Producao cartografica – resumos

1. Projeto de producao cartografica
   1. – Passos de um projeto de producao cartografica por fotogrametria

A fotogrametria é uma das mais importantes técnicas de aquisição de dados para um SIG. Para a produção cartográfica é utilizada primordialmente a fotogrametria aérea, podendo esta ser complementada por outras técnicas:

- levantamentos LIDAR

- levantamentos topográficos pontuais

- recolha de dados não espaciais em campo.

Métodos de restituição utilizados são a estereorrestituicao, dando origem a representações de traco e cartas e a rectificacao fotográfica, dando origem a ortofotos e ortofotomapas.

A base de todos os processos fotogramétricos para produção cartográfica é composta por duas fases: voo fotogramétrico e georreferenciação. Só apos estas operações é que se pode passar ‘a restituição do pormenor por esterreorestituicao ou retificação.

* 1. – produção de cartas de traco

A informação adquirida por estereorrestituicao de fotografias aéreas é tridimensional e pode ser utilizada para vários objetivos – um dos objetivos principais é a produção de cartas. Normalmente o nível de detalhe (NdD) da representação cartográfica condiciona a priori a informação que se deve extrair. Quando se vai estereorrestituir já se sabe qual vai ser a escala de representação e só se recolhem do modelo estereoscópico os elementos representáveis cartograficamente nesse nível de detalhe. Caso não se saiba a priori a escala de representação final, estereorrestituir para o maior detalhe que a qualidade das imagens e da georreferenciação permitam.

A informação é guardada numa base de dados. Poderao posteriormente ser geradas representações cartográficas a varias escalas. O passo de associação de atributos aos objetos estereorrestituidos pode ser realizado simultaneamente com a estereorrestituicao ou posteriormente e chama-se edição cartográfica.

* 1. - Producao de ortofotomapas

Ortofotos/ortofotomapas – produtos fotogramétricos obtidos por retificação a partir de fotografias aéreas, representados pela sua radiometria em cores naturais. A retificação fotográfica exige o conhecimento prévio do relevo da zona fotografada em modelo digital de elevação.

* 1. – produção de modelos de elevação

Subproduto da estereorrestituicao utilizado para obter curvas de nível para as cartas de traco e para ser utilizado na retificação para ortofotos.

Atualmente a fotogrametria aérea pode ser utilizada na aquisição de dados 3D, tanto para modelos digitais de terreno como para a elaboração de modelos utbanos.

2 – produção de cartas de traco por esterreorestituicao.

Carta:

* Representação projetada no plano XY
* Reduzida ‘a escala
* De uma zona de superfície terrestre
* Contem primitivas geométricas (ponto, linha, polígono)
* Pode ser impressa ou digital
* Quando impressa tem uma escala
* Quando não impressa tem um nível de detalhe (NdD)
* Carta impressa:
  + Informação geoespacial projetada no plano
  + Quadricula coordenada (grelha)
  + Datum
  + Escala
  + Legenda
  + Data da informação
  + Orientação
  + Titulo
* Cartas topo-geograficas - Todos os temas são representados com o mesmo nível de importância:
  + Hidrografia
  + Altimetria
  + Ocupação do solo
  + Construções
  + Transportes
  + Infraestruturas
  + Mobiliário urbano
  + Unidades administrativas
  + Toponímia
* Nas cartas temáticas são representados determinados fenómenos ou comportamentos da natureza ou da sociedade. Ex.:
  + Cartas físico-geograficas (geológicas ,botânicas)
  + Cartas socio-economicas (económicas, de recursos, populacionais, culturais, históricas)
  + Cartas técnicas (cartas náuticas, aeronáuticas)
* A elabioracao das cartas topogeograficas segue as normas estabelecidas para cada escala ou NdD pela autoridade de cartografia
* Autoridade de cartografia define:
  + Catalogo de objetos a restituir e respetivos atributos
  + Precisões geométricas exigidas
  + Consistência com o catalogo
  + Completude.

Elementos cartográficos caracterizam-se do seguinte modo:

Hidrografia – representa todos os cursos de água naturais ou artificiais ‘a superfície, incluindo obras de arte hidráulicas. A linha de costa e as superfícies aquáticas estão incluídas neste tema. Todos os elementos deste tema podem ser estereorrestituidos.

Altimetria – constituída pela morfologia da superfície terreste. É exigida a reprodução precisa da posição, dimensões e formas do relevo e que a representação utilizada possibilite a determinação de cotas em qualquer área da carta, bem como de desníveis relativos. A representação deve facilitar a apreensão visual de vários tipos de relevo. A altimetria de uma carta topográfica pode ser representada de forma vetorial ou matricial. Vetorial – relevo representado por curvas de nível – linhas que unem pontos de igual cota, sendo a diferenca de cotas entre duas curvas de nível vizinhas denominada equidistância natural. O valor da equidistância natural está padronizado para cada escala ou NdD. (NdD 1 – 2m, NdD2 – 5m)

Em zonas do terreno extensas que se encontrem entre curvas de nível ou onde a tendência do declive se altera há necessidade de incluir pontos isolados com a informação da respetiva cota, os pontos cotados. Em terrenos quase planos incluem-se localmente curvas de nível intermédias, com equidistância natural menor que a estipulada para a escala da carta (geralmente metade). São também representadas por símbolos zonas do terreno cujo declive seja tal que as projecoes ortogonais das curvas de nível ‘a equidistância natural estabelecida se toquem ou sobreponham, dificultando a legibilidade (aterros, desaterros, falésias). Em forma matricial o relevo é representado por um MDT.

Ocupacao do solo – representadas por manchas coloridas e símbolos as áreas cobertas por vegetação e por culturas homogéneas, bem como as áreas artificializadas. Na carta não impressa, apenas são guardados os polígonos definidores dessas áreas com os respetivos atributos.

Construcoes – este nível inclui todo o edificado definido pelos seus contornos projetados no plano XY. Em escalas maiores cada edifício é representado individualmente, passando-se ‘a representação simbólica do conjunto edificado nas escalas menores. Edificios e objetos cujo significado seja relevante e que assumam o papel de pontos de referencia são adicionalmente representados por símbolos na carta impressa. As casas são geralmente restituídas pelo contorno dos telhados.

Transportes – caminhos, ruas ,estradas e autoestradas, caminhos de ferro e estruturas associadas são representados em cartas topográficas. Nas grandes escalas, as vias são representadas com a verdadeira largura ‘ a escala e em escalas menores por uma linha cujos atributos correspondem a uma classificação da via, não estando a espessura da linha diretamente relacionada com a largura da via. Estes elementos podem ser estereorrestituidos.

Infraestruturas – Instalacoes e redes de distribuição de agua, gas, eletricidade, telecomunicações. Se forem subterrâneas não podem ser extraídas das fotografias áreas.

Mobiliario Urbano – Objetos deste tema normalmente so aparecem em grandes escalas. Constituidos por elementos tipicamente urbanos como paragens de autocarro, bandos d jardim, semáforos etc. Estes elementos são estereorrestituiveis.

Unidades administrativas – as linhas limite das unidades administrativas, a não ser que coincidam com acidentes naturairs ou objetos do terreno não podem ser estereorrestituidas.

Toponimia – este tema agrega os nomes que identificam os locais, acidentes georgraficos e rios. Cada nome esta associado a um ponto com coordenadas XY junto ao local nomeado. A toponímia não pode ser estererrestituida

2.1 – Estereorrestituidores

A aquisição de informação tridimensional do objeto a partir do par de fotografias aéreas denomina-se estereorrestutuicao. Os instrumentos para isso desenvolvidos chamam-se estereorrestituidores.

Todos incluem uma componente que permite importar as duas imagens e uma componente que permite reconstruir as orientações do par estereoscópicos, uma componente que permite a visualização em 3d, uma componente que se destina ‘a medicao em 3d e uma componente para registo dos dados restituídos.

Fase analógica – modelo estereoscópico era formado por projeção ótica direta ou indireta.

Fase analítica – aproveitamento do desenvolvimento tecnológico da computação automática, recuperando as equações fotogramétricas que não eram integradas na estereorrestituicao devido ‘a complexidade do calculo. Os estereorrestituidores passaram a integrear computadores cada vez mais potentes, dispensando soluções mecânicas e reduzindo a parte ótica ao mínimo indispensável para a observação estereoscópica.

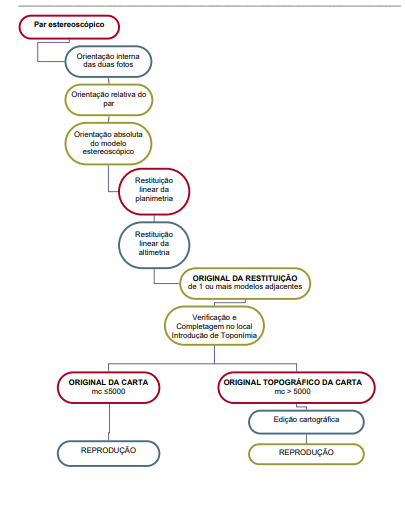
Fase digital – a dimensão da componente computacional nos estereorrestituidores foi aumentando de tal forma ao longo do tempo que nessa época se tornou possível conceber estereorrestituidores sem qualquer componente mecânica. Muitas das operações fotogramétricas puderam ser automatizadas ou semi-automatizadas, tornando o trabalho do operador humano menos moroso. As estacoes podem ser utilizadas tanto para estereorrestituicao como para ortorectificacao e restituição múltipla. Permitem uma classificação de objetos durante e apos a fase de restituição.

2.2 – Modos de estereorrestituicao

2.2.1 Esterorrestituicao gráfica

Designa-se por estereorrestituicao gráfica a operação fotogramétrica que conduz ao desenho direto sobre uma folha – que contenha a quadricula cartográfica ‘a escala e os pontos de apoio implantados pelas suas coordenadas terreno. Este modo de restituição era muito comum nos restituidores analógicos. 1- reconstrução analógica das orientações internas, relativas e absoluta de um par de fotos, 2- restituição linear do pormenor, desenhando todos os objetos.

