas imagens podem ser cruzados de forma a tentar obter a sua localização no espaço. Isto acontece quando um raio de luz associado a um pixel, é intercetado por outro raio também associado a esse pixel, ou seja, duas imagens captadas em posições diferentes, mas em que aparece o mesmo pixel em ambas. Isto permite a localização desse pixel num espaço tridimensional e consequentemente a sua reconstrução como parte de um modelo digital. Um pixel que esteja representado em menos de duas imagens não pode assim ser localizado e reconstruído (Historic England, 2017: 6-7).

Um fator a ter em conta e muitas vezes ignorado é a distorção da lente. Quando se tenta captar uma imagem bidimensional (fotografia), representativa do mundo real tridimensional, o sensor de uma câmara fotográfica vai depender de uma série de parâmetros inerentes à lente utilizada. Isto poderá levar a erros relacionados com a distorção da lente, sendo por isso desaconselhável utilizar um valor de abertura de lente acima de f11 ou utilizar as chamadas lentes com efeito *fish eye*, pois criam graves distorções nas fotografias. De forma a contornar eventuais problemas de distorção, alguns softwares de reconstrução digital (Agisoft Metashape por exemplo) utilizam os dados referentes ao equipamento, gravados no ficheiro EXIF da cada fotografia. Com estes dados, conseguem calcular parâmetros genéricos e muito aproximados dos ideais para a correção destas distorções (Historic England, 2017: 7-8). Para garantir os melhores resultados, é, no entanto, necessária a calibração da lente utilizada, o que pode ser realizado manualmente com recurso a ferramentas de calibragem, ou através de funcionalidades dos softwares de fotogrametria (Agisoft, 2022: 11-13).

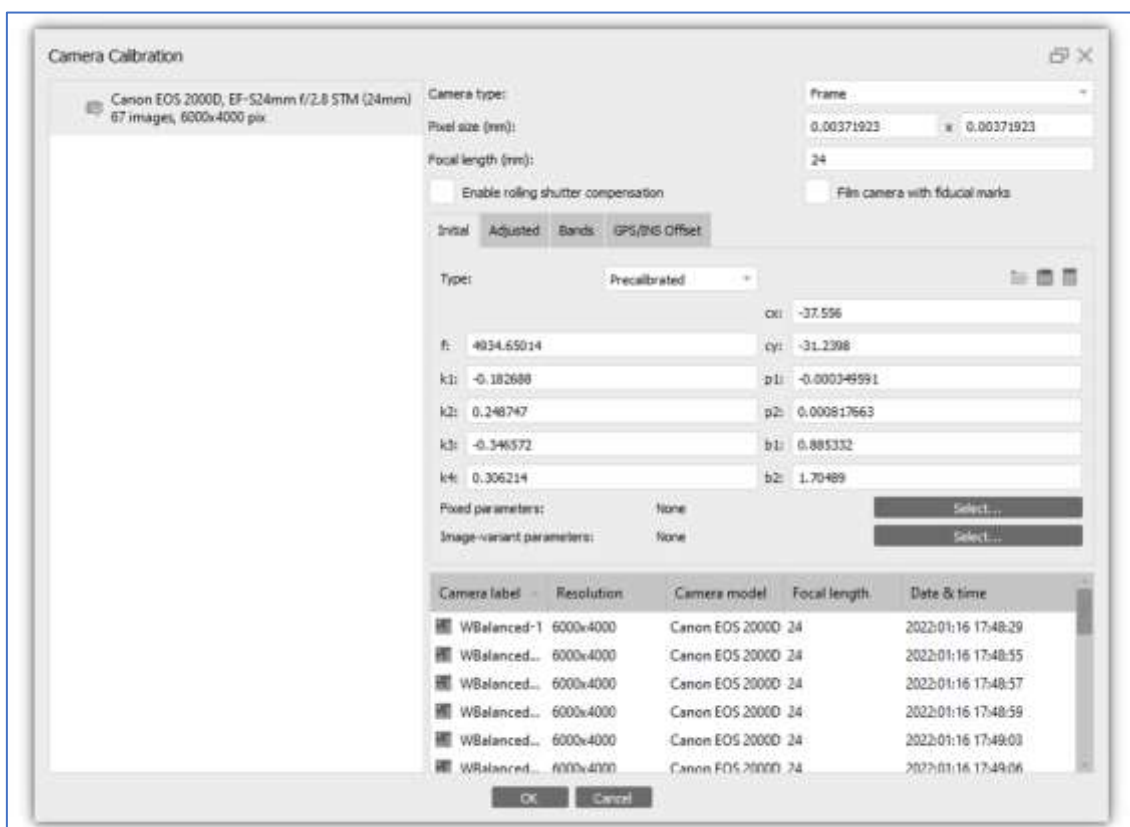


Figura 1. Ferramenta de calibração da câmara do Agisoft Metashape.

Para a realização de uma reconstrução digital, programas como o Metashape utilizam um algoritmo que varre as fotografias captadas em busca de um número preestabelecido de pontos comuns entre elas. Quando conseguem alinhar pelo menos um par de pontos, criam aquilo a que se chama uma nuvem de pontos, com todos os pontos alinhados com sucesso representados num espaço tridimensional. Para que este passo seja concretizado com sucesso, é fundamental que se obedeça a uma série de regras na captura das fotografias. Para o correto alinhamento das fotografias e dos pontos que as compõem, é necessário que estes últimos sejam detetados em duas ou mais imagens, que não tenham diferenças de luz significativas e que os pontos a alinhar estejam completamente em foco. É aqui que ocorrem a maioria dos erros na tentativa de construção de modelos tridimensionais.

A construção de um modelo tridimensional de um objeto ou de uma estrutura, neste caso um sepulcro megalítico, deve obedecer a uma série de critérios para que os dados que possam ser retirados desse modelo, possam também ser alvo de avaliação qualitativa. Para isto podemos socorrer-nos das chamadas Regras 3x3 Fotogramétricas, publicadas originalmente por Waldhäusl e Ogleby em 1994, cujo objetivo seria o de padronizar os processos de aquisição de imagens para a

documentação fotogramétrica em arquitetura (Waldhäusl e Ogleby, 1994). Estas baseiam-se em 3 grupos, cada um com 3 linhas orientadoras gerais para uma correta e rigorosa aquisição de imagens:

3 REGRAS GEOMÉTRICAS	3 REGRAS DA CÂMARA	3 REGRAS PROCESSUAIS
• Controlo	• Propriedades da câmara	• Método de registo fotográfico
• Cobertura fotográfica geral	• Calibração da câmara	• Registo de metadados
• Cobertura fotográfica de detalhe	• Exposição das imagens	• Arquivo

Figura 2. Regras 3x3 Fotogramétricas (Waldhäusl e Ogleby 1994 apud Historic England 2017). Adaptado.

As 3 regras geométricas são as que vão fazer com que o modelo tridimensional construído seja métrico, ou seja criado a uma escala dimensional real. Isto é importante na medida em que poderemos medir toda e qualquer parte desse modelo, obtendo sempre valores reais que podem ser analisados de forma criteriosa. O controlo irá também facilitar os processos de monitorização de qualidade dos modelos construídos, permitindo assim a deteção de erros e a sua correção atempadamente (Historic England, 2017: 42).

