
UD VII

Geração do Modelo Numérico de Elevações

- Origem
- Nomenclatura Utilizada
- Aquisição de Dados
- Construção da Grade
- Estratégia Básica para Extração Automática do MNE
- Problemas na Extração Automática do MNE
- Estratégia para Otimização da Extração Automática do MNE
- Exemplo de Seqüência Operacional para Extração do MNE

Origem

- Professor *CHARLES L. MILLER* do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), entre 1955 e 1960.
- Pesquisas destinadas à execução de projetos de estradas auxiliados por computação.
- Modelos altimétricos do terreno, estabelecidos a partir de altitudes obtidas a intervalos planimétricos regulares, através de processo fotogramétrico.
- Consagrado pela sigla DTM (*Digital Terrain Model*)
- Atualmente, MDT traduz não apenas a feição altimétrica de uma região, mas está ligado a qualquer representação numérica que o modelo assume para uma determinada superfície física do terreno a ser representada.

-
- Fotogrametria Digital → Modelo Numérico de Elevações (MNE)

Nomenclatura Utilizada

- DEM / MDE – *Digital Elevation Model* /
Modelo Digital de Elevação
- MNFT – Modelo Numérico de Feições do Terreno
- MNE – Modelo Numérico de Elevações
- MET – Modelo de Elevações do Terreno
- DGM / MDS – *Digital Ground Model* / Modelo
Digital do Solo
- DTED – *Digital Terrain Elevation Model* (inglesa)

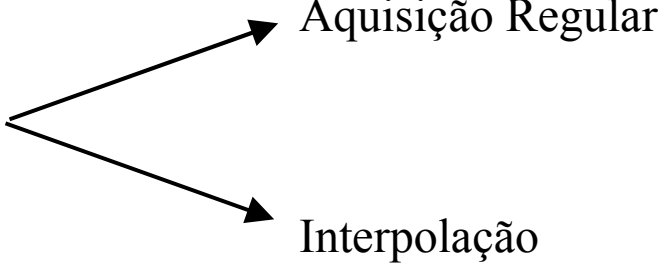
-
- DHM – Digitaler Hohen Modelle (alemã)
 - MNA – Modèle Numérique Altimétrique (francesa)

Aquisição de Dados

- Fontes de Dados:
 - Digitação de coordenadas (X, Y, Z) de pontos isolados
 - Digitalização de documentos cartográficos pré-existent
 - Fotogrametria Digital
 - GPS
- Formas de Aquisição:
 - Dispersa
 - Semi-regular (perfis / curvas de nível)
 - Regular

Construção da Grade

- Irregular —————> Triangulação de Delaunay
(Aquisição Dispersa)

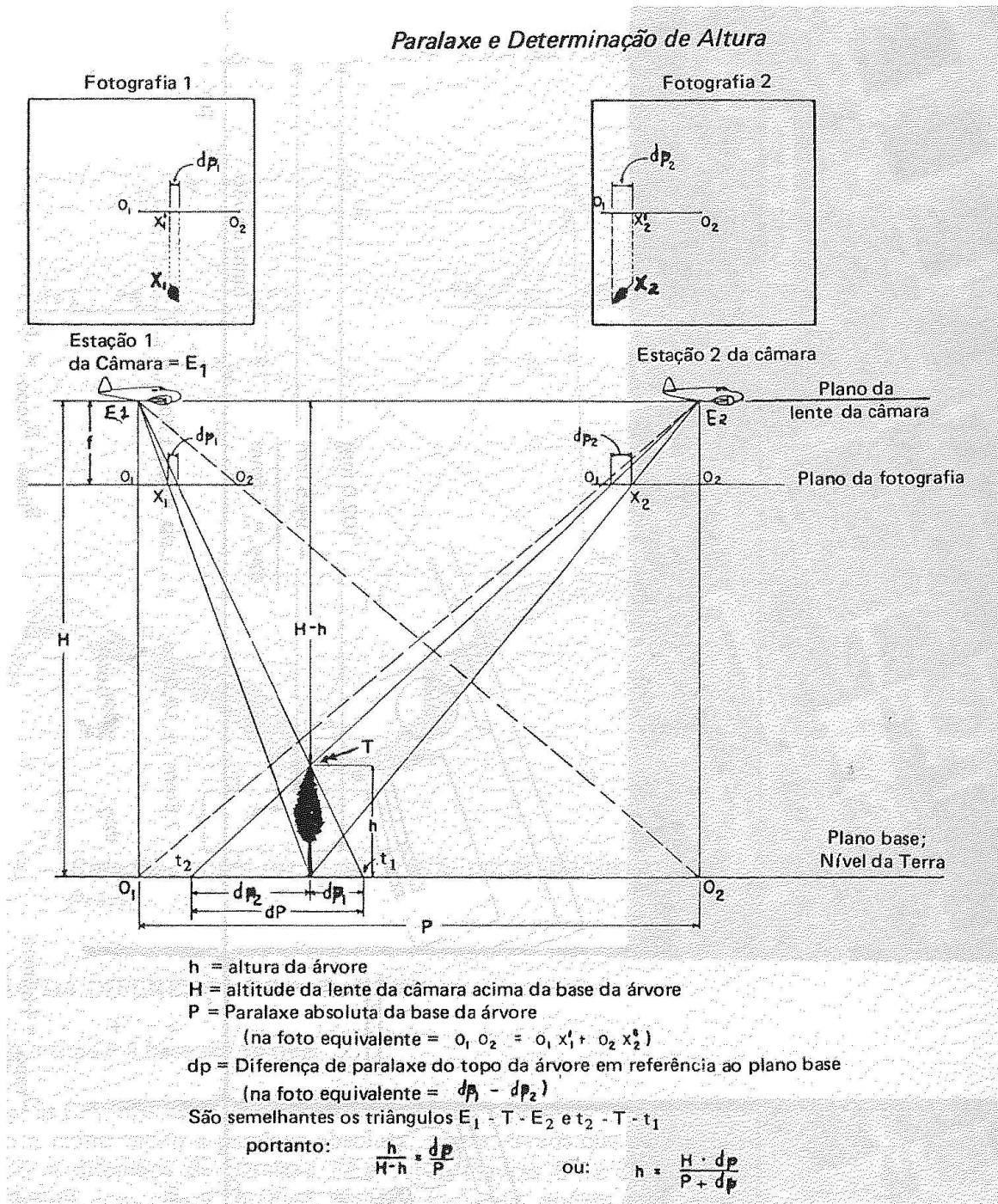
- Regular 
 - Aquisição Regular
 - Interpolação