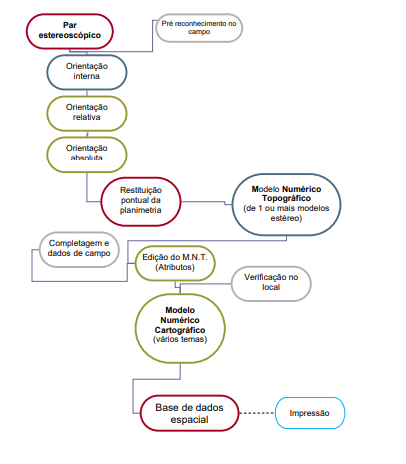
Par estereoscópico – OI das fotos – OR do par – O absol do modelo estereoscópico – Restituicao linear da planimetria – Restituicao linear da altimetria – Original da restituição – Verificacao e completagem no local. Introducao de toponímia – a) original da carta (mc<=5000) – Reproducao. B) original topográfico da carta mc>5000 – edição cartográfica – reprodução.

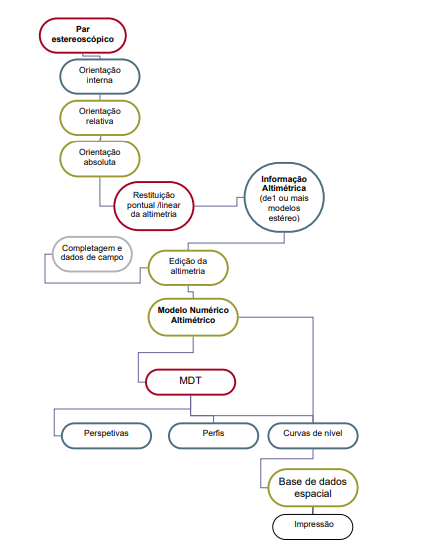


2.2.2 Estereorrestituicao numérica

Estereorrestituicao numérica distingue-se da gráfica pelo facto do seu produto imediado ser um ficheiro de dados numéricos. As operações de edição do desenho, revisão, implantação da completagem e quaisquer correcoes eram sempre feitas sobre o original da restituição em papel. Mais tarde, com oaparecimento das estacoes gráficas interativas, Esse conjunto de dados em formato numérico passou a ser considerado o próprio original de restituição. Revisoes, emendas e completagem passaram a ser efetuadas interactivamente no monitor. Aquilo que se começou por designar carta numérica é atualmente denominado modelo numérico topográfico. Este é o modo de estereorrestituicao nas atuais estacoes fotogramétricas digitais. A própria maneira de esterorrestituir difere da anterior. Os objetos planimétricos passam a ser definidos pelo operador por meio do registo das coordenadas dos seus vértices ou pontos notáveis (modo pontual) e não pelo seguimento do contorno do objeto (modo linear).

Na restituição de altimetria, a esterorrestituicao numérica proporciona alternativas ‘a geração direta de curvas de nível. Surgue a aquisição de cotas em modo pontual. Deste pode ser gerado um MDT do qual se obtem então as curvas de nível para a carta.





2.3 Precisao do pormenor estereorrestituido

Linhas orientadoreas para a estimação da precisão que se pode alcançar com a estereorrestituicao. Essa precisão não é constante e depende não so do tipo de objeto restituído e do modo como é restituído mas também:

- dos métodos de orientação utilizados

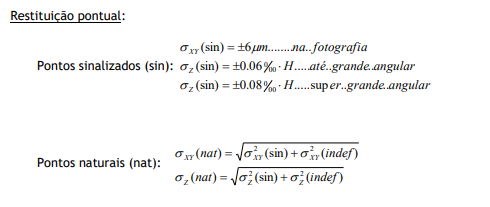
- das distorções da imagem

- da qualidade radiométrica da imagem

- do apoio fotogramétrico (PFs)

- do estereorrestituidor utilizado

2.3.1 – precisão dos objetos da planimetria



H representa a distancia ao objeto, aqui aproximado pela altura de voo sobre o solo. Os pontos naturais são obtidos com menor precisão que os sinalizados. Os valores para a indefinição (sigma) proveem de estudos empíricos.

Uma distancia calculada a partir de coordenadas determinadas fotogrametricamente vira afetada do erro medio



Sendo independente do seu comprimento,

Restituicao linear:

Erro medio de uma linha de limite de objeto



2.3.3 – precisão da altimetria estereorrestituida

Restituicao pontual:

Raster ou pontos isolados:



Curvas de nível



3 – orientações em fotogrametria

# Orientação na Fotogrametria

No momento em que uma fotografia é obtida a partir de um ponto no espaço; existe uma relação espacial única entre a imagem que se forma no plano imagem dentro da câmara e objeto que esta a ser fotografado.

Esta relação espacial é característica de cada fotografia e é definida por um conjunto de parâmetros que permitem recuperar em qualquer altura a relação espacial foto-objeto que existia no momento da captação de imagem.

A determinação dos parâmetros e a recuperação da relação espacial primitiva confirmam um conjunto de operações denominado por *orientação fogramétrica*.

Distinguem-se vários tipos de orientação fotogramétricas. Cada fotografia tem uma orientação interna e orientação externa. Enquanto a orientação interna refere-se à posição do plano imagem dentro da camara e à definição do feixe percussivo, a orientação externa refere-se à posição da câmara e à orientação do eixo fotográfico no espaço objeto.

Define-se por *Orientação Relativa* a posição relativa de 2 ou várias fotografias do mesmo objeto em relação as outras quando foram obtidas.

Define-se for *Orientação Absoluta* por orientação do modelo estereoscópico na captura do objeto e a sua escala relativamente ao objeto.

*Nota:*

*Se entre 2 fotografias de um par não existissem a partida condições próprias a estereoscopia não é criada nenhum modelo estereoscópico não sendo possível a estereotificação. Neste caso a recuperação da orientação relativa é um estágio de recuperação da orientação externa de cada fotografia*

# Recuperação das orientações

Diagram

Description automatically generated

# Parametros de Orientação Interna

Constituiem parametros de orientação interna:

Parâmetros:

Constante de camara

Dcordenadas fotos do foco principal XO e YO

Função que descrevem a distorção causada pelo sistema de antes da objetiva-distorção radial

distorçao causada pela descentragens das diversas lentes-distorçao tangivel

outras distorções como efeito da luminosidade e outras formas dificeis de modulação geralmente consideraadas como efeiros de ferramentas adicionais na orientação Nas camaras analógicas…

o sistema de coordenadas foto é definido pelas mesmas fiduciais que se encontram no plano imagem

a origem do sistema de coordenadas foto é a intersão das retas que unem as marcas difuciais diantemente opostas, denominadas por fundo médo de foto

Diagram, engineering drawing

Description automatically generated

# Calibração analítica

Dada a complexidade da geometria das imagens finais das camaras digitais de sensores matriais, que incluem sub-imagens de várias câmeras, a calibração destes em laboratorios consiste numa sessao fotografica de um campo tridimencional com muitas marcas precoordenadas, sendo os parametros de orientaçao interna determinados de modo analiticos, com algoritimos de triangulaçao fotogrametrica por feixes pespetiver para cada camara compoente

As distoçoes determinadas são corrigidas na imagem final de modo que a imagem final não contenha distorçloes raidais.

# Certificado de calibraçao

Todos os daados de orientaçao interna de uma camara são refistados num documento que se denomida por certificado de calibração, identificado com o numero de serie da camara e as objetivas submetidas a calibração.

Lista de dados:

Id da camara →marca, modelo, numero de serie

ID da objetiva→ tipo e marca

Data de calibraçao

Metodo de calibraçao usada

Distoçao radial média

A distorçao radial aparece normalmente tabuada em funçao da distancia radial ao ponto principal de simetria e ainda sobre forma de grafico r vs r

# Correção das coordenadas-foto

Pelo facto da propagaçao dos raios luminosos percorrem uma atmosmera que não é homegenea estes raios quandos refletidos pelo objeto antes de atingirem o plano do sensor percorrem uma tragetoria não retilinea assim. O modelo analitico fotogametrio deve entrar em linha de conta com todos os efeitos fisicos que afasam a fotografia real do modelo matematico ideal.

Diagram

Description automatically generated

As correçoes as coordenadas foto de maior importancia na fotogametria area são:

descentragem do ponto principal, distorçao radial das objetivas das camaras analogicas, distorçao radial positiva devido a refraçao atmosferica, distorçao radial negativa devido a curvatura da terrinha.

O objetivo desta operação de correçao das coordenadas foto é objter coordenadas fotos referedias aos ponto principal de alto colimaçao, livre destas influencias do mal.

Para isto a que entender que as coordenadas foto medidas se referem ao ponto médio e as distorçoes radiais consntantes no ponto de calibração reference ao ponto principal de simetria.

# Transformação de coordenadas imagem para coordenadas foto

Na era da fotogametria digital a medicao de coordenadas é feita sobre imagens digitais constituidas por um conjunto de pixeis de determinadas dimençao (enooormes.). Como os modelos matematicozinhos fotogrametricozinhos relacionam coordenadas foto com coordenadas objeto há a necessidade de tranformar as coordendas pixel que se metem num monitorzinho em coordendadas foto referidas no sem ponto médio.

# Caso de imagens digitais

Consideram-se imagens digirais aquelas que são obtidas por camaras digitais. Para a transformaçao de coordendas pixel de um ponnto em coordendas foto é necessário conhecer a priori 4 parametros de imagens:

Dimensao do pixel em X- XP

Dimensao do pixel em Y -YP

Número de pixel da imagem em X- NPIX X Nº de pixel da imagem em Y- NPIX Y

Diagram

Description automatically generated

Caso de imagens digitalizadas (IMG D

São consideradas img d fotografias analogicas tranformadas em digirais atravesde um scaner, estas necessitam de marcas fidociais para a definiçao do sistema de coordenadas. A passagem de coordendas PIX para a c. Foto é realizada pela transformaçao geometrica plana entre os dois sistemas de cordendas (foto e imagem). São dadas as CF das marcas fidociais e são medicas as suas coordenada pix na img d., assim podem e são determindos os parametros de transformaçao entre os sitemas. No caso da imagem possuir 4 marcas fidussiais calculam-se os parametros de uma transformação a fim. No caso de a imagem possuir 8 mar f. determina-se por transformaçao bilinear a 8 parametros.

