

## 18. Fotogrametria

### 18.1. Definição de Fotogrametria

a) *Ciência e arte* de obter medidas dignas de confiança utilizando-se fotografias (American Society of Photogrammetry).

b) *Ciência, tecnologia e arte* de obter informações seguras acerca de objetos físicos e do meio, através de processos de registro, medições e interpretações de imagens fotográficas e padrões registrados de energia eletromagnética (Photogrammetric Engineering and Remote Sensing).

### 18.2. Objetivo

Realizar medições sobre fotografias para a elaboração de mapas topográficos/geodésicos planialtimétricos.

### 18.3. Divisão

a) **Métrica:** realiza medidas precisas e computações para a determinação da *forma* e *tamanho* dos objetos fotografados.

b) **Interpretativa:** lida com o *reconhecimento* e a *identificação* destes mesmos objetos. Dentre elas, podemos encontrar:

b.1) **Sensoriamento Remoto:** ciência cujos aparelhos são capazes de captar e registrar características das superfícies, sub-superfícies e de corpos sobre as superfícies, abrangendo, em seu mais alto grau, instrumentos que não requerem contacto físico com estes corpos para a coleta das informações desejadas. Capta imagens através de câmaras multiespectrais, sensores infravermelho, scanners térmicos, radares, microondas ...

b.2) **Fotointerpretação:** é o estudo sistemático de imagens fotográficas para propósitos de *identificação de objetos e julgamento da sua significância*. Sua finalidade é o levantamento de mapas temáticos.

Tanto o *Sensoriamento Remoto* como a *Fotogrametria Métrica* estão sendo largamente empregados como ferramenta no planejamento e gerenciamento de projetos que envolvem o meio ambiente e/ou recursos naturais. Ambos são utilizados como base de dados gráfica para projetos de SIG (Sistemas de Informações Geográficas) ou Geoprocessamento.

### 18.4. História

Embora os princípios da projeção ótica de imagens tivessem surgido 350 a.C., com Aristóteles, a Fotogrametria só foi empregada pela primeira vez em 1849, pelo exército francês e, portanto, logo após o surgimento do primeiro processo fotográfico prático, em 1839.

### 18.5. Aplicações

As principais são:

#### a)Elaboração de

- ⇨ mapas topográficos (planialtimétricos)
- ⇨ mapas temáticos (solos, vegetação, relevo)
- ⇨ fotoíndices e mosaicos

Segundo a *finalidade* a que os mapas se destinam, define-se:

- ⇨ a escala da fotografia
- ⇨ o tipo de câmara a ser utilizada
- ⇨ o tipo de filme
- ⇨ a quantidade de pontos de apoio etc.

#### b)Projetos

- ⇨ rodoviários
- ⇨ ferroviários
- ⇨ de obras de artes especiais como: pontes, bueiros, encanamentos, oleodutos, linhas de transmissão, barragens...
- ⇨ de controle à erosão
- ⇨ de controle às cheias
- ⇨ de melhoramento de rios e portos
- ⇨ de planejamento e desenvolvimento urbano e rural
- ⇨ de restauração/conservação de patrimônios
- ⇨ ambientais

#### c)Estudos

- ⇨ pedológicos (ou de solos)
- ⇨ florestais
- ⇨ geológicos
- ⇨ climáticos
- ⇨ médicos e cirúrgicos (através de fotografias de raio X)

#### d)Tributação e cadastramento

- ⇨ urbano

⇒ rural

## 19. Classificação

Se faz segundo o *tipo e posição espacial da câmara* e segundo a sua *finalidade*.

### a) Fotogrametria Terrestre

Utiliza-se de fotografias obtidas de *estações fixas* sobre a superfície do terreno, com o *eixo ótico* da câmara na *horizontal*. (Fotografias horizontais)

☐\* **Topográfica**: utilizada no mapeamento topográfico de regiões de difícil acesso.

☐\* **Não Topográfica**: utilizada em atividades policiais, na solução de crimes e de problemas de tráfego (acidentes de trânsito); na medicina, em tratamentos contra o câncer; na indústria, na construção de barcos ou no estudo das deformações de um determinado produto; etc..

Formatados: Marcadores e numeração

### b) Fotogrametria Aérea

Utiliza-se de fotografias obtidas de *estações móveis* no espaço (avião ou balão), com o *eixo ótico* da câmara na *vertical* (ou quase).

### c) Fotogrametria Espacial

Utiliza-se de fotografias obtidas de *estações móveis* fora da atmosfera da Terra (extraterrestres) e das medições feitas com *câmaras fixas* (também chamadas *câmaras balísticas*) na superfície da Terra e/ou da Lua.

Quando a Fotogrametria (aérea, terrestre ou espacial) utiliza-se do computador para a elaboração de mapas, ou seja, todo o processo de transformação da imagem fotográfica em mapa é realizado matematicamente pelo computador, diz-se que aquela é *Numérica*.

Atualmente, além do processo de transformação da imagem fotográfica em mapa ser realizado pelo computador, o produto que gerou o mapa, no caso a fotografia, e o próprio mapa gerado, podem estar armazenados em meio magnético na forma de imagem. Neste caso, a Fotogrametria passa a ser denominada *Digital*.

## 20. Problemas da Fotogrametria

Estão relacionados com:

a) As **condições de obtenção e preservação** dos negativos e seus produtos.

- ⇒ posição do avião (linha e altura);
- ⇒ distorção das lentes e imperfeições óticas;
- ⇒ estabilidade da câmara (inclinação e choques);
- ⇒ invariabilidade do filme (material);
- ⇒ condições atmosféricas;
- ⇒ processos e produtos da revelação.

b) A **transferência das informações** contidas nos negativos (originais) para o papel (carta ou mapa).

- ⇒ equipamentos;
- ⇒ operadores.

c) A **superfície terrestre**, que não é plana, horizontal e lisa.

- ⇒ modelo matemático utilizado (elipsóide);
- ⇒ a imagem fotográfica, distorcida, não representa a realidade.

## 21. Câmaras Fotogramétricas

### 21.1. Considerações Gerais

Toda câmara fotográfica constitui uma imitação grosseira do olho humano e, como tal, está sujeita a limitações quando da obtenção de informações, registrando apenas a faixa visível do espectro eletromagnético.

A concepção básica de qualquer câmara é a mesma.

Trata-se simplesmente de uma caixa com uma de suas faces internas sensibilizada quimicamente, tendo, na face oposta a esta, um pequeno orifício. Esta abertura é feita de forma a permitir que a luz refletida/emitida por uma cena entre na caixa e atinja a face sensível (filme), registrando assim a imagem.

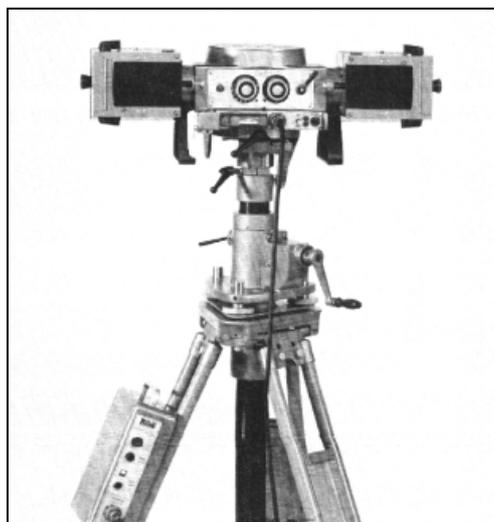
Existem dois tipos de câmaras fotogramétricas: a terrestre e a aérea.

### 21.2. Câmara Terrestre

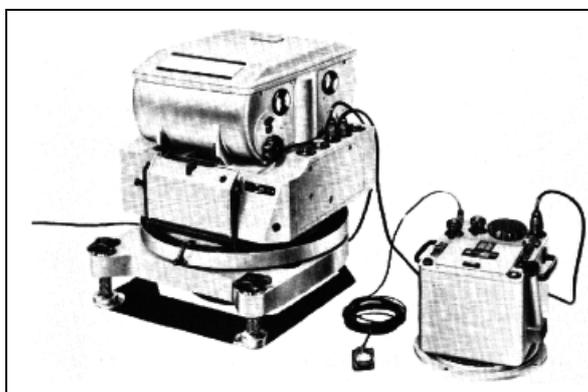
Características:

- ⇒ permanece fixa durante o tempo de exposição;
- ⇒ o objeto fotografado geralmente está fixo;
- ⇒ o tempo de exposição do filme é relativamente longo e só diminui quando o objeto a ser fotografado estiver em movimento;
- ⇒ utiliza emulsão de baixa sensibilidade e de granulação fina;

- ⇒ o formato do filme é pequeno;
- ⇒ seu funcionamento pode ser manual ou automático.



### 21.3. Câmara Aérea



Características:

- ⇒ está em movimento (velocidade constante) durante o tempo de exposição;
- ⇒ o objeto fotografado pode ser fixo ou móvel;
- ⇒ o tempo de exposição é bastante curto;
- ⇒ o obturador é de altíssima eficiência (95%);
- ⇒ utiliza emulsão de altíssima sensibilidade;

- ⇒ apresenta grande capacidade de armazenamento de filme;
- ⇒ o formato do filme é grande;
- ⇒ o filme é planificado durante o tempo de exposição;
- ⇒ seu funcionamento é todo automático.

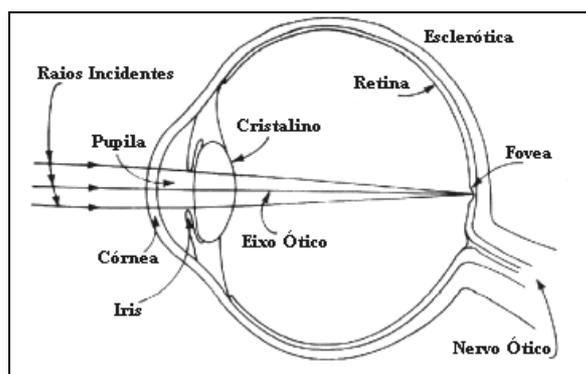
#### 21.4. Comparação entre uma Câmara e o Olho Humano

##### Câmara:

- ⇒ imitação grosseira do olho humano;
- ⇒ registra a informação luminosa através do filme;
- ⇒ o registro é feito num pequeno intervalo de tempo, quase que instantaneamente ( $1/2000$  s);
- ⇒ o raio luminoso passa por uma proteção que é o filtro;
- ⇒ o diâmetro do feixe luminoso, conforme sua intensidade, é controlado pelo diafragma;
- ⇒ para a formação da imagem, utiliza-se de um sistema de lentes convergente;
- ⇒ todo mecanismo mencionado acima está envolvido por uma *armação*.

##### Olho Humano:

- ⇒ câmara fotográfica perfeita;
- ⇒ registra a informação luminosa através da retina (cujo ponto principal é a *fovea*);
- ⇒ o registro é feito continuamente e ao mesmo tempo;
- ⇒ a interpretação da informação, feita pelo cérebro, é instantânea;
- ⇒ o raio luminoso passa por uma proteção que é a córnea;
- ⇒ o diâmetro do feixe luminoso, conforme sua intensidade, é controlado pela membrana íris;
- ⇒ para a formação da imagem, utiliza-se do cristalino;
- ⇒ está envolvido pela esclerótica.

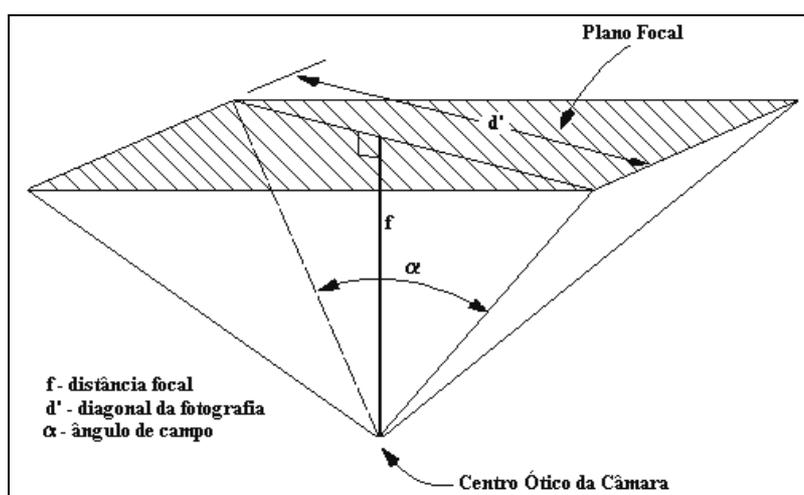


#### 22. Câmaras Aéreas

As câmaras aéreas, já mencionadas anteriormente, estão classificadas em relação:

### 22.1. Ângulo de Campo

Ângulo de Campo ( $\alpha$ ) é o ângulo de abrangência da câmara.



