

ORTOFOTO

Cap Com Joviano Alfredo Lopes

Uma ortofoto é uma fotografia mostrando imagens de objetos em suas verdadeiras posições ortográficas. Ortofotos são, portanto, geometricamente equivalentes às cartas planimétricas em linhas e símbolos convencionais que também mostram as verdadeiras posições ortográficas de objetos.

A maior diferença entre uma ortofoto e uma carta é que uma ortofoto é composta de imagens do terreno, ao passo que cartas utilizam linhas e símbolos em escala para representá-lo.

Pelo fato de serem planimetricamente corretas, ortofotos podem ser usadas como cartas para medidas diretas de distâncias, ângulos, posições e áreas sem a necessidade de correções para deslocamentos de imagem. Isto, é claro, não pode ser feito com fotos perspectivas.

Ortofotos são produzidas de fotos perspectivas (normalmente fotografias aéreas) através de um processo chamado retificação diferencial, que elimina deslocamentos da imagem devido à inclinação fotográfica e ao relevo.

O deslocamento devido à inclinação (Fig. 1) existe em uma foto se no instante da exposição o plano da foto é inclinado em relação ao plano *datum*. A retificação elimina o efeito da inclinação e produz uma foto vertical equivalente. Isto é conseguido através da orientação absoluta do modelo estereoscópico.

Ao longo da paralela isométrica (linha passante pelo isocentro e perpendicular à direção de inclinação, isto é, interseção do plano da fo-

to inclinada e o plano da foto vertical equivalente) representada em vista de topo pelo ponto *l* na Fig. 1, não há deslocamento em relação à fotografia vertical equivalente.

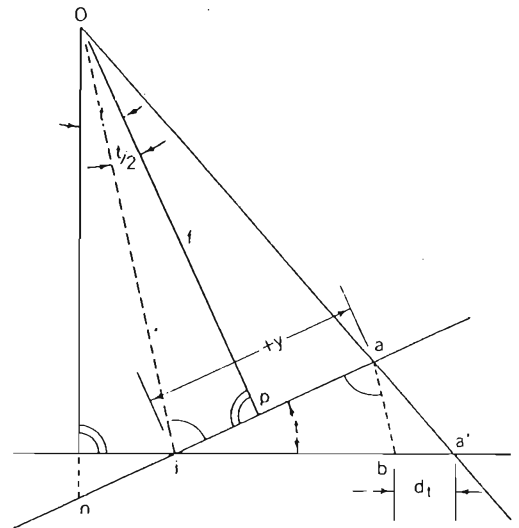


Figura 1 – Deslocamento da imagem devido à inclinação.

A magnitude do deslocamento dt é dada, através de deduções geométricas, pela equação

$$dt = \frac{y^2}{(f/\text{sent}) - y} \quad (1)$$

onde y é a componente ao longo da linha principal da distância da imagem ao isocentro, ou seja, ao centro de irradiação dos deslocamentos da imagem devidos à inclinação, f é a distância focal da câmera e t , o ângulo de inclinação da mesma.

Uma forma aproximada da eq. (1) é

$$dt \approx \frac{y^2 \text{sent}}{f}$$

uma vez que o valor de y no denominador da equação exata é normalmente pequeno em relação ao valor de f/sent .

A menos que o terreno seja perfeitamente plano, uma foto vertical equivalente retificada conterá ainda variações de escala como um resultado de deslocamentos de imagem devido a variações no relevo.

No processo de remoção de deslocamentos do relevo de uma foto, variações de escala também são removidas e a escala torna-se constante em toda a foto. Qualquer foto que possua escala constante em todos os seus pontos é uma ortofoto tendo a mesma precisão planimétrica que uma carta ou mapa.

A Fig. 2 ilustra um deslocamento (de) da imagem devido ao relevo. AA' é um objeto elevado sobre o solo, não verticalmente sob a câmera, e aa' é a imagem. A imagem a é do topo A do objeto, e a' é presumivelmente a posição correta da imagem; daí, a distância de a a a' é o deslocamento da imagem causada pela altura h do objeto.