Diagram

Description automatically generated

Cada marca fiducial medida origina 2 equaçoes pelo que são necessarios no minimo 3 marcas para determinar os 6 parametros da transformaçao afim. A quarta marca é importancia extrema por proporciona uma pequena redundancia que é suficiente parra corrigir efeitos residuais.

# Parametros de orientação externa

Os POE definem no espaço objeto (EO) a posiçao e orientaçao da camara no momento em que foi obtida a fotografia. São suficientes 6 parametros para definir a orientaçao externa de uma fotografiazinha:

Coordenas objeto do centro de progeçao

3 angulos indenpentendes que definem inequivocamente a orientaçao do eixo de rotaçao

A determinaçao destes parametros pode ser feita de modo direto ou indireto. O indireto é o mais comum e consiste na determinaçao analitica dos parametros a partir de umminimo de 3 pontos não colineares de coornedas obj conhecidas (PF) que apareçam na foto. O modo direto consiste na determinaçao dos parametros na fase da aquisiçao da propria fotografia. Em fotogrametria aera a orientaçaao externa pode ser diretamente determinada em voo com sistemas GPS/IMU.

# Parametros de orientação relativa

Os parametros de orientaçao relativa definem como se posiciona e orienta-se o plano imagem relativamente a um outro plano na fase da aquisiçao das duas fotos em causa. É definido num sistema de coordendas modelo tridimencional pelo vetor que une os dois centros de projeçao das fotos (a base do medeloznho) e pelas rotaçoes espaciais relativas das duas fotos. Pelo facto de na fase de quisiçao existir para cada ponto objeto uma complanaridade dos seus raios luminosos que formam as imagens deum ponto nas dua fotinhas e a base do modelozinho são entao apenas 5 dos parametrozinhos indepentes.

Diagram, engineering drawing

Description automatically generated

# Metedo de recuperação da orientaçao relativa de um par esteriocopico

O objetivo da recuperação da orientação relativa de um par esterioscopico é a geraçao do modelo estereocopico da zona do obj que é comum as duas fotinhas. Nos esteriorrestistidores e analititicos (FREUD) e estaçoes digitais a determinaçao dos parametros de orientaçao relativa é realizada a partir das coordenadas foto de um conjunto de pontos homologos (coordendas nas 2 fotos) num minimo de 5 pares localizados nas zonas de Von Grubber.

O operador humano apenas tem de medir coordendas foto em pontos homologos no par de fotografias. Em estaçoes digitais é possivel tbm que operadores automáticos utilizem processos de correlaçao para determinar posiçoes de pares de pontos homologos pela semelhança radiometrica o calculo d parametros é dado por equaçoes de colinariedade aplicadas aos pontos homologos nas imagens e correspondentes pontos de modelos. Em qualquer caso os parametros de orientaçao relativa são estimados pelo metodo de minimos quadrados

Pares normalizados ou/e epipolares

Nas estaçoes digitais a visualizaçao de modelos´e geralmenteefetuada em imagens normalizadas obitidas a partir das originais por um procsso analitico freud denomidado por reamostragem epipolar.

Reamostragem epipolar:

Criar duas imagens equivalentes as originais em radiometria, mas com a geometria do caso normal da fotogrametria. →eixos paralelos e paralax vertical nula em quase todos os pontos. Esta opelaçao é apenas realizada para permitir a visualizaçao esterioscopica e facilitar a correlaçao das imagens em operaçoes de feature based matching.

Parametros de orientação absoluta:

defina a posiçao e orientaçao espacial do modelo esterioscopico no espaço obj. é composta por 7 parametros:

Um facto de escala (entre as coordendas modelo e terreno M)

3 compoentes de translaçao (XmYmZm)

3 rotaçoes espaciais (OmegafiK

Matematicamente os sistemas de coordendas modelo no terreno são semelhantes pelo que a relacao epacial entre ambos os sistemas pode ser obtida pela aplicaçao dua TES

Nota:

É necessário um mínimo de 3 pontos não colineares (pontos de apoio) e que sejam medidos também as cordenads modelo do modelo estereoscopio.

4 – Camaras métricas aéreas

As fotografias aéreas são utilizadas para dois campos genéricos de aplicação:

- fotointerpretação: analise e processamento de informação principalmente qualitativa da foto

- fotogrametria: analise e processamento de informação geométrica e quantitativa da foto

Para a fotogrametria é importante:

- nitidez e poder resolvente

- precisão da geometria – ausência de distorções e aberrações da objetiva

-🡪 para realizar fotogrametria aérea so se podem utilizar camaras métricas aéreas

4.1 – camaras métricas aéreas analógicas:

As camaras aéreas analógicas produzem fotografias em suporte de filme. São concebidas para serem montadas de um modo permanente numa plataforma aérea. Para garantir a sobreposição longitudinal entre fotos consecutivas, e devido ‘a grande velocidade do avião (aprox 300km/h) é necessário que a camara esteja equipada com dispositivos que automatizem o processo de obtenção de fotos, ou seja, que permitam disparar consecutivamente, sendo os intervalos de tempo entre disparos uma função da velocidade do avião e do valor de sobreposição longitudinal pretendida.

Uma camara métrica analógica tem os seguintes componentes:

-uma base horizontavel por meio de 3 parafusos, por controlo remoto a partir do telescopio de navegação ou automaticamente por um sistema inercial.

-um bloco com um motor que aciona o processo automático de obtenção das fotos

- um cone com a objetiva que assenta no centro do anel da base e contém, alem das bobines de filme, um mecanismo de vácuo para planificar o filme.

Exteriormente ao corpo principal da camara, mas com ela interligados e montados numa abertura da fuselagem, estão ainda:

- o regulador de sobreposição

- o telescopio da navegação cuja objetiva faz um angulo de 40 a 50 graus de inclinação para baixo do horizonte. Serve para ajudar o navegador a localizar a zona onde se deve iniciar o percurso fotográfico e, na mudança de faixas, onde se deverá recomeçar os disparos.

Uma camara aérea analógica é essencialmente uma máquina fotográfica de grandes dimensões, com os mecanismos adequados ao seu funcionamento automatizado no tipo de plataforma aérea em que está montada. Uma camara aérea deve:

* Estar associada a bons instrumentos de navegação para permitir encontrar o inicio do percurso do voo fotográfico e depois deste iniciado, manter o percurso, inclusivamente em altitude.
* Ter um controlador de rumo e regulador de sobreposição, para se manter a sobreposição longitudinal ao longo do voo, ainda que a cota do terreno varie bruscamente.
* Possuir um dispositivo que evite o arrastamento da imagem durante a exposição, deslocando o filme no sentido contrario ao do voo e com uma velocidade dependente da do avião (FMC – forward motion compensation)
* Ter um obturador central para tempos de exposição curtos e rápido nos momentos de abetura e fecho.

Quanto aos aspetos relacionados com a orientação interna:

- uma camara poderá ter varias objetivas intermutáveis para poder ser utilizada em missoes com dversos bjetivos. Em cada missão normalmente so é utilizada uma determinada objetiva.

- o formato das fotografias analógicas mais vultarizado é quadrado e mede aprox 23 x 23 cm.

- devido ao grande formato das fotos, a planificação do filme durante a exposição tem que ser feita por meio de vácuo ou presao mecânica

- as marcas fiduciais encontram-se na margem da parte superior do cone da objetiva. São iluminadas artificialmente, pois a pouca lux que vem do solo não chega para as iluminar de modo a que fiquem bem impressionadas na pelicula juntamente com a imagem do terreno.

- as marcas fiduciais distribuem-se simetricamente pela margem da foto e deverão ser 8: 4 nos cantos (zona de maior distorção) e 4 no meio de cada lado (na zona mais estável). As camaras mais antigas têm geralmente só 4 marcas fiduciais.

As informações marginais destinam-se a facilitar o trabalho posterior de organização das fotos e restituição. É, por isso, importante que cada foto tenha bastantes informações, como por exemplo a imagem de:

- um contador automático de números de foto

- um relogio (para se determinar aprox a orientação da foto a partir das sombras e da hora

- um altímetro (para determinar a escala aproximada)

- um nível de bolha de ar (para detetar uma falta de horizontalidade da camara no momento de exposição)

- a data, o numero da camara e o numero do filme (para identificação do certificado de calibração e do protocolo de voo)

- o nome do projeto

- a constante da camara

- os dados da orientação externa parciais ou completos, caso a camara esteja acoplada a um sistema de navegaao por GPS ou GPS/IMU

4.2 Camaras aéreas digitais.

As camaras aéreas digitais destinam-se a aplicações cuja exigência de resolução geométrica esteja entre cerca de 1 dm e 1 metro no terreno. Resoluções melhores continuarão a ser fornecidas pelas camaras métricas de filme enquanto estiverem operacionais (1cm a 1dm) e resoluções a partir de 1m já conseguem hoje em dia ser atingidas em imagens de satélites comerciais (ex IKONOS 2 ou Quickird).

Foram desenvolvidos dois tipos distintos de camaras aéreas baseadas em conceitos diferentes: camaras com sensor CCD linear ou sensor CCD matricial.

as componentes gerais de uma camara digital incluem:

- o modulo do sensor – sensores e componente eletrónica de controlo do processo de aquisição da imagem.