As 3 regras da câmara se implementadas corretamente, vão incrementar o grau de qualidade dos nossos modelos no que toca ao detalhe dos polígonos e texturas, mas também facilitar os processos de alinhamento de pontos e consequentemente tornar todo o trabalho muito mais eficiente.

As 3 regras processuais são extremamente importantes para as áreas do estudo patrimonial, no âmbito em que regem o armazenamento e a organização dos conjuntos de dados obtidos, com a sua consulta, análise e reutilização no futuro em vista.

3. Aquisição de imagens

A forma como se adquirem as imagens vai condicionar a qualidade do modelo digital que se pretende reconstruir. É, portanto, fundamental que se comece por um planeamento prévio daquilo que se pretende fotografar.

Devemos começar por nos perguntarmos se um levantamento fotogramétrico é o método mais indicado para os nossos objetivos. A fotogrametria permite criar um modelo tridimensional de um objeto, estrutura, edifício ou até paisagem. Neste caso específico, é possível recriar um dólmen em meio digital, abrindo caminho para uma variedade de soluções em termos de ferramentas de análise. É possível criar alçados ou plantas do monumento (Cerrillo-Cuenca *et al*, 2021), mesmo que a presença de um chapéu ou de vegetação não permita ver a posição dos esteios a partir de um ponto superior. Pode-se manipular o modelo, adicionando e subtraindo elementos para que se obtenha uma melhor imagem de como seria o monumento original, como por exemplo adicionar hipotéticos esteios ou coberturas entretanto desaparecidas, ou subtrair elementos vegetativos e antrópicos posteriores ao abandono do dólmen. É possível igualmente realizar mapeamentos poligonais e de textura por forma a tentar detetar gravuras nos elementos constituintes do monumento (Cerrillo-Cuenca, *et al*, 2019). Tal como pode apenas ser utilizada como mais uma técnica de conservação pelo registo, ficando essa memória do monumento para a posteridade, mesmo que este desapareça. Isto claro num cenário otimista de que os suportes onde serão guardados os modelos tridimensionais tenham forma de poder ser acedidos ou atualizados após ficarem obsoletos face à inevitável evolução tecnológica.

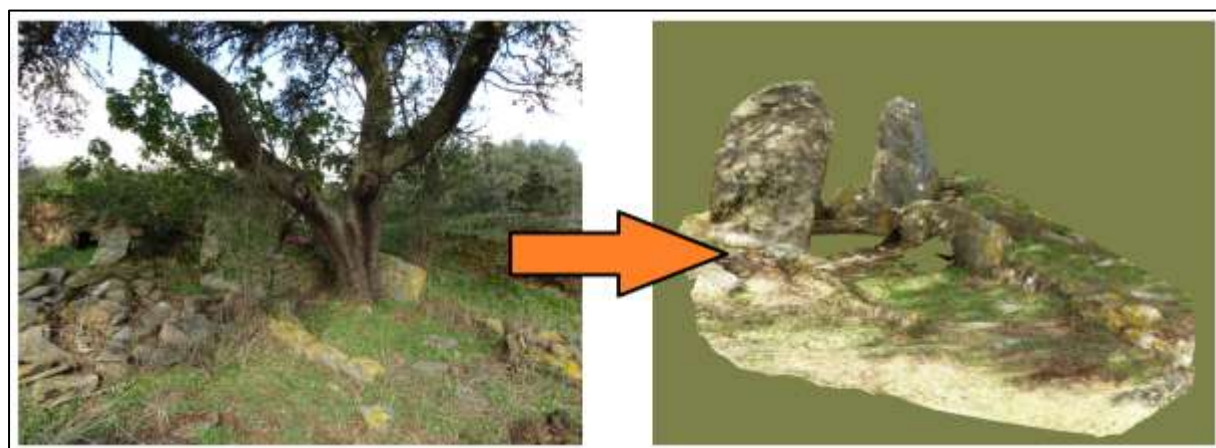


Figura 3. Exemplo de reconstrução digital com oclusão da vegetação e de elementos antrópicos posteriores. Anta 4 da Herdade do Pombal (Terrugem).

Existem, contudo, fatores que condicionam a opção pelo recurso à fotogrametria. Quando falamos em fotografar dólmenes, falamos em trabalhar no exterior, com fatores como o clima, o acesso, a vegetação, a iluminação, o estado de conservação do dólmen, a sua dimensão, entre outros a influenciar os trabalhos. É preferível, por vezes, optar

por métodos alternativos de registo mais eficientes, que criar modelos de fraca qualidade, ou nem sequer conseguir reconstruir um modelo digital do dólmén.

Após tomada a decisão de realizar um levantamento fotogramétrico do monumento, deve-se estudar qual a melhor abordagem de aquisição das imagens. Isto deve ter em conta todas as nuances mencionadas no parágrafo anterior, mas também o equipamento disponível. Embora seja possível realizar um levantamento com apenas a câmara de um *smartphone* atual, este não é o suporte mais indicado para realizar um trabalho com o rigor científico pretendido. À exceção de alguns modelos mais recentes, a maioria dos *smartphones* não permite definir os parâmetros ideais para a aquisição das fotografias. Não é possível modificar os valores de abertura da lente, de sensibilidade ISO, de velocidade do obturador, nem sequer fotografar em formato RAW. Os sensores das câmaras instaladas nos smartphones também são de reduzida dimensão, o que faz com que o tamanho dos pixéis seja igualmente diminuto (Historic England, 2017: 21-22). É assim recomendável a utilização de uma câmara fotográfica digital de tipo *Reflex* (DSLR), com lentes intercambiáveis, de preferência com distância focal fixa (vulgarmente chamadas de lentes *Prime*). Neste caso quanto maior for o sensor, melhor. Contudo, a aquisição de uma câmara fotográfica com sensor *full frame* acarreta grandes custos e, portanto, é natural a escolha por uma câmara com um sensor mais pequeno, aliviando consideravelmente o orçamento. Para a escolha da lente recomenda-se uma com um bom ângulo de visão, mas evitando as chamadas lentes *fish eye*, devido aos problemas de distorção que causam nos limites da imagem (Historic England, 2017: 29). Deve-se ter em conta que para atingir um elevado nível de detalhe e foco das imagens, é necessário atingir um balaço entre estes três parâmetros:

- Sensibilidade ISO;
- Abertura da lente;
- Velocidade do obturador.