Na prática A é freqüentemente um detalhe sobre uma elevação do terreno, por isso a base A' não é visível e a imagem não aparece na fotografia. Contudo, a imagem a é considerada um deslocamento em relação à sua correta posição de mapeamento.

A direção do deslocamento da imagem devido ao relevo é radial, com respeito ao ponto nadir, que é o centro de irradiação dos deslocamentos da imagem devidos ao relevo. Isto ocorre independentemente da intencional ou acidental inclinação da câmera aérea. O ponto nadir coincide com o ponto principal p (centro geométrico) no caso de uma fotografia aérea exatamente vertical.

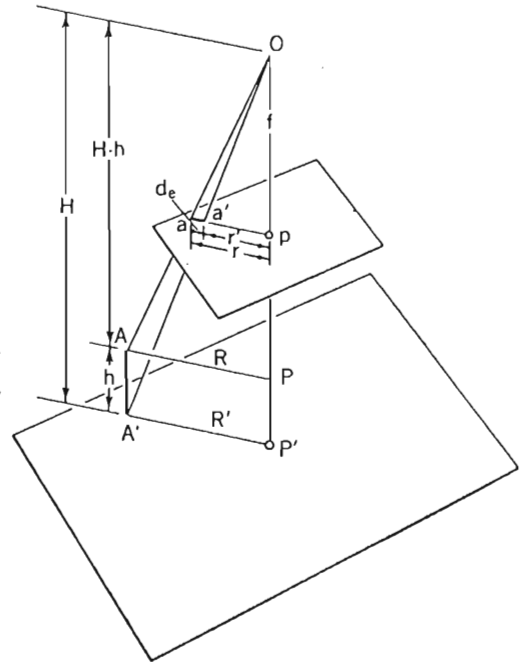


Figura 2 — Deslocamento da imagem devido ao relevo.

A magnitude de do deslocamento da imagem devido ao relevo de uma foto exatamente vertical é expressa pelas seguintes equações, também deduzidas geometricamente:

$$de = \frac{rh}{H} \quad (2); \quad de = \frac{r'h}{H-h} \quad (3).$$

O deslocamento da imagem devido ao relevo é corrigido diminuindo-se a distância entre o projetor do diapositivo central, referente ao conjunto de três fotografias consecutivas de uma faixa de vôo, e o plano do ortonegativo, quer por elevação deste, quer por abaixamento daquele (solução analógica). Tal diminuição corresponderá à altura h , em escala do modelo, do ponto visto estereoscopicamente durante a varredura dos perfis do terreno. A correção do deslocamento da imagem devido ao relevo poderá também ser feita mediante variação da distância principal do projetor combinada a um prisma do Dove (solução analítica).

Os parâmetros nas eq. (2) e (3) são indicados na figura: r é a distância sobre a fotografia do centro à imagem do topo do objeto, r' é a

distância correspondente para a base do objeto, h é a altura do objeto, e H é a altitude de vôo da câmera em relação ao mesmo datum de h .

Deve ser mencionado que embora deslocamentos do relevo devidos à variação do terreno possam ser removidos durante a produção de uma ortofoto, um senão na ortofotografia é que imagens cônicas de superfícies verticais, tais como paredes de edifícios, não o podem.

Ortofotocartas oferecem significativas vantagens tanto sobre cartas quanto sobre fotos aéreas (ortofotocartas são ortofotografias acrescidas de informações marginais, quadriculagem, toponímia etc.). Isto porque ortofotos possuem as vantagens de ambas.

Por um lado, ortofotos têm qualidades pictoriais de fotos aéreas, porque as imagens de um infinito número de objetos no terreno podem ser reconhecidas e identificadas.

Por outro lado, devido ao fato de as imagens serem mostradas com exatidão planimétrica, medidas podem ser feitas diretamente sobre ortofotos, tal como é feito em cartas.

Engenheiros civis, engenheiros cartógrafos, planejadores, topógrafos, engenheiros florestais, geólogos, agrônomos, como exemplos, podem usar ortofotos com vantagem como cartas básicas para plotagem de observações de campo.

Ortofotocartas no entanto não oferecem nenhuma informação a respeito de elevações. Podem servir como cartas planimétricas básicas sobre as quais são superpostas curvas de nível e o produto resultante é chamado de ortofotocarta topográfica. Tais curvas são normalmente obtidas em operação de restituição separada.