- as unidades de memoria em massa – guardam toda a informação das imagens captadas

- eventualmente um sistema GPS/IMU – debita a posição espacial e os ângulos de atitude do sensor ao longo do vood. Atualmente todos os voos se realizam com apoio gps/imu.

As imagens originais são obtidas por um conjunto de sensores CCD. É feita simultaneamente a captação de radiação pancromática, de três canais com as cores fundamentais e de um canal de radiação infra-vermelha próxima. Em geral, para a mesma resolução, as imagens pancromáticas digitais apresentam melhor definição do que as imagens analógicas digitalizadas.

4.2.1 – Câmaras com CCD linear

CCD linear teve a sua origem no sensor de três linhas (para ser instalado numa missão a Marte - Objetivo era obter a partir da mesma trajetória três perspectivas diferentes que permitissem determinar um modelo digital da superfície do planeta e gerar mapas e ortofotos). O conceito deu origem a uma camara com uma so objetiva e um numero de vetores de sensores no plano focal colocados em diferentes posições, mas perpendiculares ‘a linha de voo. As camaras têm basicamente 3 vetores de sensores CCD, posicionados um no plano vertical do centro de projeção, outro posicionado para a frente no sentido de voo e outro para tras, sendo todos sensíveis no domínio pancromático do espetro eletromagnético. As camaras podem ter ainda 3 a 4 vectores multiespectrais (RGB+NIR) localizados perto do vetor nadiral no plano focal. A disposição dos vetores varia com o modelo, segundo o objetivo para o qual a camara vai ser usada. A picture containing text

Description automatically generated

A tecnica utilizada para obter as imagens no terreno é conhecida por pushbroom -o terreno é varrido continuamente ‘a medida que o aviao avanca na linha de voo.

Leica ADS – camara aerea deste tipo que melhor se implantou no mercado.

Principais caracteristicas:

Camara composta de uma so objetiva cuja constante ‘e de 62mm. Para alem do cone da objetiva possui uma cabeca onde se encontra o plano focal com os vetores de sensores e todas as componentes eletronicas necessarias ‘a aquiicao da informacao radiometica

Em cada momento apenas sao captadas 1 linha da imagem do terreno por cada vetor. O tempo de captacao e registo de cada linha é de 1.2ms

As imagens que se obtêm após justaposicao das linhas captadas sao faixas continuas do terreno fotgrafado.

Essas imagens originais apresentam distorcoes devidas ao facto de cada linha ter sido obtida de uma posicao espacial diferente e a atitude do aviao variar tambe a longo da captacao de varias linhas 🡪 a camara tem que incluir um sistema GNN/IMU associado para corrigir distorcoes. Tendo em conta as orientacoes externas, as imagens sao reprocessadas de modo a criar novas imagens isentas de distorcoes devidas ‘a atitude do aviao.

As imagens pancromaticas corrigidas vao ser utilizadas no processamento fortogrametrico. Constittuem 3 faixas (com as sucessivas perspectivas – nadir, frente e tras – na direcao de voo). Cada linha da imagem perpendicular ‘a linha de voo é composta por 12000 pixels de 6.5 micrometros que correspondem ‘a largura da imagem, sendo o comprimento da imagem variável, podendo teoricamente ser tao longo como a faixa voada.

As perspectivas para a frente e para trás de pontos correspondentes no objet permitem a determinacao automatica de um MDT. As perspectivas nadirais juntamente com os dados do MDT permitem a elabioracao de ortofotos. A visualizacao estereoscopica é possivel utilizando qualquer par de imagens (faixas parciais) de perspectivas diferentes.

A radiacao proviniente de cada área elementar do terreno é dividida nas três cores fundamentais (RGB) pr meio de um filtro tricroide quando passa a objetiva. O modelo mais moderno da ADS tem um filtro tetracroide (RGB+NIR). A imagem RGB contruida a partir dos vectores multiespetrais tem a mesma resolucao geometrica q a imagem pancromatica visto que os vetores contem um numero igual de sensores CCD de igual dimensao.

As imagens coloridas finais sao obtidas apos a ortorretificacao sendo associada a cada posicao as respetivas cores. Todo o processamento fotogrametrico tem que se realizado com software proprio.

4.2.2 Camaras com CCD matricial

O conceito baseia-se na exposicao simultanea de um conjunto de sensres CCD que se encontram agrupados em forma de matriz (em linhas e colunas sucessivas) no plano imagem, permitindo obter uma imagem instantanea do objeto. Idealmente existiria um sensor matricial de dimensoes tais que conseguisse captar o mesmo conteudo de informacao contida no formato das fotografias das camaras aereas analgicas (23x23cm). Para se conseguir com os sensores existentes obter uma imagem aérea que se assemelhe ‘as das câmaras tradicionais, os fabricantes optaram por acoplar varios sensores do mesmo tipo num só módulo. As camaras aéreas digitais com com sensores matriciais sao na realidade várias camaras, cadda uma com um sensor (ou vários associados), uma objetiva e um obturador.

Existem atualmente no mercado várias camaras digitais de grande formato (ex DMC Intergraph, Microsoft) e tambem de pequeno ou medio formato (Applamix, Dimac, Ultracam L , Leica RDC105). O objetivo de algumas das camaras médias é serem utilizadas juntamente com sistemas lidar.

A aplicacao de câmaras de pequeno formato em projetos fotogramétricos só é vivael pela sua integracao com sistemas GNSS/IMU que permitem a determinacao direta da orientaccao externa das fotografias.

4.2.2.1 Digital Mapping Camera DMC - Z(I Imaging Intergraph

A DMC foi a primeira câmara aérea matricial de grande formato que apareceu no mercado. O módulo do sensor, onde é adquirida a imagem é constituido por quatro camaras centrais e quatro perifericas. As centrais são as de maio resolucao e destinam-se ‘a captacao da imagem pancromatica. As perifericas destinam-se a captar RGB e NIR.

As quatro camaras pancromaticas (centrais) estão alinhadas de modo a que os seus eixos sejam ligeiramente convergentes – existe uma pequena sobreposicao entre as imagens captadas por cada uma das câmaras. As quatro camaras multiespetrais perifericas têm menor resolucao e estao alinhadas de modo a que cada câmara capte toda a área que as camaras centrais captam em conjunto.

Diagram

Description automatically generatedShape, rectangle

Description automatically generated

Todas as camaras estao sincronizadas para dispararem simultaneamente. As sub-imagens originais obtidas por cada câmara sao pós processadas em terra a fim de se obterem imagens finais. Para gerar uma imagem pancromática, as 4 sub-imagens centrais sao orientadas relativamente (3D) a um referencial interno por triangulacao de feixes perspectivso com base nos pontos das zonas comuns.

A imagem final resultante é uma projecao central sem distorcoes cuja constante da camara é sintetica. A imagem final pancromática é um rectangulo com a maior dimensao na direccao perpendicular ‘a do voo.

Imagens RGB e NIR (menor resolucao) sao projetadas no mesmo plano virtual e é feita uma composicao de canais. A imagem colorida é obtida por um processo designado por pan-sharpening que consiste em dividir os pixeis da imagem colorida (que são de maior dimensão) para ficarem com a mesma dimensao dos da imagem pancromatica.

A obtencao de imagens digitais com este tipo de camaras é independente de quaisquer dados de navegacao.

A série DMC II da intergraph tem uma arquitetura d módulo do sensor totalmente diferente. 5 camaras montadas com os eixos parallels com orientacao nadiral, uma pancromatica com senosor matricial de maiores dimensoes em vez dos quatro sensores anteriores da DMC. As restantes quatro imagens destnam-se aos canais multiespetrais (RGB+NIR) e continuam a ser obtidas por pan-sharpening.

4.4.2.2 UltraCam

UltracamD é uma camara digital matricial. A UltraCamHD é um modelo mais moderno com sensores de formato um pouco maiores. UltraCamX é um modelo maais moderno com sensores de formato um pouco maiores. UltraCamXp e UltraCamXp WA são os mais recentes modelos com algumas inovacoes quanto aos anteriores , mas de construcao e funcionamento básico igual ao do modelo inicial.

O modulo do sensor é constutuido por oito camaras. As quatro camaras centrais sao as que irao gerar a imagem pancromatica de maior resolucao e as perifericas sao de menor resolucao e possuem filtros de modo a que captem separadamente RGB e NIR. Todas as camaras estao montadas com eixos oticos paralelos, estando as quatro pancromaticas alinhadas segundo a linha de voo. Uma das camaras pancromaticas é designada por cone master pelo facto de a imagem final ser definida no seu plano focal. Cada camara tem um um numero diferente de sensores matriciais

Camara 1 – 1 matriz ccd

Camara 2 – 2 matrizes ccd

Camara 3 – cone master – 4 matrizes cdd

Camara 4 – 2 matrizes ccd

As camaras podem ser disparadas simultaaneamnte (mesmo instante) ou sintopicamente (mesma posicao no espaco). As quatro camaras pancromaticas disparam entao a intervalos de 1m.

As imagens captadas pelos 9 CCD das 4 camaras pancomaticas sao retificadas para o plano definido pelo cone master. A orientacao relativa é realizada com base em pontos comuns existentes entre as sub-imagens. O mosaico final é uma perspectiva central teoricamente sem distorcoes cuja constante da camara é sintetica. Essa imagem tem diemsnoes menores na direcao de voo que na perpendicular ‘a direcao de voo. 🡪 devido ao facto da imagem apresentar distorcoes nao toleraveis 🡪 evidencia que a camara era muito sensivel a vibracoes em aquisicao de modo sintopico 🡪 prefere-se a aquisicao em simultaneo e a transformaca das nove sub-imagens para a imagem homogenea e de menor resolucao em vez de ligar umas ‘as outras.

Tal como na DMC as quatro camaras multiespetrais de meno reoslucao captam casa uma toda a área do mosaico final A imagem RGB e a imagem NIR finais sao obtidas tambem por pan sharpening.