Estratégia Básica para Extração Automática do MNE

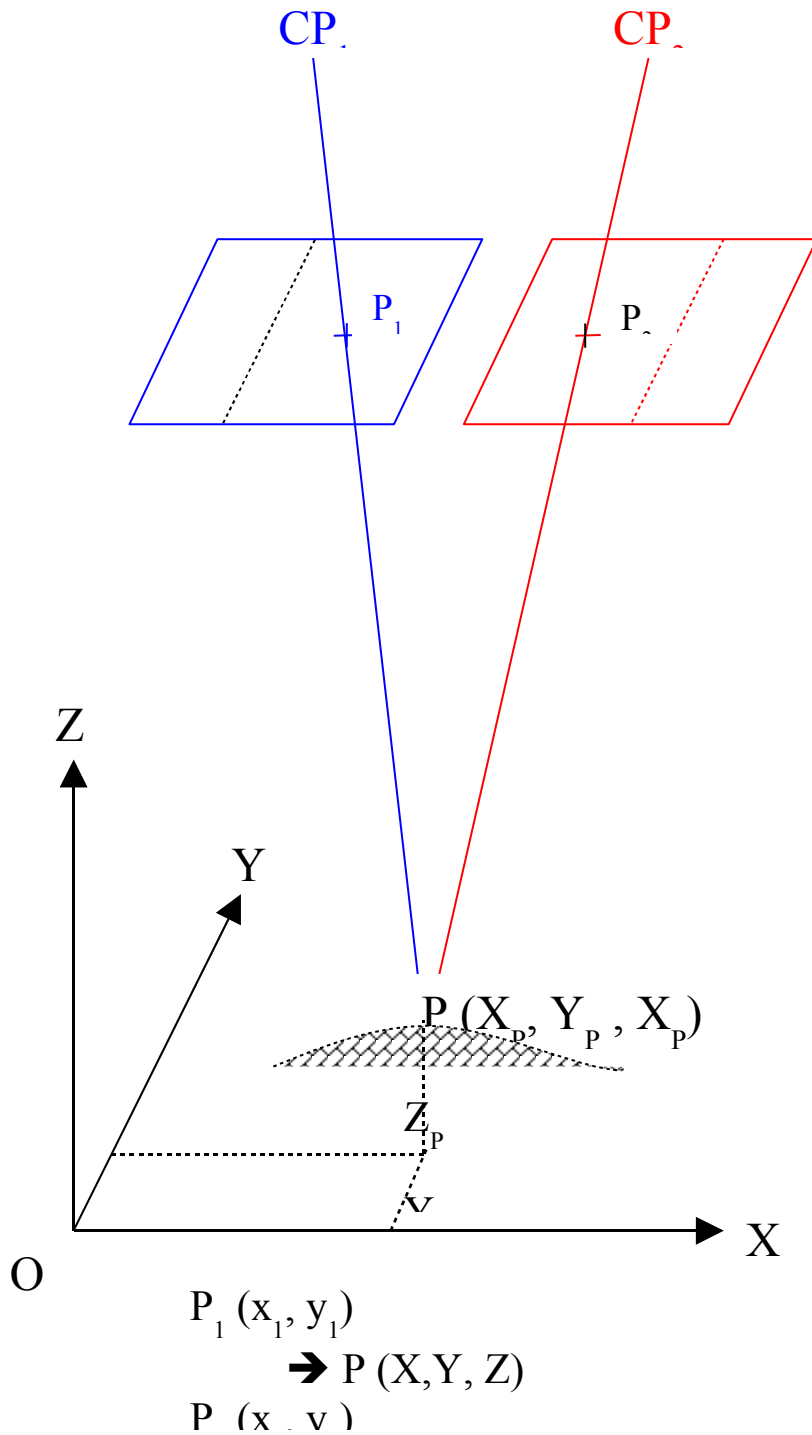
- Problema
 - Como extrair automaticamente a altitude de pontos a partir de um par de imagens conjugadas (estereograma)?