Tipos de câmaras:

a) **Pequeno:**  $\alpha < 50^\circ$

Obtém fotografias de ângulo pequeno.

Empregada em:

- ⇨ Trabalhos de reconhecimento com fins militares.
- ⇨ Vãos muito altos, para a confecção de mapas de áreas urbanas densas.
- ⇨ Confecção de ortofotomapas e mosaicos de áreas urbanas com construções muito altas.

b) **Normal:**  $50^\circ \leq \alpha < 75^\circ$

Obtém fotografias de ângulo normal.

Empregada em:

- ⇨ Trabalhos cartográficos (confecção de mapas básicos).

- ⇨ Confecção de mosaicos e ortofotomapas de áreas urbanas não muito densas.
- ⇨ Mapeamento de regiões com muita cobertura vegetal.

c) **Grande-angular:**  $75^\circ \leq \alpha < 100^\circ$

Obtém fotografias de ângulo grande.

Empregada em:

- ⇨ Trabalhos cartográficos com maior economia.
- ⇨ Serviços de aerotriangulação.
- ⇨ Confecção de mapas topográficos.
- ⇨ Confecção de mapas em escalas grandes.
- ⇨ Medições fotográficas.

d) **Super-grande-angular:**  $\alpha \geq 100^\circ$

Obtém fotografias de ângulo muito grande.

Empregada em:

- ⇨ Trabalhos cartográficos com a vantagem de uma cobertura fotográfica muito maior.

## 22.2. Distância Focal

a) **Pequena:**  $55 \leq f \leq 100\text{mm}$ .

Associada a uma câmara super-grande-angular.

Emprego: cartografia convencional.

b) **Normal:**  $152 \leq f \leq 210\text{mm}$ .

Associada a uma câmara grande-angular ou normal.

Emprego: cartografia convencional.

c) **Grande:**  $305 \leq f \leq 610\text{mm}$ .

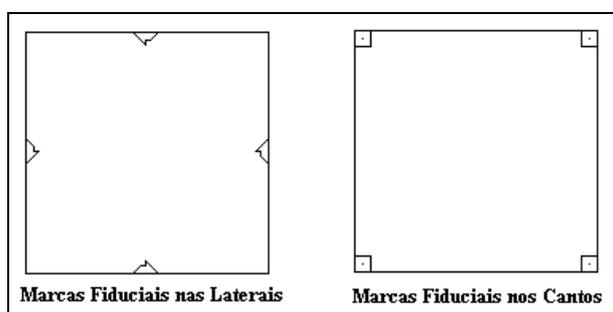
Associada a uma câmara de ângulo pequeno.

Emprego: militar (trabalhos de reconhecimento).

### 22.3. Formato

#### a) Com Formato:

- ⇨ os filmes são marcados de modo a permanecerem fixos durante o tempo de exposição;
- ⇨ estas marcas podem ter: 18x18cm, 12x18cm, 6x9cm e 23x23cm, ou ainda, 23x46cm (formato especial).



#### b) Sem Formato:

São de dois tipos:

##### b.1) Faixa Contínua:

- ⇨ a passagem de luz é contínua e é feita através de uma fenda;
- ⇨ o avanço do filme é sincronizado com a velocidade da imagem.

Obtém fotografias de faixa contínua.

##### b.2) Panorâmica:

- ⇨ utiliza um sistema de varredura lateral (abertura de até 180°) que é perpendicular à linha do vôo;
- ⇨ utiliza-se de mecanismos óticos giratórios para a varredura.

Obtém fotografias panorâmicas.

### 22.4. Inclinação do Eixo Ótico

#### a) Verticais:

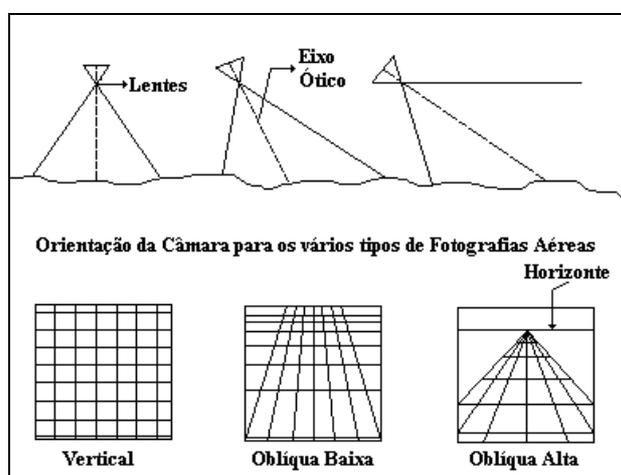
⇒ o eixo ótico da câmara pode estar inclinado entre  $0^\circ$  e  $3^\circ$ .

Obtém fotografias verticais.

#### b)Oblíquas:

⇒ o eixo ótico da câmara possui uma inclinação entre  $3^\circ$  e  $90^\circ$ .

Obtém fotografias oblíquas **Altas** (na qual aparece o horizonte) e fotografias oblíquas **Baixas** (na qual não aparece o horizonte).



### 22.5. Uso ou Finalidade

#### a)Cartográfica ou Métrica:

⇒ seus elementos de orientação interna são perfeitamente conhecidos e de alta precisão.

Obtém fotografias cartográficas.

#### b)Reconhecimento:

⇒ seus elementos de orientação interna não são conhecidos com exatidão.

Obtém fotografias de reconhecimento.

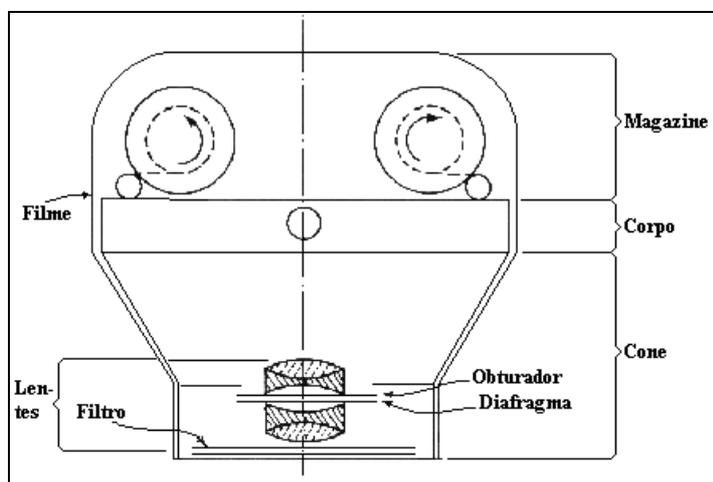
#### c)Especial:

- ⇒ são câmaras modificadas para a obtenção de fotografias especiais.  
Ex.: fotografias **Trimetrogon**, **Multiespectrais**, **Convergentes Simétricas e Assimétricas**, e **Transversais**.

### 23. Principais Elementos da Câmara Métrica Aérea

Das câmaras métricas são exatamente conhecidos os valores: da *distância focal*, da *posição das marcas fiduciais*, do *eixo ótico*, do *plano focal* e do *formato*.

Os elementos principais desta câmara são:



#### 23.1. Corpo

- ⇒ pode ser parte integrante do cone ou ser independente;  
⇒ contém um mecanismo-guia (manual ou automático) que fornece e controla a energia destinada a operar a câmara;  
⇒ este mecanismo obedece a um ciclo que envolve, entre o término de uma exposição e o início de outra os seguintes passos:
- 1º. Interromper o sistema de vácuo (liberar o filme)
  - 2º. Avançar o filme
  - 3º. Acionar o sistema de vácuo (planificar o filme)
  - 4º. Fazer nova exposição (acionar o obturador)

#### 23.2. Magazine

- ⇒ compartimento fechado onde estão acondicionados os rolos de filme (expostos e não expostos) e também os mecanismos de planificação e avanço do mesmo;
- ⇒ o filme pode ser planificado por: tensão, peso, pressão e vácuo;
- ⇒ os filmes podem ser de 120m e  $\varnothing = 0,13\text{mm}$  ou de 150m e  $\varnothing = 0,10\text{mm}$ .

### 23.3. Cone

- ⇒ compartimento hermeticamente fechado que suporta:

#### a) Objetiva ou Sistema de Lentes

**Lentes:** estabelecem a convergência dos raios luminosos procedentes de um número infinito de pontos objetivos da superfície terrestre, projetando-os sobre o plano focal.

#### Algumas definições básicas:

• *Eixo Principal ou Eixo Ótico:* a reta determinada pelos centros de curvatura das superfícies esféricas que formam as faces da lente. Este passa pelo centro da fotografia ou ponto principal (**PP**).

• *Centro Ótico:* o ponto (no sistema de lentes) onde os raios incidem e não sofrem desvios (**H**).

• *Ponto Focal:* ponto de convergência dos raios incidentes paralelos ao eixo ótico e situado sobre este eixo. Todos os raios se cruzam neste ponto, também chamado de *Foco* (**F**).

• *Plano Focal:* plano perpendicular ao eixo ótico e que passa pelo ponto focal. Também chamado de *plano imagem* ou *plano de foco infinito*.

• *Distância Focal:* distância entre o ponto focal (no plano focal) e o centro ótico (do sistema de lentes) (**f**).

#### Fórmula das Lentes

A lei fundamental das lentes, aplicada a objetos situados a uma distância finita das lentes, nos diz que: "A recíproca da distância focal é igual à soma das recíprocas das distâncias entre a imagem e o objeto".

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}$$

onde

**i** é a distância imagem (das lentes ao plano focal)

$o$  é a distância objeto (das lentes ao objeto)

Para as câmaras métricas, o objeto fotografado se encontra praticamente no infinito e, em decorrência disso,  $1/o$  tende a um valor nulo. Portanto, seguindo a lei,  $i = f$ .

Desta forma, por estar o objeto fotografado a uma distância muito grande das lentes, consideram-se os raios de luz por ele emitidos/refletidos como praticamente paralelos.

Conclusão: a) O plano de exposição do filme (onde o mesmo é planificado) coincide com o plano focal das lentes da objetiva, ou seja, as imagens se formam neste plano focal; b) Quanto mais distante o objeto da câmara, mais próximo das lentes estará o ponto focal.

### Qualidade das Lentes

As lentes, por não serem perfeitas, produzem uma imagem imprecisa. Estes defeitos da imagem recebem o nome de *aberrações*.

A combinação de lentes e de alguns elementos adicionais podem minimizar estes defeitos. Entre eles:

- ⇒ aberração esférica  
causa: polimento das lentes
- ⇒ coma  
causa: polimento das lentes
- ⇒ astigmatismo ou curvatura de campo  
causa: polimento das lentes
- ⇒ aberração cromática  
causa: diferentes características refrativas das várias cores que compõem a luz branca.
- ⇒ distorção radial  
causa: polimento das lentes
- ⇒ distorção tangencial  
causa: não centragem das lentes

As quatro primeiras aberrações prejudicam a nitidez da imagem fotográfica (círculo de confusão), enquanto que as distorções prejudicam a geometria (posição) dos objetos na imagem.

O valor da distorção deve ser corrigido pois varia de 2 a 50 micras, dependendo da câmara utilizada.

Exemplos de objetivas usadas em câmaras métricas:

1)  $f = 88\text{mm}$ , distorção de 7 micras.

- 2)f = 152mm, distorção de 2 micras.
- 3)f = 210mm, distorção de 4 micras.
- 4)f = 305mm, distorção de 3 micras.
- 5)f = 610mm, distorção de 50 micras.

O poder de resolução das lentes é um aspecto importante e é definido como a medida da capacidade da lente em separar detalhes pequenos e próximos uns dos outros ou objetos de maior ou menor nitidez.