Diagram, venn diagram

Description automatically generated

Modelos digitais de elevação

Os modelos digitais digitais de elevaçao quando aplicadas a produçao cartográfica descrevem o relevo da superficie terrestre

Normenclaturas:

 DTM: modelo digital de terreno

 DSM: modelo digital de superficie

 DHM: Termo genérido para DSM e DTM

 DEM: modelo digital de elevaçao, termo generico par DSM e DTM

Deferença entre MDT e MDS

A diferença entre o MDT e um MDS consiste no facto do primeiro descrever o relevo ao nível do terreno, ignorando o que sobree le está edificado, ou arborizado. Já o segundo acaba por descrever precisamente a superficie terrestre com todas as suas edificaçoes e arvores.

Diagram

Description automatically generated

Para efeitos de cartografia de traço é importante apenas a MDT, enquanto para a ortorrefraçao em zonas mais arborizadas a utilizaçao de MDS proporciona melhorres resultados.

Tipos de modelos digitais de elevaçao

O modelo de terreno pode ser descrito de diversas formas:

 Curvas de nível→ linhas de cota constante e orientação variavel

 Perfil-linhas de orientaçao constante e cotas variavies

 Conjunçao de contas coladas de distruibuiçao regular ou irregular no plano XY

 Por uma superficie continua

 Multifaciada→ compostas por planos subjacentes de orientação espacial varivavel

 Por um conjunto de superficiens de curvaturas variaveis limitadas por figuras geométricas

Geralmente designa-se por superficie continua a que descreve o relevo de uma regulaçap por modelo digital de elevaçao. G MDEé uma função continua que fornece um e uma só valor de cora para cada ponto de coordenada planimétricas X e Y.

Z=f(x,y)

O modelo digital de elevaçao representa uma superficie 2D mergulhada num espaçp 3D. A forma de funçao é em geral bastante complexa e a sua comcordancia com o terreno real depende de qualidade e dimensionalidade da amostra de pontos cotados.

Metodo de gerar MDE→TIN e GRID

1: TIN

 Aquisição de uma amostra de pontos cotados a qual pode provir discretamente de medições ou indiretamente de curvas de nível

 Geração de uma rede de triangulo de vertices nos pontos cortados

 Criaçao de superficies planas limitaadas pelos traingulos

Chart

Description automatically generated

Nesta fase, esta se em presença de um MDE em formato TIN no qual a cota de qualquer ponto (X,y) é incoporada no plano inclinado do triangulo

A rede de triangulos regue um conjunto de critérios para melhor readaptar a describuição espacial local e geral dos pontos de amostra.

O metodo mais frequente é o de triangulaçao de Delcunco (ou Delum) no qual os triangulos são adicionados de tal modo que o circulo que passa pelas3 vertices de qualquer um dos triangulos não contem nenhum outro ponto de amostra no seu interior.

2:GRID

Para gerar um modelo GRID é também necessário adquirir uma amostra de pontos cotados. No entantoos procedimentos devergem consoante a distribuição da amostra espacial for regular ou irregular.

*Irregular:*

Caso seja, o processo passa 1º pela criaçao de um modelo TIN. A partir deste são interpretadas as cotas dos pons regularmente espaçados, com os quais se cria o modelo de GRID. O conjunto obtido denominase por amostra secundária.

*Regular:*

caso seja, podera ela propria ser utilizada para a geraçao do modelo GRID. O modelo pode ser composto por celulas regulares de cotas conjuntamente no seu interior e igual a do ponto da amostra.

A cota dequalquer ponto de coordenada X e Y é determinada no 1º caso pela cota da celula onde calha e no segundo caso por interpretaçao numa superficie curve que se adapte as cotas dos modos de malha.

Métodos de Interpolação

1. – Vizinho mais próximo: Atribui-se a cota do nodo mais próximo ao ponto
2. – Bilinear: Média ponderada das cotas dos 4 nodos vizinhos, sendo a ponderação dada entre a distância do nodo ao ponto
3. – Bicúbica: Ajustada a uma superficie curva por 16 nodos + próximos

Vantagem TIN:

Adatavel muito facilmente a qualquer tipo de amostra primária

Desvantagem TIN

Estrutura muito complexa

Vantagem GRID:

Estrutura muito mais simples

Desvantagem GRID

Pouco Adatavel a qualquer tipo de amostra primária Descontinuidades

Um modelo digital de terreno descreve tanto melhor a superficie terrestre quanto mais densa for a amostra primária de pontos cotados, e quanto melhor estiverem descritas as descontinuidades da superficie.

Descontinuidades normalmente denominadas por linhas de quebras, representam acidentes de terreno, que provocam uma mudança brusca na curvatura da superficie, ex – linhas de agua, falésias e taludes

Um dds cuidados a ter é o deverem de ser integradas as descontinuidades na amostra primária de pontos na elaboração de um MDE.

Em geral é feita a distinção entre as linhas de quebra de orientação e de profundidade

Linhas de quebra de orientação

Ex: Linhas de Agua

Indicam um vinco na superficie, devendo o MDT ligar os pontos de um lado e do outro lado da linha aos próprios pontos da linha

Linhas de quebra de profundiade

Ex: Cristas de Falésias

Indicam que os pontos de um lado da linha não devem de ser ligados aos do outro lado da linha pela mesma superficie.

Em suma, MDT’s que respeitem as linhas de quebra são geralmente hibridos, apresentando formatos GRID em zonas de terreno homogeneo e formato TIN nas zonas de linha de quebra

Métodos de Recolha da 1ª amostra

1. – Estereofotogrametria
2. – Correspondência Automática de Imagens (PDI)
3. – Laser Raging (LIDAR)
4. – Interferometria de Radar (InSAR)

1. – Estereofotogrametria

Operados humano restitui as curvas de nivel, perfis ou mede a cota de um conjunto de pontos isolados no modelo estereoscópico do terreno.

1. – Corresp. Aut. De Imagens

É realizada por diversos operadores de PDI cujo objetivo é determinar pontos homologos nos pares estereoscópicos. Como estes operadores se baseiam apenas na informação radiométrica das imagens, a amostra que se obtém poderá apenas gerar um MDS.

1. – LIDAR

Método que se baseia no voo efetuado por um avião equipado com um dispositivo emissor de um feixe de raio laser

À medida que o avião vai se deslocando, o dispositivo vai oscilando e emitindo impulsos laser para a superficie

O avião está equipado por um sistema GPS/IMU que possibilita determinar a cada momento a posição espacial do emissor e a sua orientação de feixe. Podendo assim obterem-se coordenadas 3d de cada ponto visado à superficie da Terra, e gerar um MDS.

Diagram

Description automatically generated

Importa destacar a densidad emuito alta de pontos que podem ser observados em voos baixos. Em zonas arborizadas a amostra geralmente contem pontos de topo de arvores e chao, que pelo uso de filtro pode gerar não so o MDT como tambem o MDS.

4 – LIDAR

É um método que aplica e compõe por 2 antenas e 1 emissor de impulso radas, o avião tambem integra um sistema GPS /IMU. O método e bastante eficaz e preciso nas coordenadas 3d dos pontos visados contudo em zona de elevada urbanização , o sinal eletromagentico pode sofrer de mult-trajeto que corrompe a precisão e origina lacunas de pontos visados

Precisão de um MDT

Depende de:

Cobertura de solo

Tipo de Relevo

Tipo de técnica

Graphical user interface, text, application

Description automatically generated

Aplicações de um MDT

MDE gera:

* Curvas de nivel para altimetria
* Estudos de fenomeno de declive
* Visualizações em 2.5D

6. ortorretificacao da fotografia aerea

A retificacao é um método económico de produzir cartas e tem como objetivo transformar uma fotografia , a qual é uma projeccao central, numa imagem que seja uma projecao ortogonal do terreno (objeto), derivando-se, opcionalmente, uma carta de traco dessa imagem retificadas. Mais frequentemente, obtem-se, via ortorretificaca, uma representacao do objeto (terreno) fiel na sua posicao planimetrica e com tanta densidade de informacao como a fotografia original. Esse produto designa-se por ortofoto.

Para que o produto final contenha informacao altimetrica esta terá de ser adquirida por outros metodos fotogramétricos e tera de ser sobreposta ‘a imagem reetificada em forma de curvas de nivel ou de pontos cotados. Em regra, sao necessarias varias imagens retificadas para cobrir a ‘area de uma folha de ortofotocarta.

Enquanto a ortofotocarta, tal como a carta é uma projecao ortogonal do terreno, a fotografia é uma projecao central do mesmo. A ortofoto apresenta uma escala uniforme, tal como a carta, enquanto que a fotografia apresenta distorcoes projetivas (devidas ‘a inclnacao do eixo otico) e distorcoes perspectivas (devidas ao relevo do terreno) que fazem com que a escala na area da fotografia varie com uma componente regular e uma componente irregular.

Na geracao de uma ortofoto, tem-se, por isso, em vista a eliminacao de tdas as influencias “negativas” da projeccao central na representacao do terreno, de modo a que no produto final se conjugue “o melhor dos dois mundos”: a informacao visual densa do terreno com a geometria rigorosa da escala homogenea.

A ortofoto carta digital é muito util em operacoes de interpretacao da informacao georreferenciasda. Por outro lado, a carta de traco representa uma informacao do terreno ja selecionada, interpretada e classificaa.

6.1 Evolucao e metodos

Metodos de retificacao desenvolvidos ao longo do tempo: Diagram

Description automatically generated

A retificacao grafica baseia-se na propriedade de feixes perspetivos, planos homologos na foto e na carta terem uma razao dupla invariante, o que é usado para implantar pntos da fotografia num plano cartografico.

A retificacao analitica baseia-se nas condicoes de colinearidade entre pont imagem, centro de projecao e ponto objeto. As equacoes utilizadas nesta modalidade sao as equacoes de colinearidade. Para calcular as coordenadas na carta de qualquer ponto na foto é necessario conhecer os valores dos parametros de orientacao interna e externa da fotografia. Estes valores poderao provir de uma aerotriangulacao previa ou entao, ser determinados por interseccao inversa espacial a partir de 3 pontos identicos na fotografia e na carta que nao sejam colineares.