Em primeiro lugar, é preferível o menor valor possível de sensibilidade ISO. Quanto menor o número, mais nítida vai ser a imagem, às custas de luminosidade que terá de ser compensada com a definição dos outros dois parâmetros. De seguida, a abertura da lente deverá se situar entre f8 e f11, o que vai providenciar um amplo campo focal para que todo o objeto a ser fotografado esteja em foco. Um valor menor que f8 vai criar um campo focal mais reduzido e deixar muitas áreas da imagem desfocadas, o que vai

complicar a tarefa de alinhamento dos pontos no software de reconstrução digital. Um valor maior que f11, como já foi mencionado anteriormente, vai criar gradualmente distorções na lente e deve, portanto, ser evitado (Historic England, 2017: 24-25; Sapirstein e Murray, 2017: 347). Um valor de abertura dentro do intervalo acima referido vai também reduzir a quantidade de luz que entra no sensor, tendo assim igualmente que ser compensada no último parâmetro. A velocidade do obturador terá então que ser mais lenta, por forma a deixar entrar luz durante mais tempo no sensor compensando assim os outros dois parâmetros. Mas isto não se obtém sem um custo. O maior tempo de exposição faz com que o mais ligeiro movimento na câmara crie desfocagens na imagem, dificultando o posterior alinhamento. De forma a evitar isto, é necessário um apoio estável da câmara durante o tempo de disparo (Sapirstein e Murray, 2017: 347). Existem três soluções: o uso de um tripé, de um monopé, ou o apoio manual da câmara restringindo a qualidade. O tripé (se for conjugado com um dispositivo de controlo remoto do disparo) garante a total estabilidade da câmara, mesmo com tempos de velocidade do obturador muito elevados, mas às custas de mobilidade e de tempo de instalação. O monopé cumpre quase a mesma função do tripé, mas com apenas um pé (ao invés de três) terá que ser manuseado pelo fotógrafo. Isto faz com que possa ainda haver algum movimento lateral, mesmo que compense pela maior mobilidade e estabilidade vertical. Por fim, se não for possível a utilização de um suporte fixo, ou este não estiver disponível, pode-se sempre recorrer ao manuseamento manual da câmara. Terá, todavia, que se acelerar a velocidade do obturador até valores que permitam imagens sem desfocagens derivadas do movimento das mãos. Para atingir estes valores iremos compensar a exposição incrementando a sensibilidade ISO, o que prejudicará gradualmente a qualidade das imagens com a inclusão de ruído.

Para criar um modelo tridimensional georreferenciado será necessário situar os pixéis das fotografias no mundo real. Por isso é fundamental que se possua equipamento topográfico de precisão. Um GPS móvel, ou a antena GPS de um *smartphone* não são precisos o suficiente para poder “ancorar” corretamente as nuvens de pontos com o nível de rigor científico que se pretende. Deve-se recorrer a uma estação total, ou a um GPS-Diferencial para a recolha das coordenadas dos alvos espalhados pela cena a fotografar (Historic England, 2017: 43-48). Estes podem ser alvos criados para o efeito em diversos tipos de materiais, ou até pontos presentes no terreno, desde que sejam identificáveis em fotografia. Para facilitar a sua deteção podemos recorrer a alvos

codificados criados pelo software de reconstrução digital a usar. Os alvos codificados são detetados automaticamente pelo software, poupando assim tempo ao utilizador (Historic England, 2017: 50; Sapirstein e Murray, 2017: 344-345; Agisoft, 2022: 92).

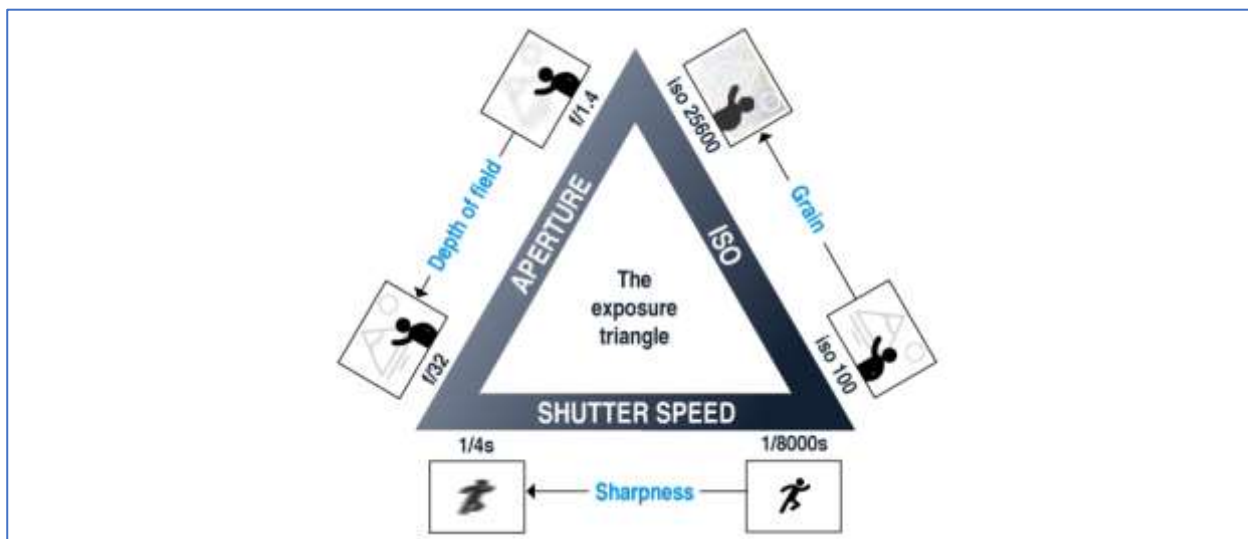


Figura 4. Triângulo de exposição (ALICEVISION, 2019: 63).

Também se devem equacionar outros acessórios que se achem necessários como escalas de cores por exemplo, estas permitem aplicar um balanço de brancos correto em software de edição, a todas as fotografias. Uma escala métrica também pode ser usada para comprovar a precisão do modelo 3D, enquanto uma seta indicadora do Norte pode ser útil para confirmar a sua orientação. Devemos apenas lembrar que não se deve movimentar nada da cena entre a captura da primeira e da última fotografia, escala e seta do Norte incluídas. Um controlo remoto de disparo permite captar fotografias sem tocar na câmara e assim definir uma velocidade de obturador mais lenta. Por fim, um cartão de memória com grande capacidade é fundamental devido ao grande número de fotografias e enorme tamanho das imagens em formato RAW.

A elaboração prévia de uma *checklist*, pode também ser de grande utilidade. Esta pode ser criada e impressa para posterior preenchimento no campo, indicando quais os passos a seguir, informações sobre o monumento, os parâmetros de exposição, um esboço com a localização dos alvos e respetivas coordenadas, entre outras dados que se considerem úteis.

4. Problemas comuns durante a aquisição de imagens

4.1. Luminosidade

Como estaremos a trabalhar no exterior, estamos dependentes da luz natural, o que pode ser tanto ótimo como péssimo, dependendo das condições climáticas. Um dia com céu limpo vai trazer luz solar direta sobre o monumento, criando sombras muito acentuadas, que irão ficar permanente marcadas nas texturas da cena fotografada (3DFLOW, 2021: 10; ALICEVISION, 2019: 75). No caso da existência de vegetação nas imediações, as sombras projetadas por esta irão prejudicar o posterior alinhamento, especialmente se o vento causar movimentação nas sombras da cena. Outro fator a ter em conta é a diferença de exposição entre o interior de uma câmara coberta com chapéu e o exterior do monumento. Durante a incidência direta de luz solar, a câmara provavelmente vai estar muito escura para que se possam manter os mesmo parâmetros de exposição utilizados no exterior. Nesse caso, será recomendável o alinhamento dessas fotografias em lote separado das captadas no exterior e depois então fundir as duas nuvens de pontos resultantes (Sapirstein e Murray, 2017: 347).