Diafragma: é o elemento que controla a quantidade de luz que atinge o filme durante o tempo de exposição, isto é, determina a abertura física da lente permitindo maior ou menor iluminação da imagem.

A iluminação da imagem está relacionada à distância focal e à abertura (circular) do diafragma.

É proporcional à quantidade de luz que passa através da abertura das lentes (diafragma) e à área de abertura ( $\pi d^2/4$ ) e, portanto, proporcional a  $d^2$ .

A iluminação da imagem também é afetada pela distância imagem na seguinte proporção:

$$1/i^2 = \text{iluminação}$$

Para o objeto situado no infinito,  $i = f$ , portanto:

$$1/f^2 = \text{iluminação}$$

De onde deduz-se que:

$$d^2/f^2 = \text{diâmetro do diafragma} / \text{distância focal} = \text{iluminação}$$

$$d/f = \text{fator de iluminação ou brilho}$$

$$f/d = \text{índice do diafragma ou "f-stop"}$$

Os valores mais comuns de "f-stop" são: 4,0; 5,6; 8,0 e 11,3.

Quanto menor for o valor de "f-stop", maior será a abertura do diafragma e, conseqüentemente, maior será a iluminação da imagem.

Obturador: controla o tempo de exposição da imagem, ou seja, o tempo durante o qual a luz passa através da lente. Medido em fração de segundos, deve variar em relação à velocidade do avião, à altura de vôo e à iluminação da imagem.

Os intervalos de um obturador, quanto ao tempo de exposição, variam de 1/100 a 1/2000 do segundo.

Nenhum obturador possui, na prática, 100% de rendimento. Este rendimento é influenciado pelos seguintes fatores:

- ⇒ Diâmetro de abertura
- ⇒ Ajuste da velocidade (abertura e fechamento)
- ⇒ Modelo e posição do obturador

Assim, a EXPOSIÇÃO TOTAL da imagem é dada pela relação:

área diafragma x tempo exposição

$$\frac{\pi d^2}{4} = t$$

Filtros: permitem reduzir os efeitos da bruma atmosférica (poeira), fazem a distribuição homogênea da luz, protegem a lente contra partículas em suspensão durante a decolagem e o pouso do avião e permitem a absorção de cores para evidenciar contrastes entre os objetos fotografados.

Os filtros, assim como os objetos, absorvem algumas cores da luz, deixando passar outras.

O tempo de exposição da imagem deve ser maior quando se utilizam filtros.

A tabela abaixo indica o tipo e a finalidade dos filtros empregados em aerofotogrametria.

<b>Filtro</b>	<b>Finalidade</b>
<b>Vermelho</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ absorve o azul, o vermelho e o ultravioleta</li> <li>⇒ clareia objetos vermelhos e amarelos, escurece o azul da água e do céu, elimina a névoa</li> </ul>
<b>Verde</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ absorve o azul, o vermelho e o ultravioleta</li> <li>⇒ escurece o céu e clareia a vegetação</li> </ul>
<b>Azul</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ absorve o vermelho, o amarelo, o verde e o ultravioleta</li> <li>⇒ clareia os objetos azuis e acentua a névoa e a bruma</li> </ul>
<b>Amarelo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ absorve o azul e o ultravioleta</li> <li>⇒ escurece o azul do céu e destaca as nuvens.</li> </ul>

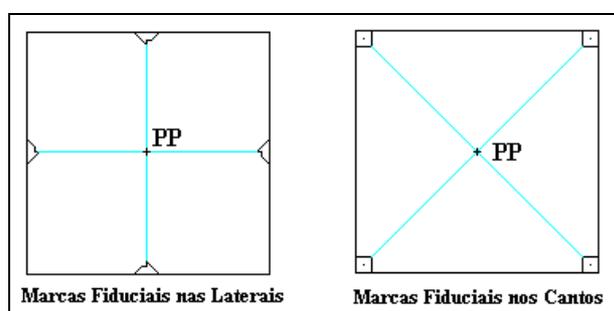
<b>Ciano</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ absorve o vermelho</li> <li>⇨ resalta objetos azuis e verdes</li> </ul>
<b>Magenta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ absorve o verde</li> <li>⇨ resalta objetos vermelhos e azuis</li> </ul>
<b>Polarizador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇨ elimina reflexos e brilhos causados pelo ultravioleta e pelo azul</li> <li>⇨ escurece o céu, clareia as nuvens e elimina o brilho das superfícies aquáticas</li> </ul>

### b)Cone Interno

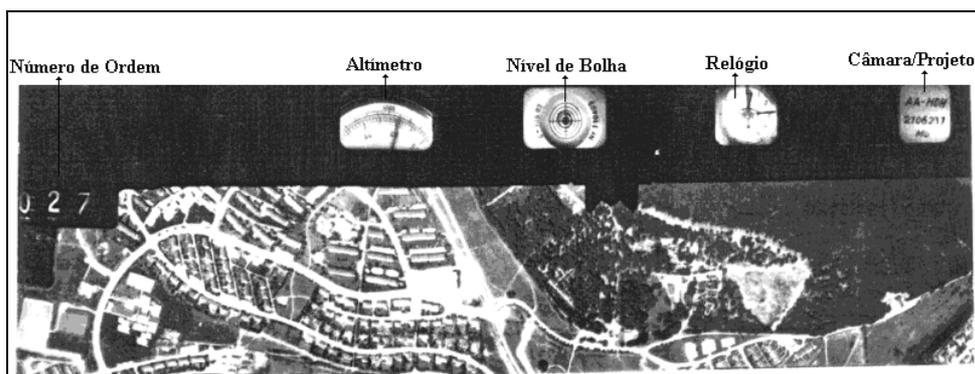
Sua função é servir de suporte à objetiva (sistema de lentes) e ao marco (plano focal). O material com que é fabricado possui um coeficiente de dilatação térmica bem pequeno a fim de manter as lentes, seu eixo ótico e o marco em posição rígida (calibrada).

O marco, além de definir o plano focal, contém outros elementos que ficam registrados na imagem do negativo durante a exposição. São eles:

- ⇨ altímetro: registra a altitude de vôo num intervalo de 0 a 9000 metros.
- ⇨ relógio: registra o instante da tomada da fotografia. Utilizado para determinar a altura de objetos verticais (árvores, edifícios) pelo método da altura do sol e outros.
- ⇨ nível de bolha: registra a inclinação da câmara no instante da tomada da fotografia. A inclinação registrada pode variar até 5°.
- ⇨ identificação da câmara: registra a distância focal, a marca, o tipo e o número de série da câmara utilizada. Serve para controle dos intervalos de calibração.
- ⇨ marcas fiduciais: normalmente quatro, definem o formato (tamanho) da imagem. Podem estar localizadas no centro das bordas do plano focal ou nos cantos deste. A interseção destas marcas define o ponto principal da fotografia (**PP**).



- ⇒ número de ordem das fotografias: registra um número seqüencial em cada fotografia, para controle posterior das faixas e blocos.
- ⇒ indicador do sistema a vácuo: registra uma letra na borda da fotografia se o sistema a vácuo da câmara estiver funcionando perfeitamente, caso contrário, não registra nada.



#### 23.4. Acessórios

- ⇒ servem para garantir o correto posicionamento da câmara e facilitar a navegação aérea. Os principais são:

##### a) Sistema de Suspensão

Também chamado de "berço" da câmara, é o dispositivo sobre o qual a câmara é apoiada, mantendo os seus graus de liberdade de rotação no espaço, minimizando os efeitos da vibração do avião e conservando o eixo ótico o mais vertical possível.

Quanto ao apoio da câmara sobre o berço, temos:

Montagem fixa: a câmara é fixada no avião através de marcos metálicos e isolada com borracha ou esponja para protegê-la das vibrações.

Montagem azimutal: a câmara é fixada como para a montagem anterior, adicionando-se ao conjunto um anel que irá permitir uma rotação da mesma em torno do próprio eixo, de  $\pm 30^\circ$ .

Montagem sobre plataforma estabilizada: permite que sempre haja a coincidência do eixo ótico da câmara com a direção vertical (vertical do lugar).

##### b) Sistema de Controle

Permite controlar todos os fatores que afetam a tomada das fotografias aéreas, entre eles:

- ⇒ o funcionamento da câmara;
- ⇒ o sistema de vácuo;
- ⇒ o avanço do filme;
- ⇒ a quantidade de filme usado;
- ⇒ o tempo de exposição;
- ⇒ a abertura do diafragma;
- ⇒ a iluminação e as condições atmosféricas.

### c) Instrumentos Auxiliares de Orientação

Os principais são:

Giroscópio: mantém a câmara na posição vertical dentro de certos limites.

Apr: ou "analytical profile recorder", é um instrumento baseado na emissão de ondas eletromagnéticas que tocam o solo e são refletidas para o aparelho situado a bordo do avião. O intervalo de tempo decorrido desde a emissão até o retorno da onda é registrado e a altura do avião determinada com uma precisão de  $\pm 3$  metros.

Intervalômetro: controla o recobrimento longitudinal das fotografias entre estações de exposição sucessivas com base na velocidade do avião e na escala.

Visor: é uma janela através da qual o operador da câmara observa a região que está sendo fotografada e, entre outras coisas, consegue identificar se o vôo está sendo realizado como planejado.

### 23.5. Relação entre os Elementos da Câmara

O ângulo de campo ( $\alpha$ ) é dado pela seguinte relação:

$$\alpha = 2 \cdot \text{arc. tg.} (d'/2 f)$$

onde

$d'$  = diagonal da fotografia

(não confundir com  $d$ - diâmetro do diafragma)

Para uma fotografia quadrada, teremos:

$$d' = l\sqrt{2}$$

Para uma fotografia retangular, teremos:

$$d' = \sqrt{b^2 + h^2}$$

O rendimento de um obturador obedece a seguinte relação:

$$R_t = \frac{t_2}{t_0} \quad \text{e} \quad R_e = \frac{t_e}{t_0}$$

onde

$R_t$  = rendimento teórico

$R_e$  = rendimento efetivo ou Eficiência

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3$$

onde

$t_0$  = tempo total de exposição

$t_e$  = tempo decorrido desde o início da abertura até o final

do fechamento do obturador

$t_1$  = tempo que o obturador leva para abrir-se

$t_2$  = tempo que o obturador permanece aberto

$t_3$  = tempo que o obturador leva para fechar-se

### 23.6. Calibração da Câmara Aérea

Quando é fabricada e antes de ser posta em uso a câmara deve passar por um processo de calibração.

A calibração permite a determinação precisa de certas constantes da câmara que servirão para orientar os aparelhos que irão restituir (transformar em mapa) a imagem fotografada.

Os métodos utilizados na calibração de câmaras aéreas são:

1) De laboratório

2) De campo

3) Estelar

### 23.7. Exercícios

1. Qual é a distância imagem de um objeto situado a 50m de uma câmara com distância focal de 75mm?

2. Qual é a distância imagem de um objeto situado a 5000m de uma câmara com distância focal de 75mm?

3. Considerando-se uma câmara aérea de distância focal igual a 152mm com um formato de negativo de 23cmx23cm, calcular a abertura do ângulo de campo e, em função deste, determinar qual o tipo de câmara utilizado.

### 24. Câmara Terrestre

As câmaras terrestres podem ser de dois tipos:

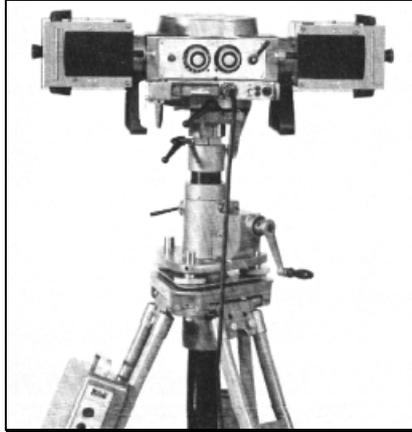
a) *Métricas*: permitem determinar a forma e a posição de um objeto com precisão.

b) *Não métricas*: obtêm uma imagem fotográfica de qualidade, não dando importância à precisão geométrica dos objetos fotografados.