O uso de ortofotocartas como cartas básicas para curvas de nível elimina a necessidade de restituição planimétrica e pode resultar em substancial economia de tempo.

Os instrumentos usados na produção de ortofotos podem geralmente ser classificados em uma das duas seguintes categorias:

- aqueles que produzem imagens por projeção ótica direta; e
- aqueles que produzem imagens eletronicamente.

Os instrumentos que produzem imagem por projeção ótica direta são basicamente versões

modificadas dos restituidores de projeção ótica direta. Requerem um operador para funcionar.

Os instrumentos que produzem imagens eletronicamente são geralmente automáticos, porém seu custo é alto e, conseqüentemente, há um número limitado deles em uso.

Pode-se caracterizar duas fases durante a obtenção da ortofoto:

- obtenção dos perfis do terreno de um modelo estereoscópico;
- exposição do ortonegativo segundo os perfis varridos na fase anterior.

Diz-se então que os instrumentos de ortofoto dividem-se em dois tipos dentro da categoria de projeção ótica direta: *on-line* e *off-line*.

Os instrumentos *on-line* são aqueles nos quais a varredura dos perfis e a exposição do ortonegativo são combinadas através de uma operação simultânea simples. Nenhum registro de elevações é feito e o único produto da operação *on-line* é o ortonegativo.

Os instrumentos *off-line*, por outro lado, produzem ortofotos em duas operações distintas. Os perfis são primeiramente varridos e registrados quer numa forma gráfica, quer numa forma digital. Subseqüentemente, estes perfis são lidos através de um instrumento que expõe automaticamente o ortonegativo sobre a base dos perfis.

Alguns instrumentos operam tanto em *on-line* como em *off-line*.

Podemos citar algumas vantagens dos instrumentos *off-line* sobre os instrumentos *on-line*. Os instrumentos *off-line* permitem:

- variar a velocidade de varredura na obtenção dos perfis, o que possibilita ao operador obter maior precisão em detalhes que assim o exigem;
- a obtenção dos perfis por diversos instrumentos ao mesmo tempo, o que aumenta a velocidade de produção;
- a exposição mais rápida através do uso de filmes mais velozes, o que economiza tempo de gravação;
- o armazenamento de perfis para utilização com outras fotografias mais atualizadas da mesma área;

- a correção dos erros ocorridos por ocasião da varredura;
- o teste dos modelos antes de serem retirados do instrumento, após a obtenção dos perfis;
- a interrupção da varredura dos perfis em qualquer ponto;
- a interpolação ótica dos perfis, muito útil em terrenos acidentados;
- a determinação dos perfis pela marca-índice, enquanto que na maioria dos instrumentos *on-line* a janela de varredura funciona como uma marca-índice, o que acarreta maior imprecisão.

Concluindo, podemos dizer que sendo a ortofoto um produto relativamente recente, se comparado com a carta convencional, e pos-

suindo múltiplas e significativas vantagens sobre esta, poderá tornar-se num futuro bem próximo uma forte alternativa de mapeamento, principalmente de áreas inacessíveis, e substituir em grande parte as tradicionais cartas de linhas e símbolos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WOLF, P.R. *Elements of Photogrammetry*, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., Japão, 1974.
2. AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photogrammetry*, 4ª ed., Chester C Slama (editor-chefe), EUA, 1980.
3. DESTRI, A.R. *Ortofoto* – Anotações de aula, curso de cartografia, Instituto Militar de Engenharia, não publicadas.
4. ANDRADE, D.F.P.N. *Fotogrametria Básica*, tomo I, Instituto Militar de Engenharia.



Cap Com Joviano Alfredo Lopes

Ex-aluno do Colégio Militar do Rio de Janeiro (1968 a 1972), possui o curso da Academia Militar das Agulhas Negras (Comunicações), formando-se com a Turma 31 de Março, em 1976.

Entre outras funções, foi Instrutor do Curso de Comunicações da AMAN (1981 a 1983). Cursa o 5º ano do Curso de Graduação do IME (Cartografia).