Figura 5. Anta 1 do Barrocal (Évora). Fotografia com incidência solar direta fez com que a diferença entre a luminosidade da câmara e do exterior fosse muito acentuada.

Em certos casos, como antas de pequenas dimensões por exemplo, pode-se realizar a aquisição de fotografias durante os períodos vulgarmente chamados de *blue hour* e de *golden hour*, ou seja, nos períodos imediatamente anterior ao nascer do sol, ou imediatamente após o pôr do sol. Durante estes curtos intervalos de tempo não existe incidência direta da luz solar, providenciando assim uma excelente luz difusa que

apenas projeta sombras suaves. Infelizmente o intervalo de tempo de que dispomos para a realização de um levantamento fotogramétrico nestas condições é extremamente limitado, com apenas cerca de 15 minutos de luz difusa ótima. Em experiência realizada por mim durante o crepúsculo permitiu observar que após o pôr do sol, a luz vai ficando gradualmente mais fraca e após 15 minutos já não é possível continuar com a aquisição de fotografias sem alterar os parâmetros de exposição, o que pode complicar bastante o processo de alinhamento de pontos.



Figura 6. A Anta 1 do Barrocal (Évora) revelou-se um monumento demasiado grande para um levantamento fotogramétrico durante a golden hour.

Dias nublados são excelentes para a fotogrametria, no entanto, dias pouco nublados são sinónimo de projeção dinâmica de sombras durante a aquisição das fotografias e, portanto, basta uma nuvem sobrevoar a cena para criar lotes de imagens com exposições desiguais, mais uma vez prejudicando ou até impossibilitando o alinhamento de algumas fotografias. Um céu completamente coberto, potencialmente

resolve este problema proporcionando uma boa luz difusa (Ch'ng *et al*, 2019: 9-10), mas com o perigo sempre constante da ocorrência de trovoadas ou precipitação.



Figura 7. Excelente exposição derivada de um céu encoberto. Anta da Aboboreira (Vila Viçosa)

4.2. Vegetação

Como a maioria dos dólmens se encontram em meio agrícola, existe sempre grande probabilidade de que o sepulcro esteja coberto ou ocultado por vegetação. Esta pode ser composta por mantos de silvas (*Rubus Sp.*) ou por espécies arbóreas que crescem no interior das câmaras e dos corredores, onde estão fora do alcance das lavras e têm acesso à humidade retida pelos esteios. O problema associado à existência de silvas é o fato de os softwares de reconstrução digital terem dificuldade em reconstruir planos de superfície complexos como os caules espinhosos e folhagem destas e de outras espécies arbustivas. A ocorrência de movimentos durante a aquisição das fotografias derivado do vento irá também prevenir o correto alinhamento dos pontos destas superfícies (ALICEVISION, 2019: 75). No caso das árvores, além de poderem complicar o alinhamento através dos movimentos provocados pelo vento e das sombras projetadas pelas folhagens, irão também criar mais superfícies (por vezes muito complexas) e assim aumentar o grau de dificuldade da reconstrução digital do monumento. É comum o aparecimento nas nuvens de pontos, de “pontos de ruído” com origem em folhagem que não foi corretamente reconstruída pelo software.

Mesmo que se consiga um alinhamento correto de todas as fotografias, o tempo despendido na limpeza das nuvens de pontos, torna assim o processo fotogramétrico de antas com vegetação extremamente moroso e ineficiente. A presença de vegetação pode ainda ocultar elementos pertencentes ao monumento e assim comprometer um bom trabalho de reconstrução digital. Por fim uma nota para a expansão desenfreada do plantio de olival em regime intensivo e super-intensivo, nomeadamente no Alentejo, que para além da ameaça óbvia à conservação do património, também complica os trabalhos de levantamento fotogramétrico.



Figura 8. Exemplo de monumento com demasiada vegetação. Anta 4 da Herdade do Pombal (Terrugem).

4.3. Dimensões

As dimensões de um dólmen são também um fator que pode originar dificuldades à boa realização de um levantamento fotogramétrico. Para um correto alinhamento de fotografias, como vimos anteriormente, é fundamental que exista uma boa cobertura fotográfica da superfície do monumento. No caso de pequenas antas, por vezes com apenas uns centímetros de esteios visíveis à superfície, o processo é bem simples. Mas para as grandes antas, com esteios e chapéus a uma altura superior à do fotógrafo, isto pode se revelar um obstáculo. Enquanto um modelo tridimensional de um dólmen

desta última categoria é bem mais vistoso de um ponto de vista estético, o processo de aquisição de fotografias é também mais complexo. Para assegurar uma boa cobertura, vão ser necessárias mais fotografias e com um maior número de planos de visualização. Para se poder fotografar a superfície superior de um chapéu por vezes vamos ter de recorrer a plataformas mais elevadas de disparo, como uma escada ou um andaime, às custas da mobilidade e do tempo de instalação. Outra solução é a montagem da câmara na ponta de um bastão telescópico, mas terá neste caso que se ter uma forma remota de visualização da câmara e de disparo do obturador (Historic England, 2017: 71-73). Dependendo da compatibilidade da câmara, podemos utilizar um *smartphone* ou um ecrã digital conectado por cabo de vídeo. Não devemos, no entanto, esquecer que este método é muito instável e propício a imagens desfocadas e por isso os parâmetros de exposição devem ser adaptados para que se possa utilizar uma velocidade mais rápida do obturador.