#### Câmara Métrica

Pode ser de dois tipos:

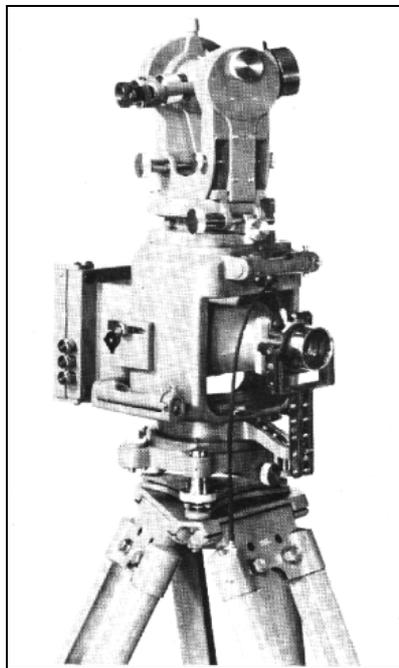
a) *Estereométrica*: consiste de duas câmaras métricas acopladas e fixadas sobre uma base rígida de 0,4; 1,0 ou 1,2m de comprimento.



Destas câmaras pode-se determinar com precisão:

- ⇨ as marcas fiduciais e o ponto principal das fotos;
- ⇨ a distância focal;
- ⇨ as coordenadas do ponto principal das fotos;
- ⇨ a distorção das lentes.

b) *Fototeodolito*: nome dado ao conjunto teodolito & câmara.



## 25. Fotografias Aéreas

As fotografias aéreas, antes de mais nada, são um sistema de informações. Estas informações são captadas pelas câmaras fotográficas e servem de base para a determinação da localização de objetos no espaço, valendo-se da observação estereoscópica. Estas informações são passíveis, ainda, de reconhecimento e interpretação. Para tanto, é necessário que se conheça alguns aspectos importantes. São eles:

### 25.1. Características da Fotointerpretação

Os problemas detectados durante a interpretação das informações contidas nas fotografias são os seguintes:

- a) *Geométricos*: devido à forma e ao tamanho dos objetos.
- b) *Físicos*: devido à propagação da luz nos diversos meios.
- c) *Fisiológicos*: relativos à visão binocular (acuidade) do observador.

d) *Psicológicos*: relativos à percepção imediata, pelo observador, do objeto analisado de forma ordenada e lógica.

A fotografia registra a imagem do terreno em relação aos aspectos fisiográficos, ou seja, topografia, vegetação e drenagem, que aparecem diferenciados na forma, no tamanho, na tonalidade (fotos preto/branco) ou na cor (fotos coloridas), na sombra, na textura ou no padrão e, nas adjacências.

- Forma: permite distinguir, por exemplo: estrada de ferro de uma rodovia ou de um rio.
- Tamanho: permite distinguir uma residência de um edifício ou de uma indústria, embora a forma do objeto também tenha de ser levada em consideração.
- Tonalidade: permite distinguir uma cultura de trigo de uma cultura de arroz.
- Textura: permite distinguir, *pelo aspecto e tonalidade de grupos de objetos iguais*, entre campo ou cultura, mata/floresta ou reflorestamento.
- Padrão: permite distinguir, por exemplo, um pomar de um cafezal.
- Sombra: permite distinguir uma igreja de uma residência ou edifício, uma ponte de um viaduto, etc.
- Adjacências: permite concluir o significado de objetos em função da existência ou não de outros objetos na sua vizinhança. Por exemplo: pilhas de madeira podem indicar presença de serraria ou indústria de papel.

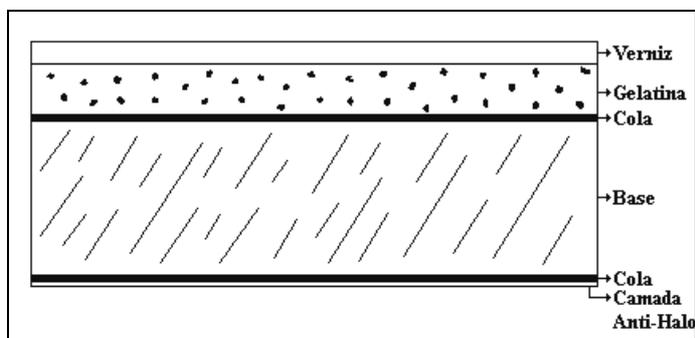
### 25.2. Densidade Fotográfica

A densidade de uma fotografia é função:

- ⇨ da quantidade e qualidade de luz incidente no plano imagem;
- ⇨ da relação entre o tempo de exposição e a abertura do diafragma;
- ⇨ da sensibilidade espectral da emulsão usada;
- ⇨ do procedimento e das substâncias químicas utilizados na revelação.

### 25.3. Material Fotográfico

O material fotográfico é constituído de:



#### a) Base

- ⇨ pode ser de polietileno (espessura entre 0,1 e 0,25 mm), de placa de vidro ou de papel (espessura entre 0,1 e 0,5 mm);
- ⇨ deve ser: quimicamente estável; flexível e forte (polietileno ou papel); resistente e dura (placa de vidro);
- ⇨ pode ser composta de uma camada *anti-halo*, efeito que torna difusa certas partes do negativo, e, ainda, de uma camada adesiva.

#### b) Emulsão

- ⇨ cobre a base e é formada por cristais ou grãos de brometo de prata, de iodeto de prata e gelatina;
- ⇨ os cristais variam de tamanho até um máximo de 5 microns, pois, quanto maior o grão maior é a sensibilidade da emulsão;

Sensibilidade é a maior ou menor facilidade do filme em gravar imagens.

- ⇒ a gelatina mantém os grãos de prata sobre a base;
- ⇒ pode ser: ortocromática, pancromática, infravermelha ou colorida.

#### 25.4. Resolução Fotográfica

A resolução espacial de uma fotografia aérea é expressa em linhas/mm e é definida como a medida de linhas brancas e pretas, intercaladas e paralelas entre si, que podem ser observadas sobre a fotografia numa faixa de 1 milímetro de largura.

Portanto, se uma fotografia possui uma resolução de 100 linhas/mm, isto significa que podem ser observadas, no espaço de 1 milímetro, 100 linhas brancas intercaladas a 100 linhas pretas.

Esta contagem das linhas é feita com o auxílio de um microscópio.

A resolução da fotografia aérea depende da combinação *lente-filme-filtro* e, desta combinação, pode-se concluir:

a) **Resolução** (em segundos de arco)

$$R'' = \frac{4,5}{dl}$$

onde

**dl** = diâmetro da lente em polegadas

b) **Resolução** (em linhas/mm)

$$R_{1/mm} = \frac{1500}{\text{"f - stop"}}$$

c) **Resolução Real** (em metros)

$$R_m = \frac{E}{1000 \cdot R_{1/mm}}$$

onde

**E** = módulo da escala da fotografia

**R<sub>1/mm</sub>** = resolução da combinação *lente-filme-filtro* da câmara usada,

em linhas/mm.

Com base na resolução fotográfica podemos determinar qual o menor objeto *detectável* em uma fotografia, o que não significa, necessariamente, determinar o tamanho do menor objeto *identificável* ou *reconhecível*.

O menor objeto *identificável* é, pelo menos, 5 vezes maior que o menor objeto *detectável* e, portanto, a relação entre eles é a seguinte:

$$I = 5 \cdot R_m$$

onde

**I** = tamanho mínimo identificável

A *resolução* de uma fotografia não é sinônimo de *nitidez visual da imagem*, que é grandemente influenciada pelos seguintes fatores:

- ⇒ qualidade do sistema de lentes da câmara;
- ⇒ precisão mecânica da câmara;
- ⇒ qualidade e sensibilidade da emulsão;
- ⇒ natureza do objeto fotografado.

Imagens de pouco contraste, geralmente, são de elevada resolução e vice-versa.

## 25.5. Comparação entre Fotografia Aérea e Mapa

### a) Fotografia Aérea

- ⇒ é uma projeção central ou cônica;
- ⇒ a escala varia em função da inclinação da foto e das diferenças de nível;
- ⇒ a representação geométrica dos objetos é afetada por deslocamentos devido ao terreno, à inclinação do eixo ótico e às distorções da lente;
- ⇒ todos os objetos são visíveis
- ⇒ a representação da imagem é tridimensional.

### b) Mapa

- ⇒ é uma projeção ortogonal;
- ⇒ a escala é a mesma para todos os pontos;
- ⇒ a representação geométrica dos objetos é a correta;
- ⇒ os objetos a serem representados são selecionados e generalizados através do uso de símbolos e convenções, muitas vezes, exagerados para a escala utilizada;
- ⇒ a representação da imagem é bidimensional.

## 25.6. Exercícios

1. Qual a resolução, em linhas/mm, de uma imagem fotográfica obtida por uma câmara de distância focal igual a 50mm e diafragma com diâmetro de 12,5mm.

2. Foi registrada uma imagem fotográfica na escala 1:15.000 com resolução (lente-filme-filtro) igual a 100 linhas/mm. Qual a dimensão real do menor objeto detectável na foto? Qual a dimensão do menor objeto identificável?

3. Foram obtidas fotografias em que se podiam identificar e contar objetos de 60cm e 90cm. A resolução da câmara é de 25 linhas/mm. Determinar a escala da fotografia para ambos os casos.

## 26. Conceitos Básicos para o Trabalho com Fotografias

*Estereoscopia*: é um fenômeno natural que ocorre quando se observam duas imagens fotográficas de uma mesma cena, tomadas de pontos diferentes.

*Paralaxe*: é o deslocamento aparente da posição de um objeto estacionário que se encontra a uma certa distância de um observador em movimento. Quanto mais próximo estiver o objeto do observador, maior será o deslocamento aparente deste.

*Visão Estereoscópica*: é a sensação de profundidade que pode ser obtida através de processo *Binocular* ou *Método Estereoscópico*, capaz de fornecer uma sensação bastante precisa da profundidade.

*Visão Monoscópica*: é a sensação de profundidade que pode ser obtida através de processo *Monocular* ou *Método Monoscópico*, no qual as diferentes formas de percepção da profundidade são observadas com um único olho. Permite reconhecer nos objetos as cores, a tonalidade, o tamanho (por comparação ou pela altura da sombra) e a forma.

## 27. Elementos Geométricos da Visão Binocular

*Ângulo Paralático* ou *de Convergência*: é aquele formado pelos eixos óticos visuais convergentes no objeto observado ( $\phi$ ).

Quanto maior a distância do observador ao objeto, menor é o ângulo paralático.

*Base Ocular* ou *Distância Interpupilar*: é a distância entre os centros óticos dos olhos (média de 65mm - 63 a 69mm é o intervalo) e designada por (**b**). Dada sempre em milímetros.

*Raio de Percepção Estereoscópica*: é o nome dado à distância limite ou máxima com que o olho humano permite a sensação de profundidade (**RPE**). Dada em metros.

Segundo estudos, a diferença mínima de profundidade entre objetos, ou seja, a *acuidade visual estereoscópica do observador*, depende da diferença entre os ângulos de convergência dos objetos observados. Esta percepção da profundidade não é possível se a diferença entre os ângulos for inferior a 20" de arco.

O raio de percepção estereoscópica pode ser expresso em função da distância interpupilar e dos ângulos de convergência na seguinte relação:

$$\boxed{\text{RPE} = \frac{b}{\text{tg}(\beta)}} \quad \text{onde} \quad \boxed{\beta = \phi_1 - \phi_2}$$

Portanto, para  $b=65\text{mm}$  e  $\beta=20''$ , RPE equivale a 670 metros. Isto nos mostra que, a partir desta distância, não é possível perceber a profundidade dos objetos.

Ainda em relação ao ângulo convergente, podemos determinar a profundidade de um objeto, ou seja, a sua altura, pela seguinte relação:

$$\boxed{\Delta h = R_2 \cdot \left[ 1 - \frac{\text{tg}(\phi_1)}{\text{tg}(\phi_2)} \right] = R_1 \cdot \left[ \frac{\text{tg}(\phi_1)}{\text{tg}(\phi_2)} - 1 \right]}$$

onde

$\phi_1$  e  $\phi_2$  são os ângulos convergentes do topo e da base do objeto.