- Solução
 - Medição automática de pontos por correlação
 - Equação da Paralaxe
 - Interseção Espacial

Primeira Abordagem (Equação da Paralaxe)



Segunda Abordagem: Interseção Espacial



Os Parâmetros Envolvidos

A atitude do Sensor Fotogramétrico (Câmara aérea) em cada uma das tomadas que formam o modelo estereoscópico.

√ **Matriz de Rotação ($R = R_{\omega} R_{\phi} R_{\kappa}$)**, onde:

$$R_{1,1} = \cos\phi \cos\kappa$$

$$R_{2,1} = \cos\omega \operatorname{sen}\kappa + \operatorname{sen}\omega \operatorname{sen}\phi \cos\kappa$$

$$R_{1,2} = -\cos\phi \operatorname{sen}\kappa$$

$$R_{2,2} = \cos\omega \cos\kappa - \operatorname{sen}\omega \operatorname{sen}\phi \operatorname{sen}\kappa$$

$$R_{1,3} = \operatorname{sen}\phi$$

$$R_{2,3} = -\operatorname{sen}\omega \cos\phi$$

$$R_{3,1} = \operatorname{sen}\omega \operatorname{sen}\kappa - \cos\omega \operatorname{sen}\phi \cos\kappa$$

$$R_{3,2} = \operatorname{sen}\omega \cos\kappa + \cos\omega \operatorname{sen}\phi \operatorname{sen}\kappa$$

$$R_{3,3} = \cos\omega \cos\phi$$

√ **As COORDENADAS (X_0, Y_0, Z_0)e,d da Câmara no instante da tomada de cada Foto**

√ **A Distância focal da câmara (c).**

A Reconstrução do Espaço Objeto a partir do Espaço imagem pode ser efetuada, de modo semi-automático, a partir das equações de Colinearidade:

Dos parâmetros de atitude e de localização do sensor, tem-se:

$$\xi = \xi_0 - c \cdot \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$\eta = \eta_0 - c \cdot \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

Modificando-se as equações de colinearidade acima, tem-se:

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{r_{11}(\xi - \xi_0) + r_{12}(\eta - \eta_0) - r_{13} \cdot c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33} \cdot c}$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \cdot \frac{r_{21}(\xi - \xi_0) + r_{22}(\eta - \eta_0) - r_{23} \cdot c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33} \cdot c}$$

Fazendo:

$$k_{xi} = \frac{r_{11}(\xi - \xi_0) + r_{12}(\eta - \eta_0) - r_{13} \cdot c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33} \cdot c}$$

$$k_{yi} = \frac{r_{21}(\xi - \xi_0) + r_{22}(\eta - \eta_0) - r_{23} \cdot c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) - r_{33} \cdot c}$$

Chega-se à terceira coordenada (Z), isto é:

$$Z = \frac{X_{02} - Z_{02}k_{x2} + Z_{01}k_{x1} - X_{01}}{k_{x1} - k_{x2}}$$

Problemas na Extração Automática do MNE

- Definição do espaçamento do grid.
- Definição da direção do grid.

- Obs. 1: O espaçamento do grid será condicionado por:
 - Escala final do projeto / resolução geométrica da imagem
 - Tipo de terreno (plano, levemente ondulado ou fortemente acidentado)

- Obs. 2: Teremos problemas na extração automática onde a correlação falhar:
 - Regiões de textura uniforme
 - Áreas urbanas
 - Áreas cobertas por nuvens
 - Áreas cobertas por sombras.

Estratégias para Otimização da
Extração Automática do Terreno

- Otimizar os espaçamentos do grid, através da divisão do terreno em áreas (regiões), conforme o caso:
 - Planas (FLAT AREAS)
 - Levemente onduladas (STEEP TERRAIN)
 - Fortemente acidentadas (ROUGH TERRAIN)

- Reamostrar as imagens do estereograma para a Geometria Epipolar (*EPIPOLAR RESAMPLING*), o que irá reduzir a janela de pesquisa para o algoritmo de medição de pontos por correlação.

Exemplo de Seqüência Operacional
para Extração do MNE

1. Digitalização das imagens do estereograma
2. Transformação Afim (Orientação Interior)
3. Orientação Exterior
4. Normalização do estereograma
5. Definição das estratégias para extração do terreno
6. Extração do terreno (para cada estratégia)
7. Edição dos pontos em áreas problema, isto é, onde a correlação tenha falhado
8. Junção dos diversos tipos de terreno a fim de enquadrar, num único MNE, toda a região de interesse.