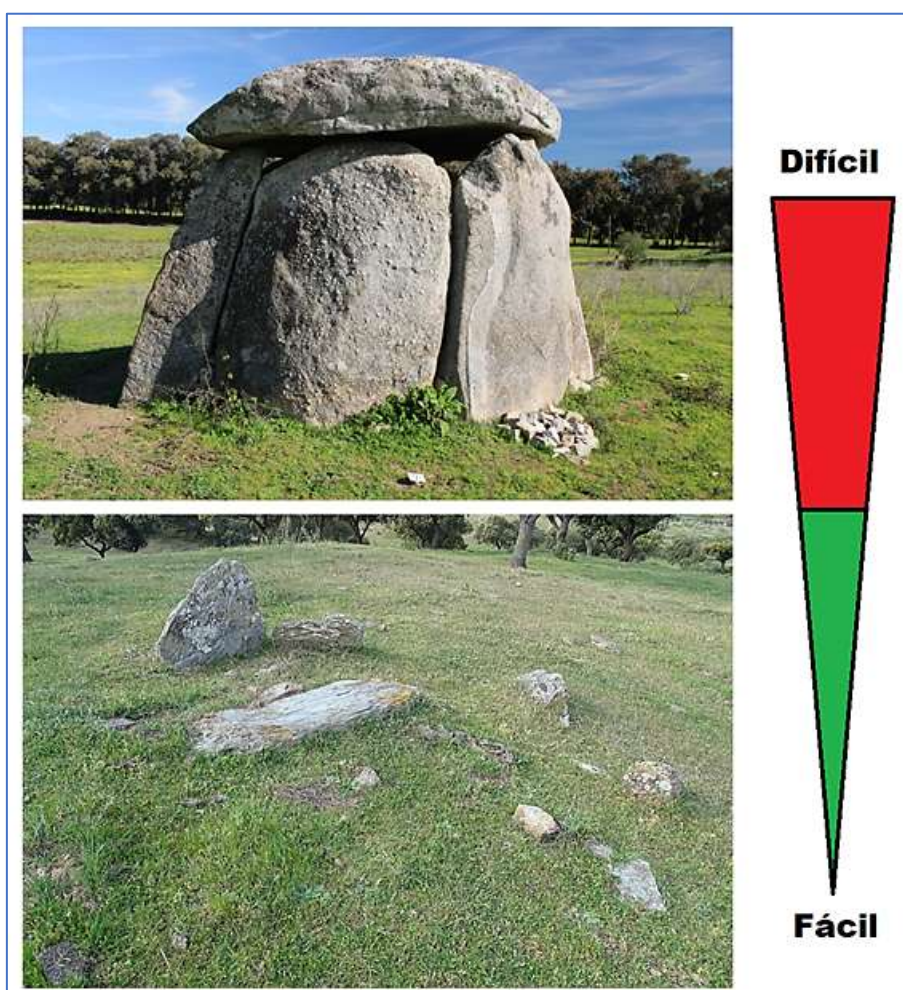


Figura 9. Exemplos de antas com graus de dificuldade distintos. Baixo: Anta 2 da Herdade do Pombal (Terrugem). Cima: Anta 1 do Barrocal (Évora).

4.4. Acesso

Dependendo sempre do meio de transporte usado para aceder ao monumento e do equipamento necessário, as condições de acesso são outro fator a ter em conta. Como foi falado atrás, os dólmens estão situados maioritariamente em propriedades agrícolas, o que faz com tenham de ser acedidos muitas vezes através de caminhos de terra batida, com condições de conservação que variam muito. Se tivermos em conta um acesso pedonal muito longo, também a carga originada pelo equipamento pode se tornar mais uma contrariedade. O fato de que as generalidades das propriedades são privadas também deve ser levado a sério, sendo recomendável ter o consentimento do proprietário do terreno para a realização dos trabalhos. A intransigência de alguns proprietários e os caminhos vedados, são dificuldades cada vez mais comuns a quem tenta realizar um levantamento fotogramétrico neste tipo de sepulcros. A presença de gado na propriedade pode também influenciar a boa execução dos trabalhos.

4.5. Lixo

Infelizmente, muitos sepulcros estão votados ao abandono e são alvos de despejos de lixos, entulhos e outros detritos. A sua localização, por vezes isolados dos núcleos populacionais e junto a vias de comunicação secundárias, faz com que sejam escolhidos para o despejo e ocultação de matérias descartáveis nas suas câmaras funerárias, ou nas imediações. No que toca à fotogrametria, isto vai causar o aumento de planos de superfície complexos e desnecessários, que apenas vão adicionar um grau de dificuldade ao alinhamento das imagens, além de ocultarem elementos integrantes do monumento que pretendemos fotografar. É por isso recomendável a limpeza prévia do monumento a fotografar.



Figura 10. Lixo no interior da câmara da Anta da Aboboreira (Vila Viçosa).

5. Linhas orientadoras

Tendo em conta as linhas básicas de aquisição de fotografias para fotogrametria digital e os problemas inerentes à sua realização em dólmens, penso ser possível estabelecer uma lista de linhas orientadoras que facilitem a correta reconstrução digital de um dólmén.

5.1. Planear com antecedência:

- Tentar fotografar com o céu encoberto, ou com sombra total (sem luz solar incidente). Podemos utilizar uma lona para criar sombra em monumentos mais pequenos;
- Ter em conta o tempo despendido na realização dos trabalhos. Se optar por fotografar antes do nascer do sol ou depois do pôr do sol, assegurar se terá tempo suficiente para terminar antes que o sol incida na cena, ou antes que fique demasiado escuro para poder fotografar sem alterar os parâmetros de exposição a meio da sessão;
- Delinear o trajeto até ao monumento, assegurando se o acesso é permitido e quais as condições de conservação dos caminhos. Ter em atenção os eventuais percursos a pé, obstáculos (vedações por exemplo) e o transporte do equipamento;

5.2. Preparar o equipamento:

- Recomenda-se o uso de uma câmara fotográfica Reflex, com lente intercambiável. Uma câmara *Full Frame* é a melhor opção, mas o seu preço pode ser proibitivo;
- Recomenda-se igualmente a utilização de uma lente com distância focal fixa (lente *prime*). Se utilizar uma lente *zoom*, deverá definir uma distância focal e fixar o anel de focagem com fita adesiva, de modo a garantir que essa distância focal não se altera durante a sessão fotográfica. Um valor entre 20mm e 50mm é o ideal, proporcionando um amplo ângulo de visão, ao mesmo tempo que se evitam as distorções causadas pelas lentes *fish eye*;
- Se a luz disponível for muito fraca, considerar a utilização de uma plataforma de apoio para a câmara, como um tripé ou monopé. Enquanto o primeiro garante uma maior estabilidade e, portanto, permite trabalhar em ambientes com menor luminosidade, o último vai providenciar uma maior mobilidade e maior eficiência no decurso dos trabalhos. No caso de se optar pela utilização destas plataformas, tentar dispor de um meio de controlo remoto do obturador. Na sua indisponibilidade, pode-se também efetuar o disparo recorrendo à função de temporizador da câmara;



Figuras 11. Diferentes posições de utilização de um tripé.

- Se for necessária a georreferenciação do modelo final, é então imprescindível um método de recolha de coordenadas. Aqui vai depender do nível de precisão pretendido para o projeto e das ferramentas disponíveis, que podem ir desde a antena GPS de um *smartphone* a um GPS diferencial ou uma estação total. Preparar também os alvos a integrar na cena fotografada, com atenção à sua visibilidade nas fotografias. É recomendável a utilização de alvos codificados para uma posterior deteção automática por parte do software de reconstrução digital;