Estes métodos apresentavam precisoes que apenas eram aceitaveis quando se tratava de terrenos planos ou quase planos.

A retificacao por projeccao subjetiva era usada para completagem de cartas com a informacao de fotografias aereas mais recentes. O operador observava em simultaneo a fotografia aerea e a carta atraves da ocular, atras da qual se encontra um prisma que refrata ambas as imagens para o observador. Atraves da inclinacao e da variacao da distancia da foto ‘a mesa onde se encontra a carta é possivel levar pormenores da foto ‘a coincidencia com pormenores correspondentes da carta, após o que o operador pode desenhar sobre a carta, ‘a mao livre, os pormenores que nela faltam, tendo a sensacao de estar a decalcar a fotografia.

A retificacao otico-mecanica foi a primeira a requerer uma componente instrumental de maiores dimensoes. Precisao dos resultados era condicionada pelo relevo do terreno fotografado. NEcessario utilizar um retificador – ampliador fotografico de grandes dimensoes cuja mesa de projecao era dotada de dois movimentos de rotacao em torno de eixos perpendiculares. Cada fotografia era retificada no seu todo de uma só vez sobre o mesmo plano de projecao. Constratrando com os métodos referidos anteriormente o produto desta retificaca era uma imagem fotografica com toda a informacao radiometrica da fotografia original e nao apenas um conjunto de pontos na carta. 🡪 resultados inaceitaveis para terrenos menos planos e escalas maiores 🡪 novo metodo que ortorretificava a mesma zona por partes, a diferentes distancias de projecao cosoante a cota do terreno.

A retificacao diferencial – superar as limitacoes da retificacao otica, aplicando o principio da ortorretificacao por partes, para cada parte elementar da foto. A fotografia era enta retificada retangulo a retangulo ao longo de perfis, sendo cada pequeno retangulo projetado no papel fotográfico a uma distancia de projecao que variava com a cota do terreno correspondente a essa posicao da foto. Por necessitar de informacao altimétrica em perfis do terreno fotografado, que tinha que se obtida previamente por estereorrestituicao o que tornava o método muito dispendioso.

6.2 Ortorretificacao digital

Com o aparecimento das estacoes fotogrametricas digitais surgiu finalmente a ortorretificacao digital que é o o método utilizado atualmente na producao de ortofotos. 🡪 transformar as imagens fotograficas de formato digital em ortofotos digitais, de modo preciso e relativamente rapido, aplicando o modelo matematico da retificacao analitica (ELECOL) sucessivamente aos pixeis da imagem digital.

Para realizar uma retificacao digital é necessario dispor de fotografias em formato digital, de um MDT fotografado e dos parametros de orientacao externa e interna de cada fotografia a retificar.

Diagram

Description automatically generated

Caso as fotografias sejam analógicas havera necessidade de usar um scanner para as transformar em formato digital. Uma estacao digital fotogrametrica sem visualizacao 3D é suficiente para a producao de ortofotos digitais. A retificacao digital envolve não só algoritmos de fotogrametria analítica e de interpolacao do MDT (ou MDS) como tambem diversas operacoes de processamento digital de imagem, nao so na ortorretificacao de cada fotografia como tambem na obtencao de um produto final.

Dois tipos basicos de procedimento analítico para criar uma ortofoto digital:

* ­Método direto – parte-se do pixel da imagem digital da fotografia e calcula-se a posicao desse pixel no terreno (MDT) e em seguida na imagem retificada a ser criada, atribuindo a essa posicao XY o valor de cinzento do pixel original

Text, letter

Description automatically generated

Text

Description automatically generated with medium confidence

Propriedades do método direto:

* Cada pixel da imagem original tem um correspondente na carta-imagem
* Os valores de cinzento da carta imagem sao os originais
* Podera haver lacunas de informacao na carta-imagem devidas a pixeis sem correspondentes na imagem original
* Metodo indireto – parte-se da posicao na imagem retificada a ser criada ‘a qual correspondem determinadas coordenadas (XYZ) retiradas do MDT e se calcula a posicao correspondente na imagem digitalizada da foto, ‘a qual se vai buscar o valor de cinzento a atribuir ‘a posicao XY da imagem retificada. Este vaor de cinzento é normallmente interpolado dos pixeis vizinhos, visto a posicao calculada (nr reais) geralmente nao coincidir com o centro de qualquer pixel (nr inteiro).

Text, letter

Description automatically generated

Pelo método indireto sao exigidos menos calculos. Como (x,y) nao calha geralmente no centro de (xp,yp) é interpolado um valor de cinzento (vdci) a partir da vizinhanca deste pizel e o valor ‘e atribuido ao pixel da carta imagem digital.

Propriedades do método indireto:

* Cada pixel da carta imagem tem um correspondente na imagem original
* Os valroes de cinzento da carta-imagem sao interpolados dos originais
* Nao ha lacunas de informacao na carta-imagem.

Qualquer que seja o método usado a qalidade geometrica da ortofoto depende diretamente da densidade e qualidade do modelo digital de terreno utilizado.

6.3 Ortofoto real

A utilziacao de um MDT preciso elimina a infuencia do relevo do terreno na escala da imagem. No entanto os objetos que sobresaem do terreno (predios, arvores) surgem em posicoes que nao correspondem ‘a sua projecao ortogonal. Este erro pode ser elimninado se se considerar um modelo digital de superficie em vez de MDT. Os DSM para este efeito podem ser adquiridos por estereofotogrametria ou por

altimetria de laser.

As ortofotos assim produzidas designam-se ortofotos reais (true ortophoto), pois nelas todos os objectos estão representados apenas pela sua projecção ortogonal no plano horizontal, tal como numa carta,

A utilização de um DSM para criar uma ortofoto gera, no entanto, lacunas em todas as zonas que na imagem original estavam encobertas pelos objectos elevados distorcidos radialmente. para evitar essa situação de lacunas de informação na ortofoto, é necessário gerar

várias ortofotos reais da mesma zona a partir de diferentes fotografias mas usando

o mesmo DSM. As zonas de lacuna de umas correspondem a zonas de não-lacuna em

outras. A ortofoto final será composta pela informação rectificada proveniente de

várias ortofotos

6.4 – Ortofotos sem DSM

A aquisicao de um MDS é morosa e dispendiosa pelo que frequentemente se produzem ortofotos a partir de DTMs. Para atenuar o efeito do relevo é apenas ortorretificada a parte central da fotografia onde a distorcao é menor. A distorcao perspectiva é particularmente notável em voos de baixa altitude e aumenta radialmente do centro para as margens da foto. Para nao haver lacunas de informacao quando se usa a parte central de cada foto, no caso mais usual de se utilizar um mosaico de varias fotos adjacentes para elaborar uma ortofoto as coberturas devem ser planeadas e executadas com sobreposicoes longitudinais >60%.

6.4.1 – metodo alternativo

* Sem DSM/DTM
* Usar camara digital linear do tipo sensor de 3 linhas (ADS)
* Voo realizado em 2 direcoes perpendiculares
* Nas imagens deste tipo de camara so existe distorcao radial devida ao relevo ao longo da linha ie na direcao perpendicular ao sensor
* Ao ser fotografado o mesmo ojeto a parti de duas direcoes de voo perpendiculares ele sofrera nas duas imagens distorcoes perspetivas em direcoes perpendiculares.
* Apos detetar pontos correspondentes nas duas imagens é possivel deduzir duas coordenadas objeto do ponto a partir das colunas onde o ponto se encontra em cada imagem.

6.5 Infrmacao altimetrica adicional

Uma ortofoto é uma representacao do terreno fiel na sua posicao geométirca (ortogonal) e com a densidade de informacao equivalente ‘a da fotografia original

A observacao de uma ortofoto simples nao proporciona informacao altimetrica sobre o terreno fotografado. Esta, ou é sobreposta ‘a imagem em forma de curvas de nível, cuja representacao é rigorosa mas pouco sugestiva, ou é introduzida p complementacao da ortofoto com elementos que permitam ao utilizador uma percecao do relevo. As tecnicas mais usadas sao:

* Anaglifo suplementar

normalmente executado a uma escala menor do que a ortofoto e é apresentado na margem desta ou como folha adicional. Consiste em projectar duas imagens adjacentes de um voo (não rectificadas), sobre uma mesma área, com cores complementares (uma em vermelho e outra em ciano) e desfasadas de uma determinada paralaxe, normalmente exagerada em relação à realidade, de modo a que, por observação com óculos de filtros anaglíficos se tenha a percepção do relevo da zona.

* Estereo-ortofoto

consiste em realizar uma ortofoto e dois estereossócios, um para cada metade (direita e esquerda) da ortofoto. O estereossócio é criado digitalmente, tal como a ortofoto, considerando uma projecção da foto original paralela mas não orthogonal. A ortofoto e cada um dos seus estereossócios devem ser observados por um estereoscópio de espelhos para ser possível percepcionar o relevo da região. Os estereossócios podem ser criados a partir das fotografias adjacentes à utilizada para elaborar a ortofoto (caso seja uma única).