A maneira mais simples de se conhecer os ângulos convergentes de um objeto é através do uso das fotografias aéreas, pois, a distância entre *pontos homólogos* nas fotografias, é diretamente proporcional ao ângulo convergente no objeto sobre a superfície terrestre.

## 28. Princípio da Terceira Dimensão

A terceira dimensão forma-se no cérebro pela diferença das imagens formadas em cada retina. Cada olho observa e transmite ao cérebro duas dimensões, que somadas, perfazem um total de quatro dimensões. Mas, como uma delas é comum aos dois olhos, a fusão das imagens traduz-se na formação da imagem em 3D.

Assim, para a visualização da 3D através de fotografias, é necessário que se tenha um par de fotos de uma mesma cena ou região, tomadas de pontos distintos no espaço.

*Par Estereoscópico*: é o nome dado ao par de fotografias aéreas consecutivas, tomadas a partir de uma distância constante entre as estações de exposição e capazes de reproduzir o modelo espacial do terreno fotografado. Também denominado *estereograma*.

*Par Pseudoscópico*: é um par estereoscópico cujas fotografias são observadas em posições trocadas e invertidas, ou seja, a fotografia da direita toma o lugar da fotografia da esquerda e vice-versa. A profundidade do par original também fica invertida.

### 28.1. Maneiras de Observar um Par Estereoscópico

#### a) Eixos Óticos Cruzados

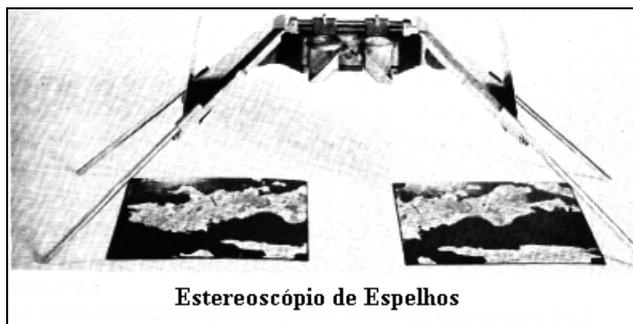
Observa-se a foto da direita com o olho esquerdo e a foto da esquerda com o olho direito e sem auxílio de equipamento. Exige muito esforço.

#### b) Eixos Óticos Convergentes

A observação da imagem se faz de maneira natural. Métodos: anaglifo, luz polarizada e luz intermitente.

#### c) Eixos Óticos Paralelos

Observa-se a foto da direita com o olho direito e a foto da esquerda com o olho esquerdo, com ou sem o auxílio do estereoscópio de espelhos. Exige certo esforço.



### 28.2. Processos para Obter a Visão Estereoscópica

#### a) Estereoscopia Voluntária

- ⇨ *Sem instrumento*: com os eixos óticos paralelos, através da fusão das imagens fotográficas colocadas a  $\pm 25$ cm de distância dos olhos.
- ⇨ *Com instrumento*: a fusão das imagens se dá através de processo ótico (duas lentes, espelhos, prismas...).

#### b) Estereoscopia de Anaglifo

⇒ *Por impressão de imagens coloridas*: uma das fotos do par é impressa em vermelho e a outra em azul e ambas são superpostas com um pequeno deslocamento sobre um papel branco. Este deslocamento é sempre no sentido da linha de tomada das fotos. O par é examinado através do uso de filtros, um vermelho para a foto azul e outro azul para a foto vermelha. A imagem tridimensional é obtida em preto e branco.

⇒ *Por projeção de imagens coloridas*: os diapositivos, em preto e branco, são projetados sobre uma mesma tela através de projetores dotados de dois filtros, um verde e um vermelho, e as imagens são observadas com um óculos de lentes nestas duas cores. A imagem tridimensional também é obtida em preto e branco.

### c) **Estereoscopia por Polarização da Luz**

O processo consiste em fazer com que a luz projetada através de um par estereoscópico passe por filtros polarizadores com planos de polarização ortogonais. O observador irá perceber, com cada olho, apenas a imagem projetada por um dos diapositivos. A fusão das imagens se fará no cérebro. Este é o processo usado no cinema ou em telas de computador.

### d) **Estereoscopia por Cintilamento ou Luz Intermitente**

Este processo baseia-se em estudos do olho humano, que afirmam que uma imagem é gravada e retida no cérebro por um período de tempo de 1/20s a 1/8s, mesmo após esta imagem ter sido ocultada.

Desta forma, projetando-se alternadamente as imagens de um par estereoscópico durante cerca de 1/60s e, em sincronia, alternando-se a ocultação do campo visual de cada olho, o cérebro percebe continuamente uma imagem tridimensional. Isto se deve por ser a frequência das projeções sucessivas muito alta .

### e) **Estereoscopia por Holografia**

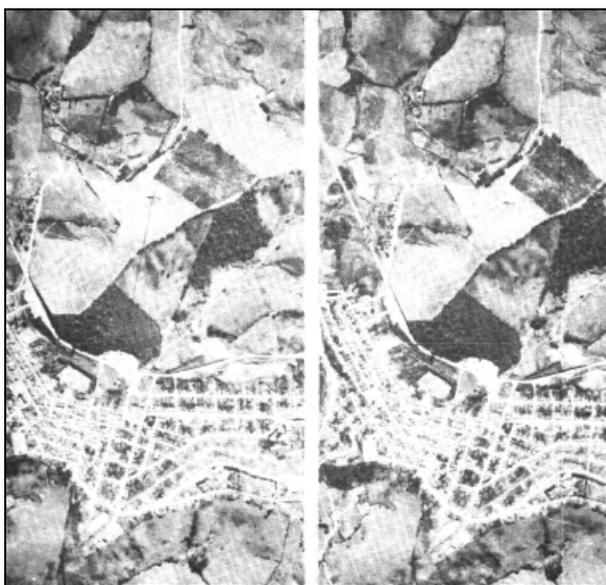
A *holografia* é a ciência e arte de registrar informações tridimensionais de um objeto, através da luz.

*Holograma* é o nome dado ao registro da informação obtida holograficamente. (Matriz de Interferência)

Diferente da fotografia convencional, que utiliza a luz refletida de um objeto e registra-a sobre um filme comum, a *holografia* usa a luz, dividida em feixes luminosos (referência e objeto), e grava-os sobre um filme especial. O *holograma* obtido não guarda qualquer semelhança visível com o objeto original, mas, quando um feixe de referência é projetado através do *holograma*, a luz curva-se pela difração e recria a imagem tridimensional. A luz utilizada para projetar os *hologramas* é o raio laser.

### 28.3. Exercícios

1) Tente, através do estereograma abaixo, visualizar a profundidade do terreno nele registrado. Para tanto, utilize-se do processo de estereoscopia voluntária (não há necessidade de aparelhos).



### 29. Geometria Básica da Fotografia Aérea

A figura a seguir apresenta o esquema da geometria de uma fotografia aérea *perfeitamente* vertical.

Desta, conclui-se que a fotografia é uma projeção *cônica* ou *central* em que a imagem de um objeto é formada num plano (que é o filme ou negativo) após os raios de projeção terem passado pelo centro perspectivo (ou ótico) da objetiva.

#### Definições básicas

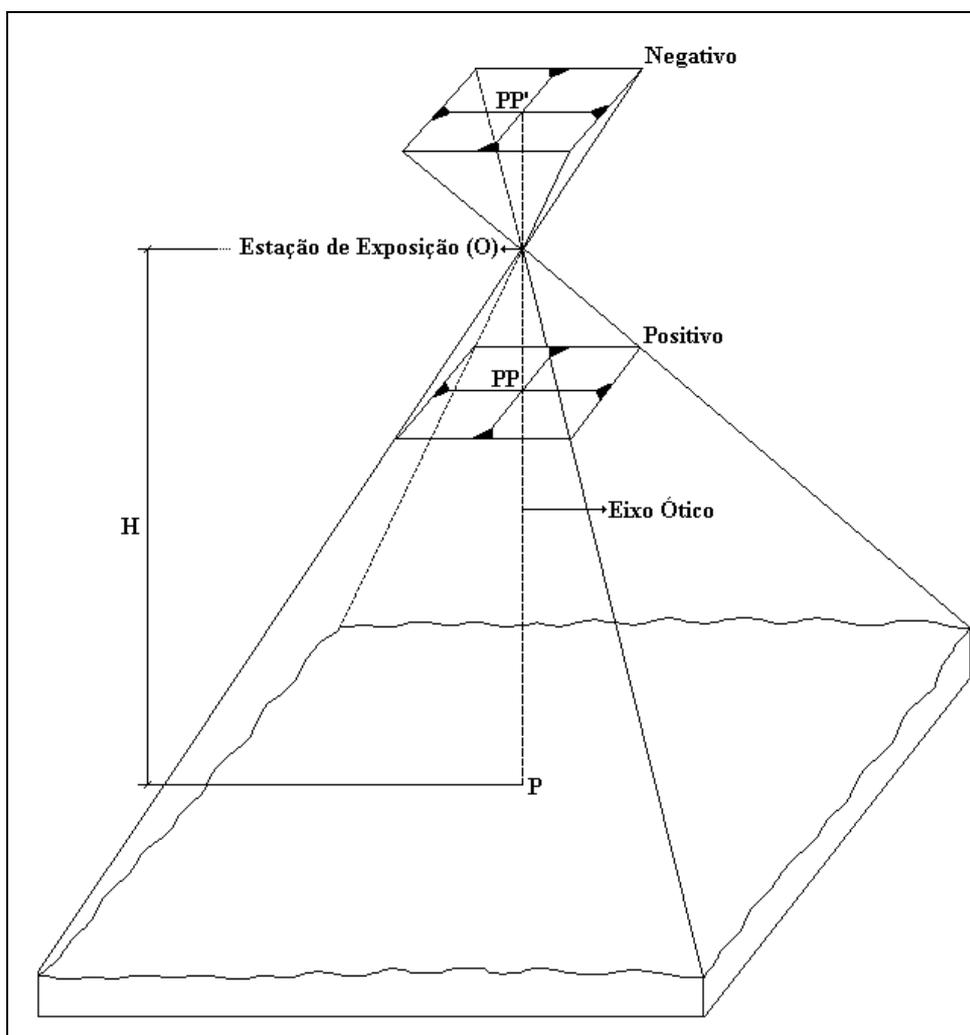
a) **Estação de Exposição:** é o nome dado à posição do centro perspectivo (ponto nodal ou centro ótico) no instante da tomada da fotografia. Designado por **(O)**.

b) **Altitude de Vôo:** é a distância vertical, em metros, entre a estação de exposição e o Geóide (nível médio do mar). Designado por **(H<sub>0</sub>)**.

c) **Altura de Vôo**: é a distância vertical, em metros, entre a estação de exposição e um plano qualquer de referência do terreno. Designada por (**H**).

d) **Aerobase ou Base Aérea**: é a distância horizontal, em metros, entre as estações de exposição de fotografias consecutivas. Designada por (**B**).

e) **Ponto Principal da Fotografia**: é o ponto formado pela projeção ortogonal do centro perspectivo no plano do filme, do negativo ou da fotografia (**PP**). É definido pela interseção das linhas que unem as marcas fiduciais opostas da foto.