- O uso de escalas, tanto de cores, como escalas métricas também é recomendável. Uma escala de cinzas é extremamente útil para definir um correto balanço de brancos durante a pós-edição, quando se trata de imagens em formato RAW. A escala métrica vai ajudar a aumentar o nível de precisão do modelo final. Também se pode integrar uma seta indicadora do Norte. Sendo assim, não esquecer de levar uma bússola;
- Se quisermos verificar o nível de cobertura fotográfica do monumento, podemos transportar para o terreno um computador portátil e tentar um alinhamento rápido das fotografias. Não devemos esquecer de dispor de um método de transferência das imagens da câmara para o computador;
- Tentar perceber quais os acessórios que se ache necessário para realização dos trabalhos. Um cartão de memória é obrigatório, de preferência com grande capacidade. No campo do opcional temos as baterias extra da câmara ou os filtros. Pode-se também levar outras lentes, tendo sempre em atenção que alterar a lente a meio da sessão pode criar problemas no alinhamento posterior. O uso de flash não é recomendado em fotogrametria de dólmens. A luz emitida pelo flash vai criar zonas com sombras muito duras que irão dificultar os processos de reconstrução fotogramétrica e deve, portanto, ser evitada a sua utilização (Historic England, 2017: 28). Fita(s) métrica(s) para medir as distâncias de aquisição de imagens e fita adesiva para fixar o anel de focagem ou o anel de distância focal também podem ser úteis, tal como um kit de estacas e corda, que podem ser utilizados para delinear a trajetória de captação das imagens;
- Considerar a criação e utilização de uma *checklist*, onde se poderá introduzir informação sobre o monumento, os parâmetros de exposição da câmara, um esboço com a localização e coordenadas dos alvos, entre outras informações que se achem necessárias para o futuro; Nessa *checklist* deverão estar também os passos do fluxo de trabalho a seguir;
- Antes ainda de partir para o terreno devemos assegurar que temos bateria(s) com carga suficiente e que o cartão de memória está formatado.

5.3. Preparar a cena:

- Verificar o estado atual do dólmén. Devemos ter em atenção a todos os fatores que possam influenciar o alinhamento dos pontos e correta visualização dos elementos

do monumento. Se necessário (e possível), devemos proceder à limpeza de eventuais detritos, lixo ou vegetação que prejudiquem a aquisição de imagens;

- Se utilizados, os alvos deverão ser espalhados pela cena a fotografar, com um número de alvos igualmente distribuídos (o Manual do Usuário do Metashape recomenda um mínimo de 10 alvos, mas experiência pessoal garante que 3 alvos permitem a reconstrução georreferenciada de pequenos monumentos). Estes deverão ser bem visíveis para uma posterior deteção mais facilitada. Os alvos vão também ajudar no alinhamento correto das imagens;
- Georreferenciar os alvos vai permitir a construção de um modelo métrico, ou seja, com dimensões à escala real. Isto pode ser efetuado com recurso a uma estação total, ou um GPS diferencial. Após a recolha de coordenadas, não se deve retirar os alvos. Estes só devem ser retirados após terminar a aquisição de imagens;
- Em seguida, devemos preparar a cena a ser fotografada, com escalas métricas, escalas de cores, seta indicadora do Norte, etc. Estes acessórios devem ser perfeitamente visíveis, mas sem bloquear os elementos pertencentes ao monumento. A escala de cores (ou de cinzas) deverá estar virada para o céu, de modo que receba a mesma luz natural que banha o dólmen (Lachambre *et al*, 2017: 26). Isto fará com que seja possível atribuir um correto balanço de brancos num software de pós edição das imagens em formato RAW;



Figura 12. Cena a fotografar com alvos, escala de cinzas e escala métrica em posição. Anta 1 do Barrocal (Évora).

- Podemos ainda planejar o percurso que seguiremos durante a captação de fotografias. Para que mantenhamos a mesma distância face ao monumento, é útil a demarcação do trajeto no chão em volta deste. Para isso podemos utilizar uma corda, depositando-a ao longo do percurso e à distância pretendida, medida com uma fita métrica;
- Se aplicável, procederemos então à instalação da câmara no suporte escolhido, seja ele tripé, monopé ou bastão;

5.4. Definir os parâmetros da câmara:

- O formato de imagens deverá preferencialmente ser RAW, ou RAW + JPEG;
- O balanço de brancos na câmara deverá estar definido em qualquer outro parâmetro além do automático. A definição do balanço de brancos, no caso de fotografias em formato RAW será realizada em software de edição, portanto este parâmetro não é tão importante;
- Definir o foco no infinito na câmara e desligar o foco automático e o controlo de estabilidade. Ter em atenção não alterar o foco durante a sessão fotográfica. Para evitar isso poderemos fixar o anel de focagem com fita adesiva;
- No caso da utilização de uma lente *zoom*, devemos selecionar uma distância focal e fixar também esse anel com fita adesiva, de modo que não alteremos a distância focal a meio do processo de aquisição de imagens;
- Colocar a câmara em modo Manual;
- Definir o valor mais baixo de ISO (normalmente 100);
- Fechar a abertura de lente até um valor entre f8 e f11, para que asseveremos que toda a cena se encontra em foco. Zonas desfocadas deverão ser evitadas a todo o custo, pois irão dificultar o processo de reconstrução digital;
- Regular a velocidade do obturador até obter uma exposição ótima. Se for necessário utilizar uma velocidade mais lenta que 1/160, devemos considerar a utilização de um tripé/monopé, ou então aumentar os valores de sensibilidade ISO às custas da qualidade das imagens.

5.5. Fotografar o exterior:

- A primeira fotografia deverá incluir a escala de cores (ou escala de cinzas), por forma a termos uma referência posterior para aplicar o balanço de brancos;

- Devemo-nos certificar que cobrimos a totalidade do monumento com as nossas fotografias. Para isso podemos seguir um percurso predefinido, que cubra vários ângulos. Como vemos no exemplo da figura 13, faremos três voltas em volta do exterior do dólmen. A primeira com a câmara paralela ao centro do sepulcro, com este ocupando a maior parte ou a totalidade da imagem. Captamos cada imagem, garantindo um mínimo de cerca de 2/3 de sobreposição sobre a imagem anterior. Evitar realizar ângulos muito acentuados, pois estes podem complicar o alinhamento;
- Completar a volta até chegar à posição da primeira fotografia;

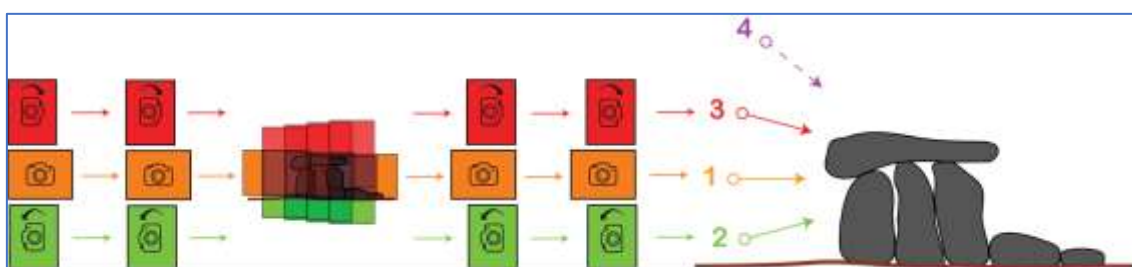


Figura 13. Exemplo de sobreposição durante a aquisição de imagens de uma anta.