Text

Description automatically generated with medium confidence

* Hipsoimagem

são basicamente ortofotos reais cujos pixeis, em vez de

reflectirem a radiometria original da imagem fotográfica, são modificados de modo

a apresentarem a intensidade original mas uma cor falsa. A cor de cada pixel indica

a sua informação altimétrica, à qual corresponde uma escala de cores

compreendendo o espectro da luz visível (extremo vermelho para as cotas mais

elevadas e extremo azul para as mais baixas). Enquanto a imagem “a olho nu” satisfaz todas as condições de uma ortofoto (de falsa cor) sem distorções perspectivas, a observação da imagem com uns óculos especiais de prismas (que dão a sensação de cada cor estar a uma distância do observador diferente das outras cores) proporciona a sensação do relevo (cromostereoscopia). A sensação nas hipsoimagens é tanto mais intensa quanto mais abruptas forem as variações de cota no terreno

6.6 Ortomosaicos

Na maior parte dos casos, as ortofotos não são usadas individualmente, mas sim

utilizadas para produzir ortomosaicos, ou seja uma composição de ortofotos

individuais para cobrirem uma área maior. Como cada ortofoto herda as

características radiométricas da fotografia que lhe deu origem, ocorre muito frequentemente, que ao juntar ortofotos num mosaico se note a transição de umas

para as outras por diferenças de tom ou de luminosidade, obtendo-se um produto

final de boa precisão geométrica mas de fraca qualidade radiométrica. Para evitar

isso, há que realizar processamento digital de imagem sobre as ortofotos que vão

compor o mosaico. Estas operações não vão afetar a geometria.

* + - 1. – ajuste da luminosidade global das ortofotos – normalizacao da luminosidade  
         Para normalizar a luminosidade das ortofotos, cada canal R, G e B é tratado separadamente.

Primeiro é calculada a média dos valores de cinzento de cada canal, R’, G’ e B’. Depois é criada uma imagem média L que é a média das 3 médias: L=(R’+G’+B’)/3 Seguidamente formam-se novos canais aplicando as fórmulas: R1 -> L\*R/R’ G1-> L\*G/G’ B1-> L\*B/B’ Por fim, faz-se a composição dos novos canais e obtém-se a imagem compensada. Esta operação faz-se para todas as ortofotos que entrem no mosaico de modo a ficarem todas com luminosidades semelhantes.

* + - 1. Tratamento de zonas comuns a cada par de ortofotos na vizinhanca da linha de separacao entre elas no mosaico a que se chama costura

A maneira mais simples de definir as costuras é considera-las retilineas a meia distancia entre os limites da zona de sobreposicao de cada par de ortofotos, tanto na direcao vertical como na horizontal 🡪 resulta em costuras visiveis.

Existem varios métodos para determina o percurso das costuras ente ortofotos de modo a que as transicoes se facam ao longo de limites nao se notando no mosaico final. Um desses métodos ‘e o seam-carving que consiste num método automatico aplicado a uma faixa da zona de sobreposicao de duas ortos de cada vez. Nessa faixa é calculada paa cada pixel uma funcao e com a seguinte formula:

A picture containing text

Description automatically generated

Onde I e J sa os valores de cinzento das ortos I e J na mesma posicao.

A partir da função e, vai-se procurar o caminho que minimize a soma dos valores de

e no seu percurso e que ligue o limite de cima ao limite de baixo da zona de

sobreposição, caso estejamos à procura de uma costura na vertical. Se a costura

procurada for na horizontal, o caminho ótimo deverá ligar o limite esquerdo ao

limite direito da zona de sobreposição nas mesmas condições. O caminho ótimo

corresponderá à costura ótima entre as duas ortofotos.

6.6.3 Blending

Objetivo: misturar os valores de cinzento das duas ortofotos na zona de transicao calculando uma media ponderada das intensidades das duas otofotos, em que o peso diminui em funcao á distancia ‘a costura.

Em cada posição, a soma dos pesos atribuídos a cada uma das duas ortos em questão tem de ser igual a 1. Começa-se por produzir uma máscara não binária com as dimensões de cada ortofoto. Fora da zona de transição a máscara tem o valor 1. Dentro da zona de transição, o valor vai diminuindo linearmente na direção da costura, tomando o valor zero no limite da zona de transição assim como em toda a área para além desta zona. Sobre a costura tomará o valor 0.5. Ao multiplicar as ortos pelas respetivas máscaras, obtém-se, na zona de transição, imagens que se vão esbatendo até desaparecerem

6.7 – Ortofotocartas ou ortofotomapas

Um ortomosaico transforma-se num ortofotomapa ou numa folha de uma ortofotocarta quando este é enquadrado numa quadrícula cartográfica à sua escala e lhe são adicionados todos os elementos gráficos necessários a uma carta gráfica. Se se tratar de uma cobertura ortofotográfica oficial, a sua designação, as dimensões e os limites do ortomosaico terão de obedecer ao seccionamento oficial do país estabelecido pela autoridade de cartografia

LiDAR Aéreo (ALS)

O LiDAR ou Laser Scanning é um método de medição de distâncias baseado na emissão e receção de um feixe laser.

A característica fundamental de um levantamento LiDAR é o fernecimento de modo direto de grandes quantidades de pontos tridimensionais dos objetos, a partir das quais em pós processamento de podem derivar superfícies, planas ou não e outros elementos descritivos do objeto.

1. Quanto à dimensão
2. Quanto à forma de voo
3. Quanto às funções que desempenham

Classificações

*Genérica:*

* ALS – Airborne Laser Scanning – LiDAR Aéreo
* TLS-Terrestrial Laser Scanning – LiDAR Terrestre

*Dentro do ALS*

* LiDAR Topográfico e LiDAR Batimétrico (ALB)

*Dentro do TLS*

* LiDAR de longa e curta distância

|  |
| --- |
| *ALS* |
| Equipamento |

1. Emissor de feixe laser (contínuo ou impulsos)
2. Defletor ótico ou eletrónco que desvia o feixe para direções diferentes das de saída do emissor
3. Codificador de ãngulo de saída do feixe associado ao defletor
4. Recetor de sinal refletido
5. Sistema IMU de alta precisão

Graphical user interface

Description automatically generated

No avião tem de estar associado um recetor GNSS, havendo outro em terra sobre a zona de levantamento, sobre um ponto de coordenadas conhecidas para permitir a coordenação da trajetória da plataforma aérea por posicionamento diferencial e a ligação ao datum em que se pretende os resultados.

Funcionamento do Laser Scanning

1. – A unidade de laser emite impulsos de radiação laser, com uma dada direção e duração.
2. – O defletor desvia esse feixe em direção à superficie terrestre. Regral geral o defletor irá desviar os impulsos segundo ângulos diferentes num plano perpendicular à direção da do voo. Sendo o ângulo de saída de cada impulso em direção à terra registado pelo codificador de ângulo.
3. – O feixe/impulso laser é refletido pelo solo /objeto e parte desse reflexo é captada pelo recetor
4. – A distância precorrida pelo impulso laser é calculada, segundo o equipamento:
   1. Pelo tempo de voo para impulsos
   2. Pela dif. De fase para o feixe continuo
5. -À medida que o defletor vai desviando o feixe, vão sendo atingidos pelo feixe vários pontos no solo distribuídos transversalmente à linha de voo.

6- À medida que o avião vai avançando esses pontos cobrem no solo uma faixa cuja largura depende da altura de voo e do ângulo máximo de defleção.

Resultado do ALS

s = c. Δt/2 c= 300 000 km/s

Δt - ocorrido entre a emissão e a recepção de um impulso

S – distância do dfletor ao ponto no solo que refletiu o impulso

A precisão deste valor depende da resolução temporal do dispositivo.

A orientação do feixe é dada pela georreferenciação direta, onde o codificador de ângulo juntamento com o IMU permitem calcular para cada impulso a sua orientação no espaço.

OGNSS permite determinar para o momento de cada impulso quais as coordenadas do ponto de origem do impuslo.

Todos estes dados, quando sincronizados para o instante t do impulso, fornecem as coordenadas polares do ponto do solo que refletiu o impuslo, ou seja uma direçao, uma origem e uma distância.

Text

Description automatically generated

Esta formula só é válida apos terem sidos considerados:

* As translações das origens(offset) do IMU e do GNSS relativamente à origem dos impulsos laser.
* O desalinhamento dos sistemas dos eixos do IMU, do codificador de ângulo e do sistema de coordenadas objeto X,Y e Z.

Constituição de um feixe laser

Um impulso laser é composto por um feixe conico de radiação eletromagnética. A largura de feixe na zona junto ao solo é tanto maior quanto for a altura de voo. Isso tem como consequência que um impuslo atinja não um ponto, mas uma área e que possa ser refletido por vários pontos a alturas diferentes, originando vários ecos

Diagram, engineering drawing

Description automatically generated

A intensidade do eco pode ser registada por formato de imagem.

Caracteristicas técnicas de um ALS

Todos os sistemas de ALS topográficos funcionam com radiação Laser no domino do infra-vermelho próximo.

* Taxa de emissão, quantos impulsos por segundo a unidade de laser emite
* Taxa de scannerização, indica quantos perfis transversais à linha de voo são cobertos por unidade de tempo.
* A abertura de scannerização (FOV), indica o ãngulo total de abertura entre os limites do leque de direções que o defletor induz aos impuslos.
* A divergência de feixo (IFOV), indica o ângulo de abertura do feixe em cada impulso medido próximo da origem
* A máxima distância inclinada, distância inclinada máxima a que o ALS pode funcionar com SNR aceitável.

Diagram

Description automatically generatedProjeção de Modelação por ALS topopgráfico

Etapas:

* Planeamento do levantamento
* Execução do levantamento – Aquisição de dados em nuvens
* Georreferenciação das nuves de pontos (X,Ye

Z)

* Ajustamento de faixas
* Interprlação de grid regular
* Geração de produtos derivados: o MDT, MDS e MDO o Curvas de Nível o Perfis o Ortofotos

Planeamento do Levantamento

Regra geral, uma determinada área é coberta por faixas paralelas de largura SW (Swath width) cujos eixos estão afastados de uma distância de 20% da sua largura.

Para produzir um relevo cujo menos enrugamento tenha um comprimento de onda Lmin srá necessária uma amostra com espaçmento mínimo entre os pontos igual a: Δ= Lmin/3

Georreferenciação das nuvens e ajuste de faixas

Geralmente após a calibração ainda pode haver discrepâncias entre a nuvem e o terreno, devido a erros de datum e entre faixas adjacentes. Para a sua correção são necessáios elemetos fotgramétricos (EFS) que controlam e corrigem a correção da georreferenciação da nuvem, localizados em zonas estratégicas de cobertura. São necesários no minimo um conjunto de 3 pontos medidos no terreno, que estejam no mesmo plano horizontal, por técnicas topográficas. Exemplos – Telhados de Casa, Campos de Jogos.