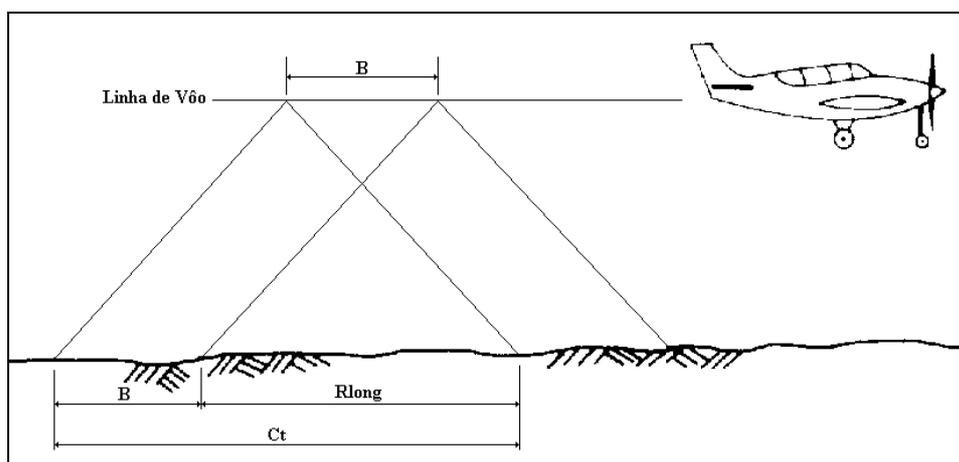


f) **Sistema de Coordenadas Fotográficas:** é um sistema de coordenadas cartesianas, cujo ponto de origem coincide com o ponto principal da fotografia. O eixo **x** é definido pela linha que une o ponto principal da fotografia esquerda com o ponto principal da fotografia direita, projetado sobre a fotografia esquerda (homólogo). Esta linha, também representa a direção seguida pela avião, durante a tomada das fotografias (linha de voo). Já, o eixo **y**, é definido pela linha perpendicular ao eixo **x**, passando pelo centro da fotografia.

g) **Fotobase ou Base Fotográfica:** é a distância horizontal, em mm, medida sobre a fotografia, entre as projeções de duas estações de exposição consecutivas. Designada por **(b)**.

### 29.1. Recobrimento entre Fotos e Faixas de Fotos

#### a) Recobrimento entre Fotos



Para que se tenha uma cobertura fotográfica correta de determinada região da superfície terrestre é necessário que as fotos consecutivas, tiradas em uma direção (linha de voo), registrem porções iguais do terreno. Para que isso ocorra, entre uma foto e a sua consecutiva, deve haver uma zona de recobrimento ou superposição denominada *Zona de Superposição Longitudinal* (figura acima). Esta é necessária para a visualização, em 3D, das fotografias (ou pares) obtidas. Para isso, o recobrimento entre uma foto e outra, deve ser, no mínimo, de 60%.

#### Superposição Longitudinal:

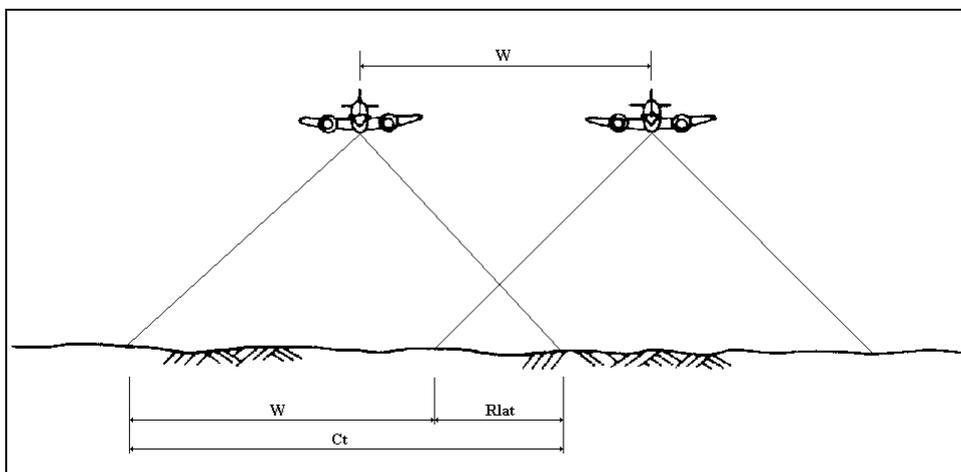
$$S_{\text{long}} = R_{\text{long}} = \left[ \frac{C_t - B}{C_t} \right] \cdot 100$$

onde

$$C_t = l \cdot E$$

### b) Recobrimento entre Faixas

No caso de uma região muito grande, a cobertura fotográfica deve ser realizada em várias direções paralelas, portanto, seguindo várias linhas de voo. Para cada uma destas linhas há um conjunto de fotografias consecutivas ao qual denominamos *faixa*. Entre uma e outra faixa deve haver uma zona de recobrimento ou superposição denominada *Zona de Superposição Lateral* (figura abaixo). Esta é necessária para evitar falhas na cobertura do terreno. Para isso, o recobrimento entre uma faixa e outra, deve ser, no mínimo, de 30%.



**Superposição Lateral:**

$$S_{lat} = R_{lat} = \left[ \frac{C_t - W}{C_t} \right] \cdot 100$$

onde

$$W = D_{faixa} = (1 - R_{lat}) \cdot C_t$$

Em função dos seguintes elementos:

- Área fotografada
- Escala das fotos (pré definida no projeto ou plano de voo)

- c) Tamanho das fotos
- d) Recobrimentos lateral e longitudinal

Podemos determinar:

- a) O número de faixas necessário para a cobertura da região que se quer levantar.
- b) O número de fotos em cada faixa.
- c) O número total de fotos.

**Número de Faixas:**

$$N_{\text{faixa}} = \left[ \frac{\text{Comp}_y - 2 \cdot (0,5 \cdot C_t - R_{\text{lat}} \cdot C_t)}{W} \right] + 1$$

onde

**Comp<sub>y</sub>** é o comprimento da região a ser fotografada, tomado perpendicularmente à linha de vôo.

**Número de Fotos por Faixa:**

$$N_{\text{fot/faixa}} = \left[ \frac{\text{Comp}_x}{B} \right] + 4$$

onde

$$B = (1 - R_{\text{long}}) \cdot C_t$$

e

**Comp<sub>x</sub>** é o comprimento da região a ser fotografada, ao longo da linha de vôo.

**Número Total de Fotos:**

$$N_{\text{tot}} = N_{\text{fot/faixa}} \cdot N_{\text{faixa}}$$

## 29.2. Paralaxe de Imagens

A visualização em 3D de um par de fotografias consecutivas, só é possível, através do efeito que a paralaxe de pontos, que aparecem em ambas as fotos, provoca.

A *paralaxe absoluta de um ponto*, portanto, é o deslocamento aparente que este ponto sofre, ao ser fotografado consecutivamente, de posições distintas no espaço.

A **paralaxe absoluta** de pontos na fotografia, é dada por:

$$px(i) = x(i) - x(i')$$

onde

$x(i)$  é o deslocamento sobre o eixo x, medido na foto esquerda.

$x(i')$  é o deslocamento sobre o eixo x, medido na foto direita.

A paralaxe em  $x$  existirá sempre que houver variações de altitude na superfície fotografada.

A paralaxe em  $y$ , pelo contrário, não deve existir, pois, prejudica sensivelmente a visão estereoscópica. Para evitar a paralaxe em  $y$ , é necessário que as retas que unem os pontos homólogos de um par estereoscópico, sejam paralelas à linha de vôo. Desta forma, as ordenadas de pontos medidas na foto esquerda, devem ser iguais às ordenadas de seus homólogos, na foto direita.

A **diferença de paralaxe** entre dois pontos quaisquer (**a** e **b**) será dada por:

$$\Delta px = |px(a) - px(b)|$$

A **diferença de nível** ( $\Delta h$ ) entre estes mesmos dois pontos, para terrenos relativamente planos, é obtida em função da diferença de paralaxe, através da relação:

$$\Delta h = \frac{H \cdot \Delta px}{b}$$

A **diferença de nível** entre os dois pontos já referidos anteriormente, levando em consideração que o terreno é acidentado, também é obtida em função da diferença de paralaxe, através da relação:

$$\Delta h = \frac{H \cdot \Delta px}{(b + \Delta px)}$$

Estas leituras de paralaxe, podem ser obtidas através de uso do escalímetro ou de um instrumento denominado *barra de paralaxe*. A precisão das leituras deve ser de 1/100mm.

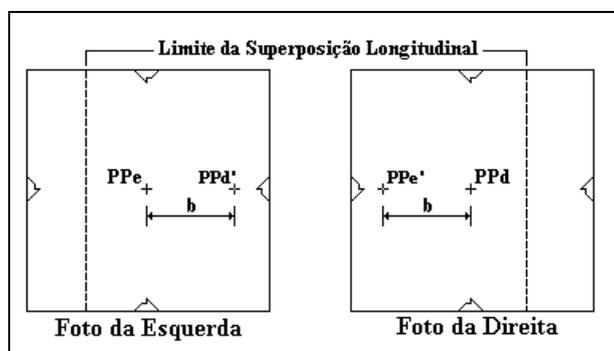
A **fotobase (b)** (figura abaixo), pode, ao invés de ser medida com escalímetro, ser determinada pela seguinte relação:

$$b = l \cdot (1 - R_{\text{long}})$$

onde

$l$  é o lado da fotografia, em mm.

$R_{\text{long}}$  é o recobrimento longitudinal da fotografia, *não* expresso em %.



A **altitude** de um ponto, em função da paralaxe, pode ser obtida através da relação:

$$h(P) = H_0 - \frac{B \cdot f}{px(p)}$$

A **altitude** de um ponto (A) pode ainda ser determinada, conhecendo-se a altitude de um segundo ponto (B), através da relação:

$$h(B) = h(A) \pm \left[ \frac{H_0 - h(A)}{px(b)} \right] \cdot \Delta px$$

pois

$$\Delta h = h(B) - h(A)$$

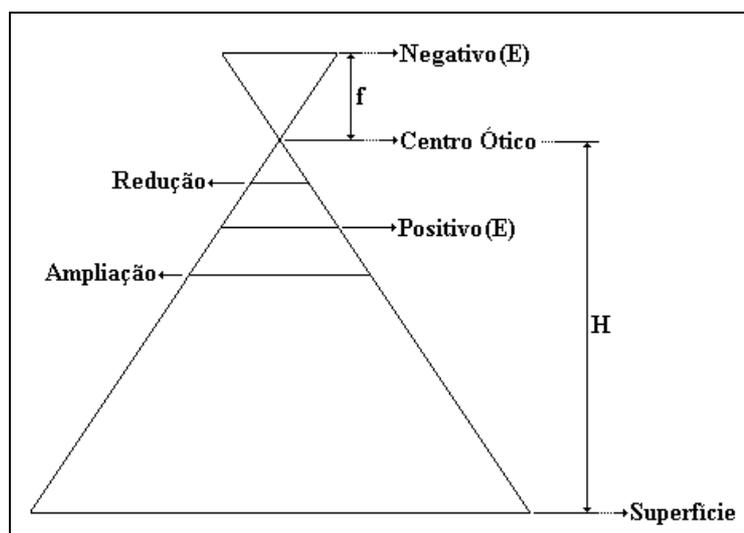
### 29.3. Escala de uma Fotografia Aérea Vertical

A **escala (E)** de um conjunto de fotografias aéreas verticais, normalmente, é determinada antes do vôo, durante o planejamento do mesmo, e é o resultado da relação entre a distância focal da câmara utilizada e a altura de vôo:

$$E = \frac{f}{H}$$

A escala (E) de uma fotografia pode ainda ser determinada pelas relações entre: a) uma distância no terreno e sua correspondente na fotografia; b) a base aérea e a base fotográfica.

$$E = \frac{d_{AB}}{D_{AB}} \quad \text{ou} \quad E = \frac{b}{B}$$



Já, a **escala de pontos (E(p))** distintos de uma única fotografia, é função da altitude do ponto (**h(P)**), que é dada pela relação:

$$E(p) = \frac{f}{H_0 - h(p)}$$

Portanto, a **escala média (E<sub>m</sub>)** de um conjunto de pontos de uma mesma foto, é função da média das altitudes (**h<sub>m</sub>**) destes pontos, que é dada por:

$$E_m = \frac{f}{H_0 - h_m}$$

#### 29.4. Coordenadas Terrestres e Aerobase

As coordenadas de um ponto P qualquer no terreno, podem ser obtidas em função das coordenadas fotográficas deste mesmo ponto, medidas sobre uma fotografia. A relação entre o sistema de coordenadas terrestre e o fotográfico é a seguinte:

$$X(P) = x(p) \cdot (H_0 - h(p)) \quad \text{ou} \quad X(P) = x(p) \cdot E \quad \text{ou ainda} \quad X(P) = B \cdot \frac{x(p)}{px(p)}$$

e

$$Y(P) = y(p) \cdot (H_0 - h(p)) \quad \text{ou} \quad Y(P) = y(p) \cdot E \quad \text{ou ainda} \quad Y(P) = B \cdot \frac{y(p)}{py(p)}$$

A **aerobase** ou base aérea, pode ser calculada em função das coordenadas fotográficas de dois pontos, conhecendo-se a distância horizontal terrestre entre eles:

$$B = \frac{D_{AB}^2}{\sqrt{\left[ \frac{x(b)}{px(b)} - \frac{x(a)}{px(a)} \right]^2 + \left[ \frac{y(b)}{py(b)} - \frac{y(a)}{py(a)} \right]^2}}$$

onde

$$D_{AB} = \sqrt{((X(B) - X(A))^2 + (Y(B) - Y(A))^2)}$$

#### 29.5. Distorção Radial

Todos os pontos de uma fotografia aérea vertical, com exceção do ponto central desta, estão sujeitos a vários tipos de deformações ou distorções. Entre estas distorções, destaca-se como relevante o deslocamento que a imagem de um ponto da fotografia sofre, devido à sua altitude. Este deslocamento é denominado *distorção radial* (**d**) do ponto, é ocorre sempre no sentido radial, ou seja, do centro da foto para fora. A distorção radial de um ponto pode ser determinada pela seguinte relação:

$$d = \frac{r \cdot h(p)}{H_0} = r - r'$$

onde

$r$  é a distância do ponto principal à imagem do *topo* de P.