- Em seguida, realizamos uma nova volta numa posição mais baixa. Giramos a câmara 90°, deixando o sensor orientado em “modo retrato” e inclinamos cerca de 15° para cima, certificando que o monumento está enquadrado em cerca de 2/3 da imagem (ver figura 13). Este processo vai garantir que teremos cobertura também de um plano inferior e consequentemente vai incrementar a qualidade do modelo. Fotografamos como na volta anterior, também assegurando uma sobreposição de cerca de 2/3 entre imagens, terminando mais uma vez na posição da fotografia inicial;
- Realizamos uma terceira volta, desta vez com uma posição mais elevada que a primeira, girando a câmara 270°, ficando mais uma vez em modo “retrato”, mas invertida em relação à orientação da segunda volta. Inclinamos a câmara, de forma que fique apontada desta vez 15° para baixo, mais uma vez assegurando que o monumento ocupa cerca de 2/3 da imagem. A volta será executada da mesma forma que as anteriores terminando na posição onde foi tirada a primeira fotografia. Este método vai assegurar que temos cada plano de superfície fotografado a partir de pelo menos 9 ângulos diferentes.

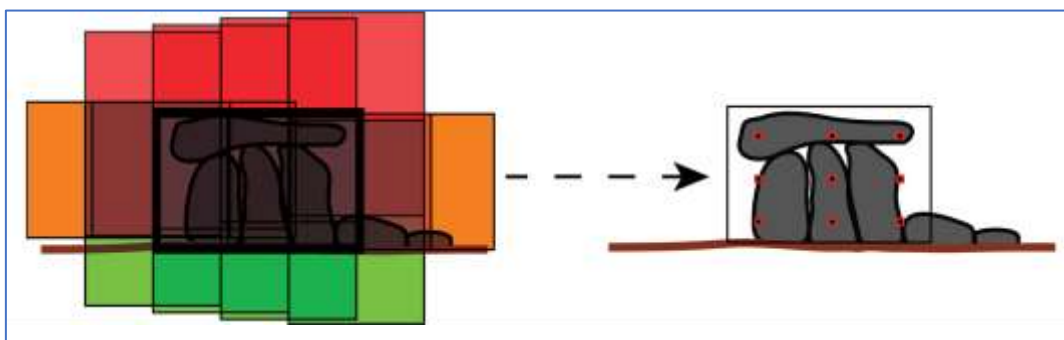


Figura 14. Cobertura ideal de um plano, com 9 ângulos de captura (Mathews, 2008: 43-46). Adaptado.

- No caso de monumentos com chapéu, é possível que seja necessária uma quarta volta que cubra a parte superior, especialmente quando nos deparamos com antas de grandes dimensões. Ter em conta que a utilização de bastões e monopés para poder fotografar em posições mais elevadas vai criar uma nova série de dificuldades. A câmara estará fora do alcance do utilizador e, portanto, teremos que dispor de um método de disparo remoto do obturador. Recomenda-se igualmente um método de visualização remoto. Ambos podem ser solucionados com o recurso a um dispositivo móvel conectado à câmara como um *smartphone* ou um *tablet*. Verificar a compatibilidade da câmara com estes aparelhos previamente. Atentar também a que o manuseamento de apoios como bastões e monopés podem causar movimentos bruscos durante o disparo. Poderá ser necessária uma velocidade mais rápida do obturador nesta situação, e conseqüentemente uma alteração dos outros parâmetros de exposição. Se for esse o caso, dever-se-á alinhar estas imagens separadamente do resto.



Figura 15. Resultado da falta de cobertura fotográfica no interior da câmara e na face superior do chapéu. Anta 1 do Barrocal (Évora).

5.6. Fotografar o interior:

- Para fotografar o interior é recomendável que o façamos a partir do lado oposto do plano que queremos captar (Historic England, 2017: 38; 3DFLOW, 2021: 9-10). Deste modo aproveitamos a maior distância possível desse plano e poderemos assim incluir um maior ângulo do interior do sepulcro enquadrado na imagem;
- Em monumentos de menores dimensões isto não será possível, tendo que se realizar o levantamento a partir do exterior (se não estiver coberto por chapéu). Uma solução é fotografar a partir de uma posição elevada, tentando captar o maior número de ângulos do interior do dólmen, mas sempre fotografando a face oposta;
- De resto, a aquisição de imagens do interior da anta deverá ser realizada da mesma forma que o exterior, isto é, tentando efetuar o processo em três voltas com alturas e inclinações distintas, de forma a conseguir o maior número de ângulos e sempre com um mínimo de 60% de sobreposição entre fotografias;

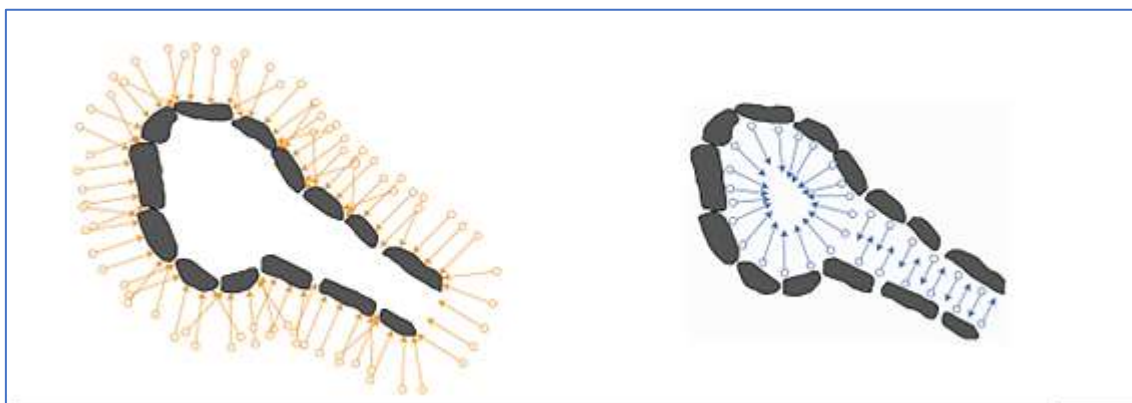


Figura 16. Exemplos de trajetos para aquisição de imagens no exterior e interior.

- No caso de câmaras funerárias com pouca luminosidade, poderá ser necessário redefinir os parâmetros de exposição. Nesse caso devemos tentar alinhar em separado essas fotografias, para que não comprometam o alinhamento das restantes. Para que seja mais fácil a fusão de ambas as nuvens de pontos do interior e exterior da anta, é altamente recomendável a aplicação de alvos numa área que seja comum a elas. Esses alvos vão depois ser utilizados como referência no alinhamento das duas nuvens, que irão fundir mais suavemente entre si.
- Por fim, e antes de desmontar a cena fotografada, é aconselhável a revisão da qualidade das fotografias, para que se possam descartar quaisquer imagens que comprometam o processo de reconstrução digital, como fotografias desfocadas por exemplo. Verificamos também se a cobertura de fotografias será suficiente, ou se falta

fotografar algum nicho de acesso mais difícil. Se for esse o caso, podemos ainda voltar à cena e fotografar o que falta, desde que nada tenha sido alterado da cena, incluindo a luminosidade.