Georreferenciação : How to – Altimetria (Z)

O ajuste da georreferenciação pode ser feito do seguinte modo:

1. – 1 EF contituido por pontos 3d num plano horizontal
2. -Com os pontos 3D definidos num plano de

referênica 

1. – Na nuvem medem-se X e Y medios de alguns pontos do plano correspondente aos EF’s

4- Calcula-se Zref para esses pontos pela formula em 2

*5* – Faz se média das diferneças

6- Repete-se o procedimento para outros Efs horizontais

7 – Ajusta-se as cotas de toda a nuvem de um valor médio das diferenças de cota determinadas-

Georreferenciação : How to – Planimetria (X e Y)

Efetua-se por transformação plana da nuvem (de semelhança ou afim)

1. Os EFs devem ser em planos inclinados (p.ex. telhados não horizontais) e próximos uns dos outros.
2. Um conjunto de 3 EFs deste tipo define um ponto no terreno (intersecção de três planos)
3. Na nuvem, os três planos correspondentes aos EFs também se intersectam num ponto que é o correspondente ao anterior.
4. Cada conjunto de 3 EFs define um ponto idêntico na nuvem LiDAR. Os parâmetros da transformação plana para X e Y entre a nuvem e o terreno podem ser calculados pelos pontos idênticos (min. 2 pontos para transformação de semelhança, 3 pontos para a transformação afim).
5. Toda a nuvem é reposicionada pela transformação plana ajustando em X e Y.

De seguida pode ser aplicado tridimensionalmente um ajustamento de modo a minimizar as discrepâncias nas zonas de transição entre faixas.

Precisão das Coordenadas obtidas por Lidar Topográfico

A precisão absoluta dos dados LIDAR é superior me altimetria do que em planimetria. Ela depende:

* Qualidade de calibração do sensor com o GNSS e IMU
* Conhecimento do geoide
* Consideração do Datum Local e condições da operacionalização

O IFOV tem grande destaque sobretudo em plano inclinados. A interseção do cone de impulso laser co a superficie do solo denomina-se por pegada, tendo uma área circular se o impulso for vertical e o terreno horizontal: 

Para caso impulsos não verticais e terrenos não horizontais: 

Em suma, tendo em conta todos os erros, é possivel obterem-se precisões absolutas para os pontos LiDAR em bruto:

* Em altimetria de +- 15cm, sendo a posição relativa ded +- 5cm. A precisão absoluta melhora com o ajustamento a EFS para cerca de +- 5cm
* Em planimetria entre 30cm e 1 m, podendo tambem ser melhora em função de EFS.

Processamento de Dados

O processamento de dados LiDAR consiste em várias fases:

1º - Eliminar ruído, ou seja pontos da amostra que não pertencam ao objeto visado

2ª – Rarefração ou homegeneaziação da nuvem de modo a obter uma amostra de pontos com espaçamento regular, podendo ser considerada por DSM.

3º - Pontos Contextualizados, é lhes atribuido um atributo para alem da posição X,Y e Z.

Nota

A fotogrametria aérea é a técnica que melhor complementa o LiDAR, visto que fornece informações radiométricas densas do objeto que no dominio da luz visivel e permite uma maior precisão planimétrica que o LiDAR. Em termos altimétricos, o LiDAR é em geral mais preciso.

Futuro e Atualidade LiDAR

Principais produtores de sistemas Lidar

• Leica e Optech

Oferecem sistemas combinados em que o levantamento fotográfico e LiDAR é realizado em paralelo numa mesma plataforma. Existe uma atua intenção de serem desenvolvidas camaras aéreas digitais que integrem no seu centro uma unidade LiDAR. Estas camaras permitirão um levantamento fotográfico e LiDAR simultaneo o que trará grandes vantagens em termos de aplicações.

LiDAR Matimétrico (ALB)

A tencologia LiDAR pode também ser aplicada para a obtenºao da batimetria de corpos aquáticos, como exemplo – rios e lagos.

Existem 3 Sistemas implantados:

1. SHOALS
2. LADS
3. HawkEye

Os equipamentos são instalados nos aviões e utilizam o mesmo principio para a obtenção da altura da coluna de água numa dada posição.

Funcionamento

Enquanto a radiação infra-vermelha é completamente absorvida em águas calmas e é em parte reflectida na superfície de águas em movimento, a radiação verde penetra em águas pouco profundas atingindo o fundo. Os dois feixes podem ser emitidos em direcção à água colimados um com o outro ou, alternativamente, o feixe infra-vermelho é emitido sempre numa direcção nadiral e o varrimento da faixa é feito com o feixe verde

A picture containing text, watercraft, transport, sailing vessel

Description automatically generated

A altura da coluna da água é determinada a parir do intervalo de tempo entre a receção da parte do impulso que é refletida na superficie e a receção da parte do impulso que refletida pelo fundo.

Como o feixe que atravessa a coluna de água é refletido difusamente pelas particulas em suspensao, por veze sé dificl distinguir na onda refletida a parte do impuslo que foi refletida pela superficie da parte do impulso que é refletida ao longo da coluna de água.

Uma outra alternativa é a aplicação de radiação Raman, emitidida no dominio do vermleho do espectro eletrom., e que tem origens nas proprias moléculas de agua quando exitadas com a radiação emitidda pelo laser (verde). Eta radiação não é afetada pela bruma pois provem do mesmo corpo de agua. Podendo ser usado para determinar a da superficie até à altura do voo de cerca de 400m.

Diagram

Description automatically generated

Aplicações do ALB

As técnicas batimétricas por LiDAR podem considerarse como complementares das técnicas batimétricas acusticas na determinação da matimetria costeira.

A precisão altimétrica da supr. Gerada a partir dos pontos atinge +- 25cm, cumprindo os requisitos da IHO para a posição vertical em águas pouco profundas.

Vantagens de ALB:

* Levantamento rápido e eficiente de grandes áreas
* No levantamnto de zonas dificeis, perigosas ou impossiveis de levantar por técnicas baseadas em embracações
* Capacidade de levantar simultaneamente o fundo do mar, praia adjacente e outras estruturas
* Levantamento durante curtas janelas temporais.

UAV-Unmanned Aerial Vehicles ou Veículo Aéreo não tripulados. Diferem no tipo de UAV:

1. Quanto à dimensão
2. Quanto à forma de voo
3. Quanto às funções que desempenham

Enquadramento do UAV na Fotogrametria

Diagram

Description automatically generated

|  |
| --- |
| *Plataforma* |
| UAV de Asa Rotativa |

* Helicópetros
* Quadricópetros
* Octocópetros

Mais utilizados em aplicações de fotogrametria próxima, sendo necessário o uso de estabilizadores para a câmara.

UAV de Asa Fixa

Portátil ou Robusto

Mais utilizados para Cartografia

Componentes de UAV - Geral

 Auto-piloto programável

 Sistema GPS e IMU

 Câmara fixa ou com estabilizadores

 Estação em terra para navegação e controlo

*A operação*

O operador UAV cuida de:

* Plano de Voo em acordo com requisitos de cliente e restrições ao voo
* Lançamento
* Voo (eventuais correções ao pré-estabelecido)
* Aterragem

A evitar aeroportos, cabos de alta tensão…

 Alguns UAVS de asa fica aterram em redes, outros em Pára-Quedas e outros em Pista.

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| UAVS na Fotogrametria |  | *Dados e Processamento* |

Um projeto de Fotogrametria com UAV segue os passos normais de qualquer projeto:

Diagram

Description automatically generated

É muito mais exigente e moroso no processamento devido à irregularidade do a cobertua e quantidade de fotos.

Plano de Voo: Zonas de pequenas dimensões

* Fiadas Paralelas
* l = 80% e q = 40%

Por modo a garantir multipla cobertura do solo é necessário uma grande sobreposição de fotografias. Em geral cada ponto surge fotografado em multiplas fotos, originando uma grande estabilidade do bloco.

Em suma, a cobertura UAV não consegue a regularidade do plano de voo, mas sim a múltipla cobertura.

Problemas UAV e Soluções

Problemas:

* Grande quantidade de imagens
* Pequena dimensão de imagens
* Variações de escala
* Variações de perspetiva por inclinações da plataforma

Solução:

* Automatismo de processos
* Utilização de novos operadores para pontos de interess
* Utilização de novos operadores de correspondência de imagem

Para o processamento recorre-se à GPU dos computadores, acelerando 20 a 50x o processo.

É oferecido ao cliente a possibilidade do processamento ser também um serviço, dispensando a aquisição de computadores robustos por parte do cliente.

Produtos disponibilizados:

* Georreferenciação das fotos
* Geração do microDSM
* Geração de Ortomosaico da zona toda, não se produzem ortofotos
* Modelo 3D com textura realista

*Particularidades*

* Com câmaras de amador conseguem-se GSDs de 2 a 5 cm a partir de alturas de voo de 150 a

200m

* Imagens RGB ou NIR
* A câmara tem de ser calibrada ou autocalibrada na triangulação
* Convêm utilizar imagens em foramto RAW.

*Devido à grande quantidade de imagens, os operadores conseguem quase detectar pontos homólogos de cada pixel de uma imagem, gerando um microDSM.*

Limitações

1. Duração da bateria elétrica limitada
2. UAVS com motros não elétricos são mais autonomos mas menos flexiveis
3. Em caso de queda, grave perda de sensores
4. Zonas cobertas de pequenas de dimensões e com muitas imagens
5. Muitos PF’s necessários numa pequena área
6. micoDSM não funciona muito bem em zonas urbanas de grande densidade de construção
7. Ortomosaico apresenta nestas zonas muitos artefactos
8. Grandes restrições ao voo de UAV’s sobre zonas habitadas.