$r'$  é a distância do ponto principal à imagem da *base* de P.

### 29.6. Exercícios

1. Determine a diferença de nível entre os pontos A e R utilizando a fórmula aproximada (para terrenos planos) e sabendo-se que:

$$\begin{aligned} b &= 9,2 \text{ cm} \\ f &= 152,0 \text{ mm} \\ px(a) &= 15,23 \text{ mm} \\ px(r) &= 14,42 \text{ mm} \\ H &= 3040 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Com os mesmos dados do exercício anterior, determine a diferença de nível entre os pontos utilizando a fórmula para terrenos acidentados e considerando o ponto R como sendo o centro da fotografia esquerda.

3. Num par estereoscópico, após sua orientação, obtiveram-se os seguintes dados:

$$\begin{aligned} x(a) &= 90,51 \text{ mm} & x(b) &= 5,32 \text{ mm} & x(c) &= 54,16 \text{ mm} \\ x(a') &= 15,40 \text{ mm} & x(b') &= -62,47 \text{ mm} & x(c') &= -20,04 \text{ mm} \end{aligned}$$

Determine as paralaxes absolutas dos pontos A, B e C.

4. Sabe-se que para a foto do exercício anterior a altitude de vôo é de 3800m, a distância focal da câmara é de 152mm e a base aérea é de 1320m. Determine as altitudes dos pontos A, B e C.

5. Ainda em relação aos dois últimos exercícios, determine a escala de cada um dos pontos da fotografia.

6. Determine a diferença de nível entre dois pontos A e B sabendo-se que a escala da foto é 1:20.000, a paralaxe do ponto A é 15,23mm, a paralaxe do ponto B é 14,42mm, a distância focal da câmara é 152mm, o lado da foto é 23cm e o recobrimento longitudinal é de 60%.

7. Um par de fotogramas foi obtido com uma câmara de distância focal de 210,42mm. A escala dos fotogramas foi determinada através da distância entre dois pontos que no terreno é de 1828m e que, na fotografia, equivale a 152,33mm. O ponto principal desta mesma foto tem altitude igual a 581,0m. As paralaxes de outros três pontos nela identificados

são:  $px(1)=13,56\text{mm}$ ,  $px(2)=15,68\text{mm}$  e  $px(3)=14,01\text{mm}$ . Determine as altitudes destes pontos sabendo-se que a paralaxe do ponto central (PP) da foto é  $15,24\text{mm}$ .

8. Sobre um par de fotografias verticais, tiradas de uma altitude de  $1200\text{m}$ , com aerobase de  $380\text{m}$  e câmara de distância focal de  $152,4\text{mm}$ , foram efetuadas as seguintes leituras:

$$\begin{array}{lll} x(1) = 53,41\text{mm} & x(2) = 88,92\text{mm} & x(3) = 50,84\text{mm} \\ x(1') = -38,26\text{mm} & x(2') = -7,06\text{mm} & x(3') = -46,69\text{mm} \end{array}$$

Determine:

- as altitudes de A, B e C.
- as diferenças de paralaxe entre os pontos.
- a escala de cada um dos pontos.

9. Para um ponto B de altitude  $1300\text{m}$  temos uma leitura de paralaxe de  $12,57\text{mm}$ . Calcular a leitura de paralaxe para um outro ponto, de altitude  $1320\text{m}$ , sabendo-se que a altura de vôo foi de  $3000\text{m}$  e que a fotobase é de  $88\text{mm}$ .

10. De um par estereoscópico foram obtidos os seguintes dados:

$$\begin{array}{l} H = 2700\text{m} \\ b = 88\text{mm} \\ px(a) = 15,47\text{mm} \\ px(b) = 13,47\text{mm} \end{array}$$

Determine a diferença de nível entre os pontos A para B.

11. Um par estereoscópico, tomado com uma câmara de distância focal igual a  $152,4\text{mm}$  e cuja aerobase é de  $527,3\text{m}$  foi devidamente orientado para ser medido com a barra de paralaxe. Sabendo-se que a altitude de um ponto A (de controle) é  $224,02\text{m}$ , determine as altitudes dos pontos da tabela abaixo, conhecendo-se as paralaxes absolutas correspondentes.

Ponto	Paralaxe	Ponto	Paralaxe
A	90,82	6	94,31
1	92,24	7	92,45
2	89,11	8	90,53
3	89,22	9	87,96
4	91,76	10	88,72
5	93,35		

12. Determine a escala de uma fotografia sabendo-se que entre as imagens de dois pontos A e B temos  $9,5\text{mm}$  e que suas coordenadas terrestres são:

$$\begin{array}{lll} E(A) = 493,802\text{m} & N(A) = 289,065\text{m} & H(A) = 37,5\text{m} \\ E(B) = 511,955\text{m} & N(B) = 197,885\text{m} & H(B) = 16,8\text{m} \end{array}$$

13. Numa foto vertical tomada com câmara de distância focal de 152,6mm aparece a imagem dos pontos A e B de altitudes 177 e 262 metros respectivamente. A distância terrestre entre eles é de 1200 metros e suas coordenadas fotográficas são:

$$\begin{array}{ll} x(a) = -54,7\text{mm} & y(a) = 84,3\text{mm} \\ x(b) = 49,6\text{mm} & y(b) = -2,6\text{mm} \end{array}$$

Determine a altitude de vôo.

14. Dois pontos M e N estão a altitudes de 760 e 850 metros respectivamente. Ambos aparecem numa foto vertical tomada de uma altitude de vôo de 2200 metros e com câmara de distância focal de 90mm. Determine a escala dos pontos M e N e a escala média da foto.

15. Dois objetos situados a uma altitude aproximada de 640 metros e que coincide com a altitude média do terreno estão, entre si, a uma distância de 1455 metros. Numa fotografia vertical, a distância entre estes objetos é de 58,2mm. Qual a escala média da foto? Para uma distância focal de 90mm, qual a altitude de vôo?

16. Para as coordenadas fotográficas abaixo:

$$\begin{array}{ll} x(c) = 42,1\text{mm} & y(c) = -12,5\text{mm} \\ x(d) = -20,0\text{mm} & y(d) = -64,7\text{mm} \end{array}$$

Determine a distância CD no terreno, sabendo-se que a escala da foto é 1:25.000.

17. Os pontos A, B e C estão, respectivamente, a 680m acima do nível do mar, 40m abaixo do nível do mar e 700m acima do nível do mar. Suas imagens distam do ponto principal da fotografia de 82, 60 e 12mm. Determine os deslocamentos destas imagens em relação ao relevo, suas direções e sentidos, para uma altitude de vôo de 1800m.

18. Sobre um par de aerofotos verticais tomadas de uma altitude de 1200m, com base aérea de 380m e câmara de distância focal de 152,4mm, foram efetuadas as seguintes leituras:

$$\begin{array}{lll} x(a) = 53,41\text{mm} & x(a') = -38,26\text{mm} & y(a) = 50,84\text{mm} \\ x(b) = 88,92\text{mm} & x(b') = -7,06\text{mm} & y(b) = -46,69\text{mm} \end{array}$$

Determine as altitudes de A e B e a distância entre eles no terreno.

19. Tomando os dados do exercício anterior, determine em relação a um ponto C de altitude 590m e paralaxe 95,0mm, as altitudes de A e B.

20. Uma área de 10.000m (E-O) por 6.500m (N-S) está para ser coberta por fotografias aéreas verticais na escala 1:12.000. Sabe-se que o recobrimento longitudinal e lateral das fotos deve ser de 60% e 30% respectivamente. Se a distância focal da câmara a ser utilizada para a cobertura é de 152,4mm e o formato do negativo é de 23cmx23cm, determine:

a) número de fotos por faixa.

- b) número de faixas.
- c) número total de fotografias necessárias para uma perfeita cobertura da região.

### 29.7. Altitude de Vôo

A altitude de vôo é determinada, basicamente, através dos seguintes processos:

#### a) Por instrumentos

- ⇒ Altimetro
- ⇒ Giroscópio
- ⇒ APR (Air Profile Recorder)

#### b) Por relações matemáticas

- ⇒ através da fórmula da escala;
- ⇒ através de uma equação do 2o. grau;
- ⇒ por um processo iterativo.

### 29.8. Exercícios

1. A distância terrestre entre dois pontos A e B com altitudes de 410 e 520 metros respectivamente, é de 619 metros. As coordenadas fotográficas destes pontos são:

$$\begin{array}{ll} x(a) = 35.2\text{mm} & x(b) = -15.1\text{mm} \\ y(a) = -41.5\text{mm} & y(b) = 5.4\text{mm} \end{array}$$

Para uma distância focal de 152mm, determine a altitude de vôo através da fórmula da escala.

2. Numa foto vertical tomada com uma distância focal de 152,6mm aparece a imagem de um ponto A e de um ponto B de altitudes 177 e 262 metros respectivamente. A distância terrestre entre A e B é de 2600 metros. As coordenadas fotográficas das imagens são:

$$\begin{array}{ll} x(a) = -15.7\text{mm} & x(b) = 19.6\text{mm} \\ y(a) = 44.3\text{mm} & y(b) = -8.6\text{mm} \end{array}$$

Determine a altitude de vôo pela fórmula da escala.