Figura 17. Exemplo de imagem a descartar. Fotografias desfocadas como esta irão complicar o processo de alinhamento e de construção da nuvem de pontos.

6. Considerações finais

Como pudemos observar, a realização de um levantamento fotogramétrico implica muito mais que importar fotografias tiradas por um *smartphone* e deixar o software correr os processos de reconstrução tridimensional. Em arqueologia, como em qualquer outra área científica, devemos sempre tentar adotar metodologias de trabalho criteriosas e que sirvam um propósito analítico. Para isso é fundamental que exista uma padronização de processos que possam ser replicados e que sejam passíveis de validação pelos pares.

Posto isto e tendo em mente os princípios básicos de fotogrametria e as dificuldades inerentes à complexidade dos dólmens que possam vir a surgir, creio poder resumir no seguinte esquema as linhas orientadoras referidas nestas páginas:

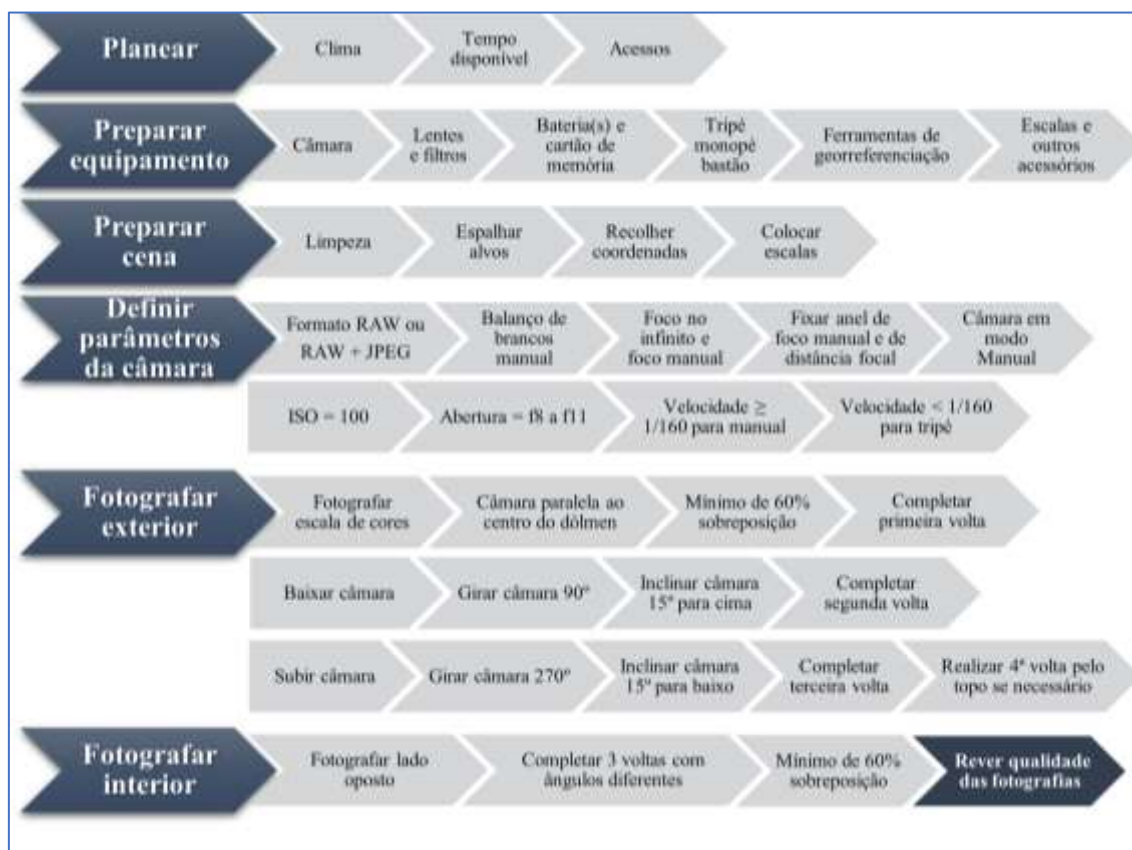


Figura 18. Fluxograma de processos presentes nestas linhas-orientadoras.



Figura 19. Modelo tridimensional da Anta da Aboboreira (Vila Viçosa).

7. Bibliografia

- 3DFLOW (2021) – *3DF Zephyr User Manual v6.0*. Disponível em <https://www.3dflow.net/technology/documents/3df-zephyr-tutorials/> Consultado em 15 Janeiro 2022.
- AGISOFT (2022) – *Agisoft Metashape User Manual, Professional Edition, Version 1.8*. Disponível em: <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>. Consultado em 12 Janeiro 2022.
- ALICEVISION (2019) – *Meshroom, Release 0.1*. Disponível em https://meshroom-manual.readthedocs.io/_/downloads/en/v19.01.45/pdf/. Consultado em 16 Janeiro 2022.
- BARNES, Adam (2012) – Checklist for Close-Range Photogrammetry Image Collection. *CAST Technical Publications Series*. Number 10840.
- CERRILLO-CUENCA, Enrique; BUENO-RAMÍREZ, Primitiva; BALBÍN-BEHRMANN, Rodrigo de (2019) – “3D Mesh Tracings”: A protocol for the digital recording of prehistoric art. Its application at Almendres cromlech (Évora, Portugal). *Journal of Archaeological Science: Reports*, Vol. 25, p. 171-183.
- CERRILLO-CUENCA, Enrique; SANJOSÉ BLASCO, José; BUENO-RAMÍREZ, Primitiva; PÉREZ-ÁLVAREZ, Juan; BALBIN-BEHRMANN, Rodrigo de; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, Manuel (2021) – Emergent heritage: the digital conservation of archaeological sites in reservoirs and the case of the Dolmen de Guadalperal (Spain). *Heritage Science* 9. Article 114.
- CH'NG, Eugene; CAI, Shengdan; ZHANG, Tong E.; LEOW, Fui-Theng (2019) – Crowdsourcing 3D cultural heritage: best practice for mass photogrammetry. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, Vol. 9 No. 1, p. 24-42.
- HISTORIC ENGLAND (2017) – *Photogrammetric Applications for Cultural Heritage: Guidance for Good Practice*. Swindon: Historic England.
- LACHAMBRE, Sébastien; LAGARDE, Sébastien; JOVER, Cyril (2017) – *Photogrammetry workflow*. Disponível em https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.Pdf. Consultado em 26 Janeiro 2022.
- MATTHEWS, Neffra A. (2008) – Aerial and Close-range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation. *Technical Note 428*. Washington, DC: Bureau of Land Management.
- SAPIRSTEIN, Philip; MURRAY, Sarah (2017) – Establishing Best Practices for Photogrammetric Recording During Archaeological Fieldwork. *Journal of Field Archaeology*, Vol. 42, Issue 4, p. 337-350.
- WALDHÄUSL, Peter; OGLEBY, Cliff (1994) – 3 x 3 rules for simple photogrammetric documentation of architecture. *ISPRS Archives XXX*, p. 426-9.