### 29.9. Outros Tipos de Deslocamentos de Imagens

As causas mais frequentes do deslocamento da imagem de pontos, numa fotografia aérea vertical, são devidas:

a) *À inclinação do plano da fotografia*

- ⇨ no sentido radial (a partir do centro da foto);
- ⇨ positivas para fora e negativas para dentro;
- ⇨ as devidas correções devem ser efetuadas em fotos com inclinação superior a 1°;
- ⇨ o ponto do centro é isento deste deslocamento.

b) *Ao movimento do relevo ou à altitude dos pontos*

- ⇨ no sentido radial (a partir do centro da foto);
- ⇨ positivas para fora e negativas para dentro;
- ⇨ diretamente proporcional às diferenças de nível entre os pontos;
- ⇨ minimizado para grandes altitudes de vôo;
- ⇨ o ponto do centro é isento deste deslocamento.

$$d = \frac{r \cdot h(p)}{H_0} = r - r'$$

c) *Ao arrastamento*

- ⇨ na direção da linha de vôo;
- ⇨ é diretamente proporcional à velocidade do avião (**V**), expressa em Km/h;
- ⇨ é diretamente proporcional ao tempo de exposição (**t**), expresso em horas;
- ⇨ é diretamente proporcional à distância focal (**f**), expressa em mm;
- ⇨ é inversamente proporcional à altura de vôo (**H**), expressa em Km;

$$d = \frac{V \cdot t \cdot f}{H}$$

- ⇨ o tempo de exposição deve ser tal, que o deslocamento não pode exceder a 0,05mm. A partir deste valor haverá, necessariamente, um arrastamento da imagem.

d) *À curvatura da Terra*

- ⇨ no sentido radial (a partir do centro da foto);
- ⇨ é diretamente proporcional à altura de vôo (**H**), expressa em Km;
- ⇨ é diretamente proporcional ao ângulo de campo (**α**), expresso em graus;
- ⇨ o ponto do centro é isento deste deslocamento.

$$d = \frac{H}{12.800} \cdot \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \text{sen}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

e) *À refração atmosférica*

- ⇒ é função do índice de refração atmosférica, pois, a camada atmosférica é composta de várias camadas distintas, cada uma com um índice de refração específico;
- ⇒ este índice de refração depende: da temperatura, da pressão, da umidade e da quantidade de gás carbônico no ar;
- ⇒ é diretamente proporcional à altura de vôo (H), expressa em Km;
- ⇒ é diretamente proporcional à distância focal (f), expressa em mm;
- ⇒ é diretamente proporcional ao ângulo de campo ( $\alpha$ ), expresso em graus.

$$d = \frac{a \cdot H \cdot f}{2} \left[ 1 + \frac{4b}{3a} \cdot H \right] \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \left[ 1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \right]$$

onde

$$a = -2.560.E-08$$

$$b = 75.E-08$$

f) *À distorção das lentes*

- ⇒ podem ser radiais ou tangenciais;
- ⇒ as radiais são produto de imperfeições na fabricação das lentes e são influenciadas pela posição do diafragma;
- ⇒ as tangenciais são causadas por defeito na centragem das lentes da objetiva;
- ⇒ estas, nunca são eliminadas completamente.

g) *À deformação do material sensível*

- ⇒ que não é uniforme;
- ⇒ que sempre ocorre em função da temperatura, da umidade e do tratamento físico-químico que é dado ao material;
- ⇒ só é minimizada quando se trabalha com material especial ou quando a câmara utiliza placa de vidro reticulada.

h) *Ao olho humano*

- ⇒ a nitidez da imagem fica prejudicada por problemas de miopia, hipermetropia, presbiopia e astigmatismo.

**29.10. Exercícios**

1. Uma catedral com altura ( $h$ ) se encontra a 500m acima do nível do mar. Esta catedral aparece numa fotografia aérea tomada de uma altitude de vôo de 11.648m e com uma câmara de distância focal de 88,5mm. O ângulo de inclinação da foto é de  $1^\circ$  e o deslocamento do topo da catedral, devido a esta inclinação, é de 2,5mm. O deslocamento da imagem entre o topo e a base da catedral foi medido na fotografia e é de 1,0mm. Calcular a altura da catedral e o deslocamento radial total sabendo-se que a distância do ponto principal à base da imagem é de 8,85cm e que a câmara é uma grande-angular.

2. Considerando-se  $f$  igual a 152,4mm,  $H$  igual a 4.000m e  $\alpha$  igual a  $94^\circ$  determine o deslocamento da imagem de um ponto A de uma fotografia, em mm, devido à curvatura da Terra.

3. Com os dados do problema anterior, determine o deslocamento da imagem do ponto A devido à refração atmosférica.

4. Fotografa-se, a partir de uma altitude de 5.000m e com uma distância focal de 152mm um terreno cuja altitude varia de 400m a 2200m. Qual a escala nos pontos mais baixos e mais altos do terreno e quais os deslocamentos devido ao relevo para as imagens a e b situadas, respectivamente, a 2 e a 10cm do centro da fotografia?

5. Uma imagem está a 90mm do centro da fotografia. Sua elevação é de 2000m e a altura de vôo foi de 10.000m em referência a um Datum. Calcular o deslocamento da imagem devido ao relevo.

6. Num planejamento aerofotogramétrico o vôo de mapeamento indica que a posição da base de uma montanha de 1.500m de altura aparecerá a 75mm do ponto principal de uma fotografia de escala previamente determinada. Se a altitude de vôo é de 6.000m, a que distância da posição da base estará o topo da montanha? E a que distância da margem da fotografia, que mede 228,6 x 228,6mm, estará a imagem?

### 30. Planejamento de Vôo

Todo projeto fotogramétrico, envolve um planejamento de vôo fotogramétrico.

Um vôo fotogramétrico nada mais é que um vôo tecnicamente executado, com o objetivo de obter a cobertura aerofotográfica de uma determinada região do terreno, que será levantado, através da aerofotogrametria.

A cobertura aerofotográfica, portanto, é o nome dado ao conjunto de fotografias aéreas verticais, tecnicamente obtidas de uma aeronave e que representam correta e completamente a superfície do terreno a ser estudado.

Os fatores que devem ser levados em consideração, durante o planejamento de um vôo fotogramétrico são:

⇒ Finalidade das fotografias: se quantitativa (medição) ou se qualitativa (interpretação).

- ⇒ Produto final desejado: se mapas, dados numéricos, mosaicos, fotoíndices, ortofotos etc.
- ⇒ Precisão exigida pelo projeto: se é um vôo de reconhecimento, detalhado ou semi-detalhado. Quanto maior a precisão, maior a escala da foto e maior o custo do levantamento.
- ⇒ Forma e tamanho da área que será fotografada: para isso, utiliza-se um mapa da região, de onde serão extraídas as informações: limites da área do projeto, as cidades mais importantes, a localização e o número de pontos de apoio terrestre, a direção do vôo (se N-S ou L-O), o número de linhas de vôo, a quantidade de fotografias, o recobrimento longitudinal e recobrimento lateral, etc.
- ⇒ Tipo de relevo que a área apresenta: para prever e planejar uma ou mais alturas de vôo, em função das diferenças de nível entre os pontos, que afetam significativamente a escala das fotos.  
  
obs.: a 3D só é possível em fotos com diferença de escala de até 15%, porém, para trabalhos que exigem observação constante, diferenças superiores a 5% são prejudiciais à visão.
- ⇒ Escala da fotografia em função do produto final desejado: é função das limitações físicas e óticas do equipamento de restituição que será utilizado.
- ⇒ Escala da fotografia em função da altura de vôo e da distância focal: para evitar distorções acentuadas.
- ⇒ Pontos de apoio horizontais(X,Y) e verticais(Z) necessários à aerotriangulação: são pontos terrestres constituídos por vértices pertencentes às redes de 1ª, 2ª e 3ª ordem, e suas coordenadas (geodésicas, geográficas ou planas) são determinadas através da Geodésia, Astronomia ou Topografia.
- ⇒ Características dos equipamentos de restituição disponíveis para o projeto: são levados em consideração elementos tais como: distância de projeção ótima, distância focal, base, tamanho do negativo etc.
- ⇒ Características das câmaras métricas disponíveis: distância focal, poder de resolução das lentes, formato, tempo de exposição, ângulo de campo etc.
- ⇒ Características do avião: velocidade de cruzeiro (250 a 960Km/h), altura de cruzeiro (8500 a 10000m), autonomia de vôo (3 a 6h), estabilidade, manejo, etc.
- ⇒ Características dos filmes e filtros: dependendo da finalidade do projeto.
- ⇒ Período ou época propícia para a tomada das fotografias: condições atmosféricas normais (dias claros, sem nuvens, pouco vento), altura mínima (30°) e máxima do sol (45°), etc.

obs.: para os interessados no cálculo (técnico-financeiro) de um planejamento de vôo completo, recorrer à bibliografia indicada no início do ano letivo.

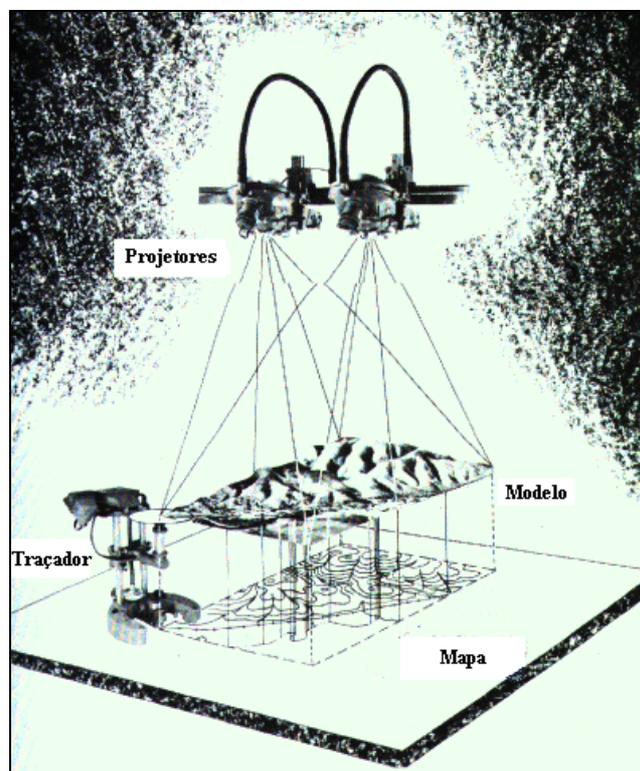
### 31. Restituição Fotogramétrica

É o nome dado à operação que visa obter o original fotogramétrico (carta ou mapa obtido através de fotografias).

Consiste em, através de instrumentos e técnicas específicas, transformar a *projeção cônica* do fotograma (ou par fotográfico) em uma *projeção ortogonal* (carta ou mapa), onde serão desenhados os pormenores planialtimétricos do terreno, após ter sido restabelecida a equivalência geométrica entre as fotografias aéreas, no instante em que foram tomadas, e o par de diapositivos que se encontra no projetor.

Esta transformação pode ser:

- ⇒ Gráfica
- ⇒ Analógica
- ⇒ Analítica ou numérica
- ⇒ Digital



As transformações analógicas e analíticas envolvem as seguintes etapas de operação do aparelho restituidor:

- ⇨ Orientação interior: este é o momento em que os pontos principais do fotograma são determinados, através das marcas fiduciais, e, em que é realizado o ajuste da distância focal do projetor (que deve ser proporcional à da câmara utilizada).
- ⇨ Orientação exterior ou relativa: é o momento em que são determinados os principais movimentos (num total de seis) que afetaram a fotografia no instante de sua tomada. Três destes, são movimentos de translação e os outros três, movimentos de rotação. É nesta fase, também, que se elimina a paralaxe (distorções) dos pontos fotografados.
- ⇨ Orientação absoluta: é o momento em que se determina a escala do modelo estereoscópico (imagem 3D), formado pelas duas imagens projetadas, e, em que se determina a altura deste modelo, segundo o nível de referência pretendido.

### 32. Produtos Aerofotogramétricos mais comuns

- ⇒ **Fotoíndice:** é o nome dado ao conjunto de fotografias aéreas de uma determinada região. Estas fotografias estão em escala aproximada, ligadas e montadas umas às outras através de suas zonas de superposição (entre fotos e faixas) e reduzidas fotograficamente. Sua finalidade é a de identificar falhas existentes nos recobrimentos, derivas do vôo, quantidade de pontos de apoio existentes, etc.
- ⇒ **Mosaico:** é o nome dado ao conjunto de fotografias aéreas, em que as fotos são montadas e ajustadas (cortadas e coladas) sistematicamente umas às outras, através dos detalhes do terreno, possibilitando uma visão global (completa) de toda a região fotografada. Sua finalidade é possibilitar o estudo preliminar de geologia, solos, vegetação, recursos hídricos e naturais, etc.
- ⇒ **Fotocarta:** é o nome dado a um mosaico, sobre o qual são impressas as seguintes informações: quadriculado ou malha de coordenadas, moldura, nomes de rios, de cidades, de acidentes geográficos importantes, legenda, etc.
- ⇒ **Ortofotocarta:** é o nome dado a uma fotografia retificada, ampliada em papel indeformável e completada com as seguintes informações: símbolos, quadriculado ou malha de coordenadas, legenda, podendo ainda conter informações planialtimétricas ou somente planimétricas. A vantagem de se produzir uma ortofoto, ao invés de um mapa, está na riqueza de detalhes que a foto pode registrar e que, necessariamente, o mapa, não tem condições de informar.

### **Bibliografia**

**PAREDES**, Evaristo A.. *Introdução à Aerofotogrametria para Engenheiros*. UEM, 1987.

**WOLF**, Paul R.. *Elements of Photogrammetry*. McGraw-Hill Book Company, 1974.